



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
«ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ
РЕСУРС КОНСТРУКЦИЙ»

Проблемы проектирования и эксплуатации ферм
типа «Молодечно», опыт обследования и
причины аварий

Главный инженер ООО «НИПИ «ЭРКОН»
Смирнов Александр Анатольевич

Что такое фермы типа «Молодечно»?



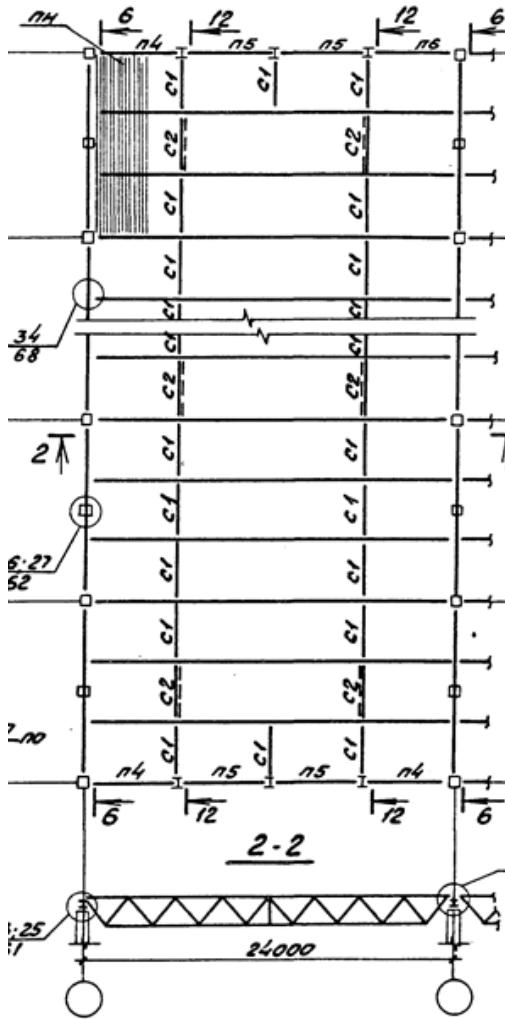
Серия 1.460.3-14 «Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа "Молодечно". Чертежи КМ» (1981 г.)

Особенности конструкций:

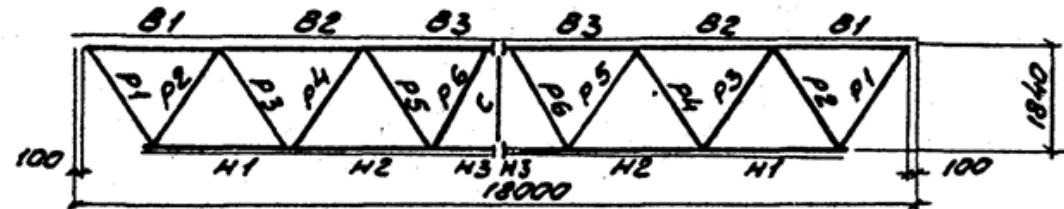
- ✓ беспрогонные решения с использованием профилированного листа;
- ✓ шаг стропильных ферм – 4,0 м;
- ✓ уклон ферм – $i=0,015$;
- ✓ высота стропильных ферм в «габарите» – 2,0 м;
- ✓ узлы бесфасоночные;
- ✓ система решетки – треугольная с нисходящим опорным раскосом (и для стропильных, и для подстропильных ферм);
- ✓ пролет подстропильных ферм – 12,0 м;
- ✓ система горизонтальных связей минимальна – функцию горизонтальных связей по верхним поясам выполняет жесткий диск из профилированного настила;
- ✓ предусмотрены решения для зон снеговых «мешков».



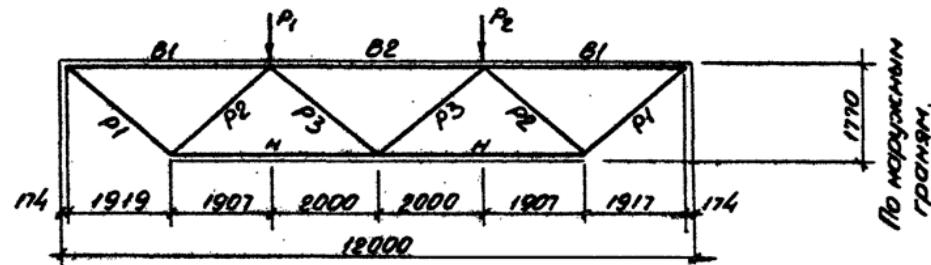
Фермы типа «Молодечно»



Стропильные фермы



Подстропильные фермы



Фермы типа «Молодечно» (особенности)

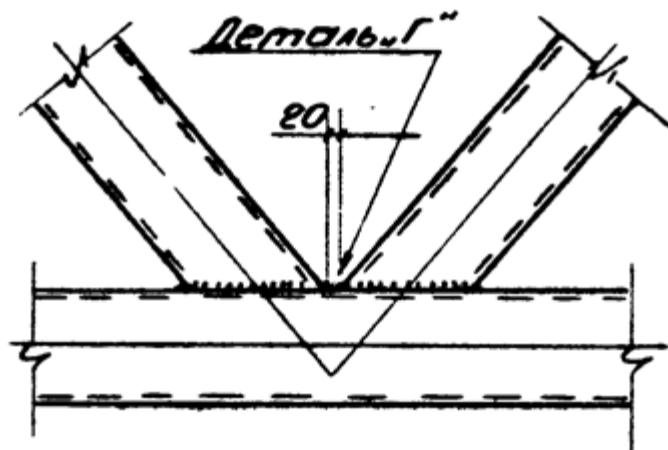


- ✓ Пояса, опорные раскосы, а также вторые раскосы – из низколегированной стали 09Г2С (С345).
- ✓ Ширина сечения верхнего и нижнего поясов равны. Верхние пояса из гнуто-сварных профилей прямоугольного сечения.
- ✓ Соотношение ширины профилей решетки к ширине пояса: в стропильных фермах 0,85 – для наиболее нагруженных раскосов, 0,7 – для менее нагруженных, в подстропильных – 0,875 и 0,75 соответственно.
- ✓ Неразрезность профилированного настила учтена коэффициентом 1,1.
- ✓ Элементы решетки примыкают к поясам с расцентровкой узлов в стропильных фермах. Для подстропильных ферм предусмотрена центровка.

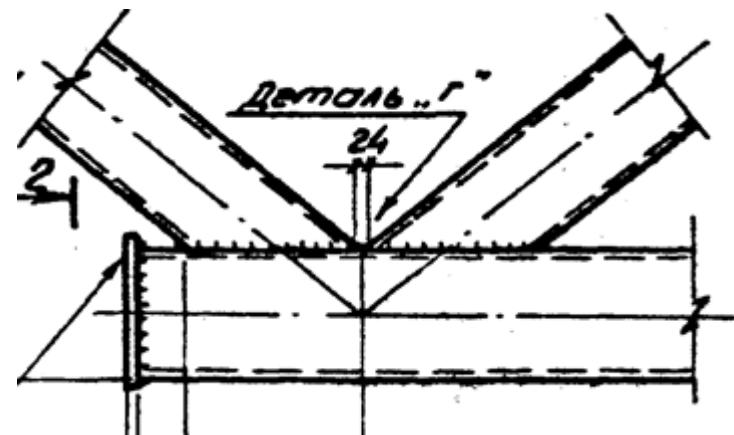
Центровка в узлах ферм типа «Молодечно»

ЭРКОН

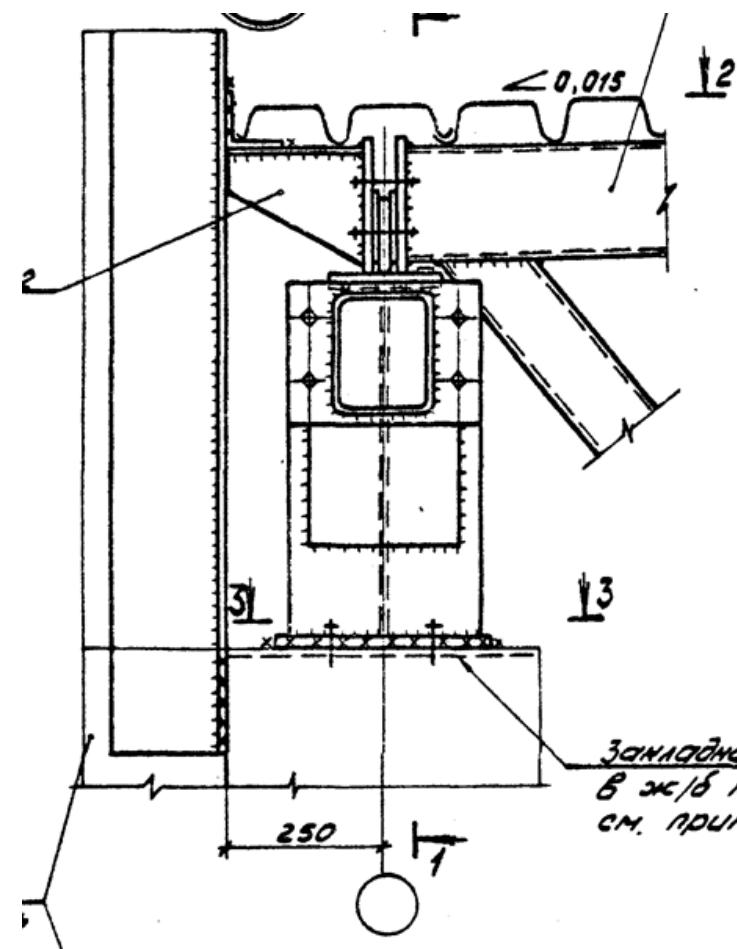
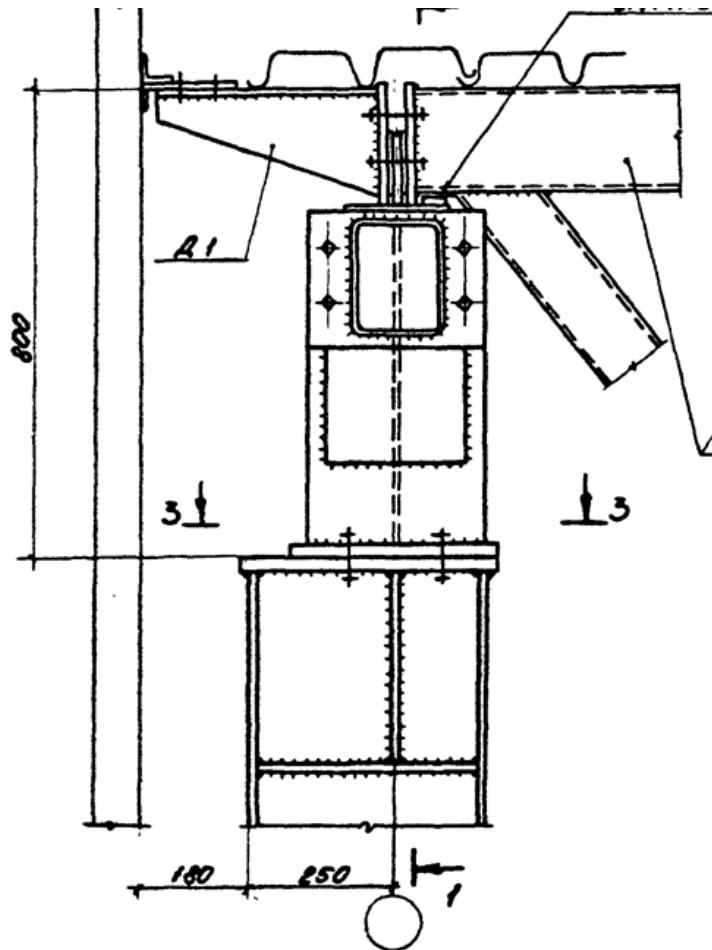
Стропильные фермы



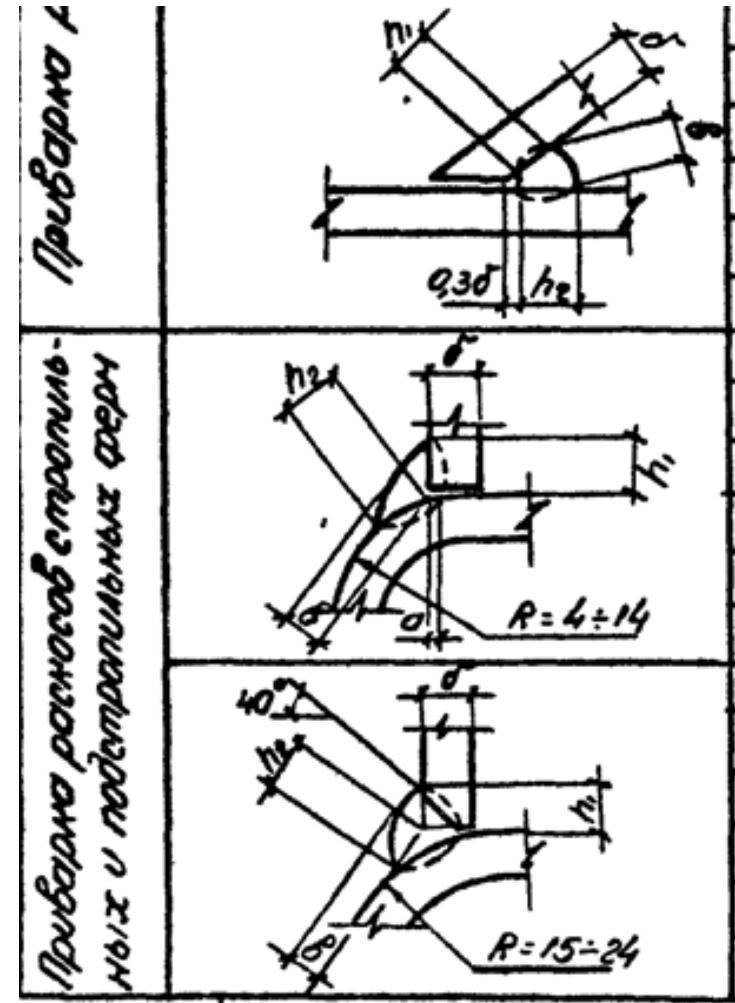
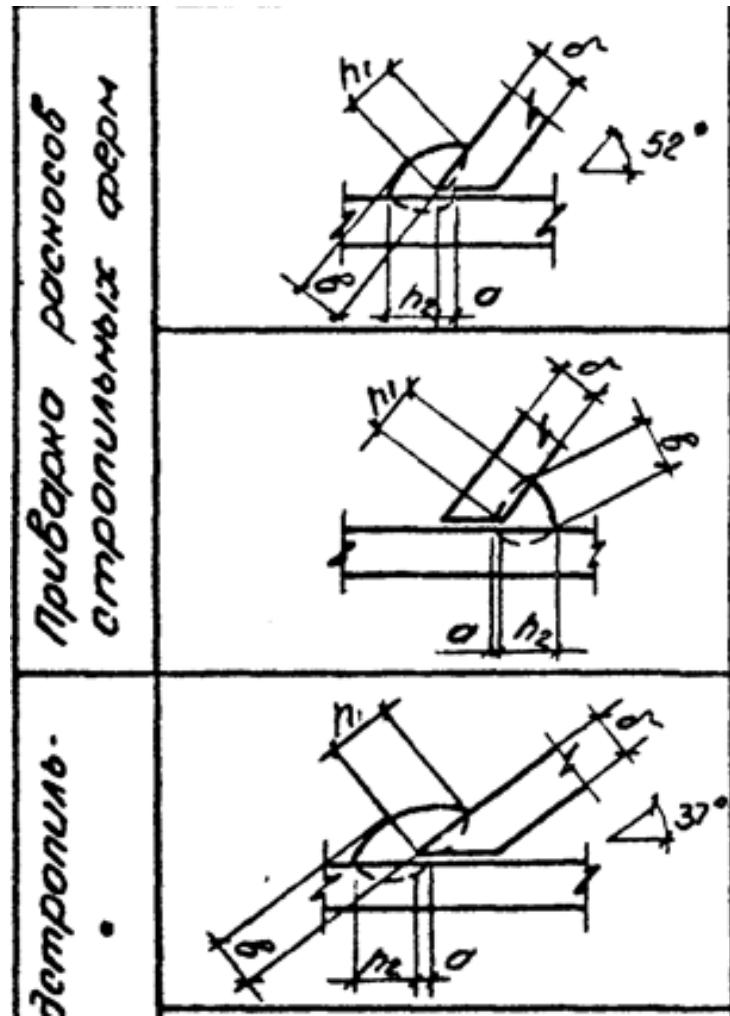
Подстропильные фермы



Опорные узлы стропильных ферм типа «Молодечно»



Параметры сварных швов (расчетные катеты)



Развитие типологии ферм «Молодечно»

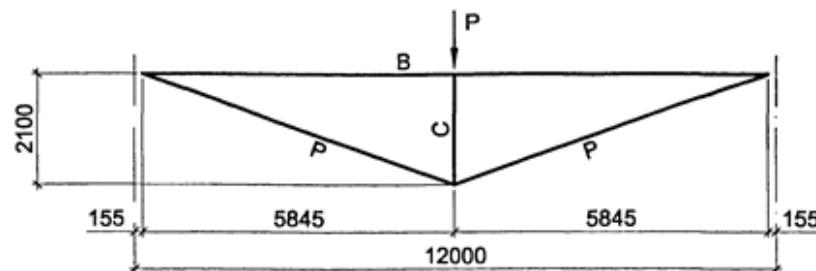


1) Серия 1.460.3-14 Серия 1.263.2-4 Выпуск 4. Фермы пролетом 15, 18, 21, 24, 27 и 30 м из сварных гнутозамкнутых профилей (с пониженной высотой). Чертежи КМ:

- ✓ Расширена номенклатура размеров.
- ✓ Введен шаг ферм 3,0 м в дополнение к шагу 4,0 м.
- ✓ Исключены подстропильные фермы.

2) Серия 1.460.3-14 Серия 1.460.3-23.98:

- Изменен уклон – до 0,1.
- Введено прогонное решение под шаг ферм 6,0 м.
- Подстропильные фермы полностью переработаны под пролет 12,0 м.



Нормативные положения для проектирования ферм типа «Молодечно»



Ранее:

- СНиП II-23-81* «Стальные конструкции».
- Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*).

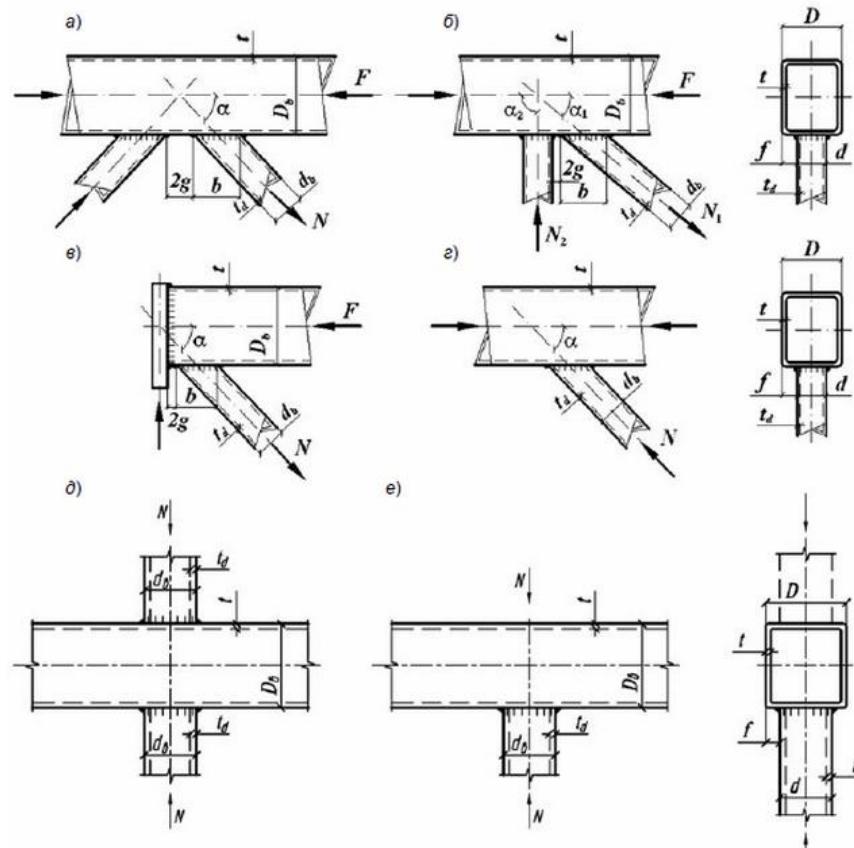
Сейчас:

- СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции».
- СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования»

Особенности:

- ✓ Отсутствие возможности (или трудность с обоснованием) бессвязевой системы.
- ✓ Ограничность номенклатуры типов узлов ферм, для которых имеются формулы для расчета.

Доступные для проверки по нормам узлы



а) - К-образный при треугольной решетке; б) - то же при раскосной решетке; в) - опорный; г) - У-образный; д) - Х-образный; е) - Т-образный

Объекты обследования



Для анализа выбрано 20 объектов, на которых применены следующие решения:

- ✓ Стропильные фермы с нисходящим опорным раскосом из гнуто-сварных профилей. Решетка – чаще треугольная и треугольная со стойками, реже – раскосная. Пролет ферм – 15,0 – 18,0 м. Шаг ферм – 5,0 – 6,0 м.
- ✓ Подстропильные фермы – с нисходящим опорным раскосом. Решетка – треугольная или треугольная со стойками. Пролет ферм – 12,0 – 16,0 м. На подстропильные фермы опираются одна или две стропильные фермы.
- ✓ Покрытие беспрогонное с профлистом.
- ✓ Система связей покрытия везде содержит горизонтальные связи по верхним поясам ферм (жесткий диск профилированного настила не используется в качестве связевой диафрагмы нигде) – отличие от типовой серии.

Анализ конструктивных решений существующих объектов



- ✓ На ряде объектов фермы имеют соотношения размеров ширины сечений раскосов (и стоек) к ширине сечений поясов 0,4-0,6 (даже для опорных раскосов) при минимальном рекомендуемом 0,6.



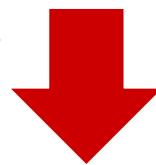
Проектировщик очевидным образом упустил из виду, что для ферм типа «Молодечно» определяющими при назначении сечений элементов является не несущая способность элементов, а несущая способность узлов: в первую очередь на продавливание и вырыв полки (горизонтальной стенки) поясов. Дальнейшие расчеты это подтвердили.

- ✓ Около 75% стропильных ферм запроектированы без монтажного стыка, но заводские стыки и требования к ним не оговорены.
- ✓ В фермах, где предусмотрены монтажные стыки, в нижних поясах они чаще выполнены в виде фрикционных соединений на высокопрочных болтах вместо фланцев.



Анализ конструктивных решений существующих объектов

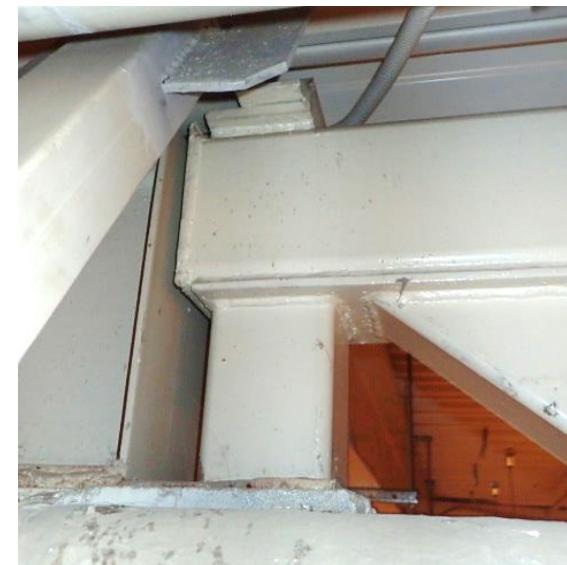
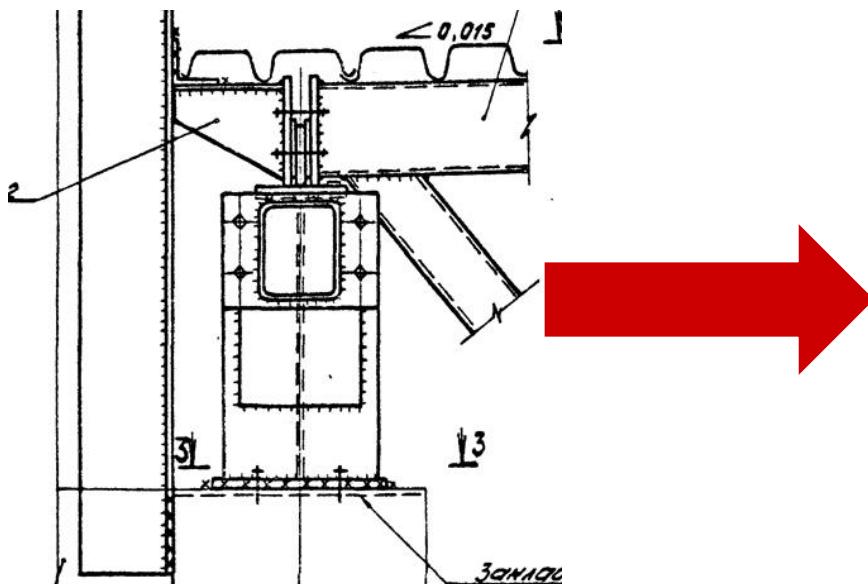
- ✓ Стандартные узлы с нормированной методикой расчета (предусмотренной в том числе в СП 294.1325800) в виде раскосов, непосредственно примыкающих к поясам, заменяются на решения с вставками ребер, подкладок, дополнительных элементов и т.д.



Анализ конструктивных решений существующих объектов



- ✓ Изменение способа опирания стропильных ферм без использования типового надколонника.



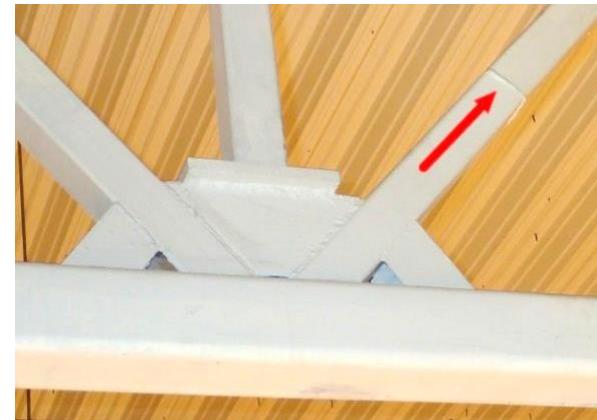
- ✓ Использование для поясов сталей С255 вместо С345 (С355).

Заводские дефекты

Заводские сварные **стыковые швы в растянутых элементах выполнены без полного провара.**

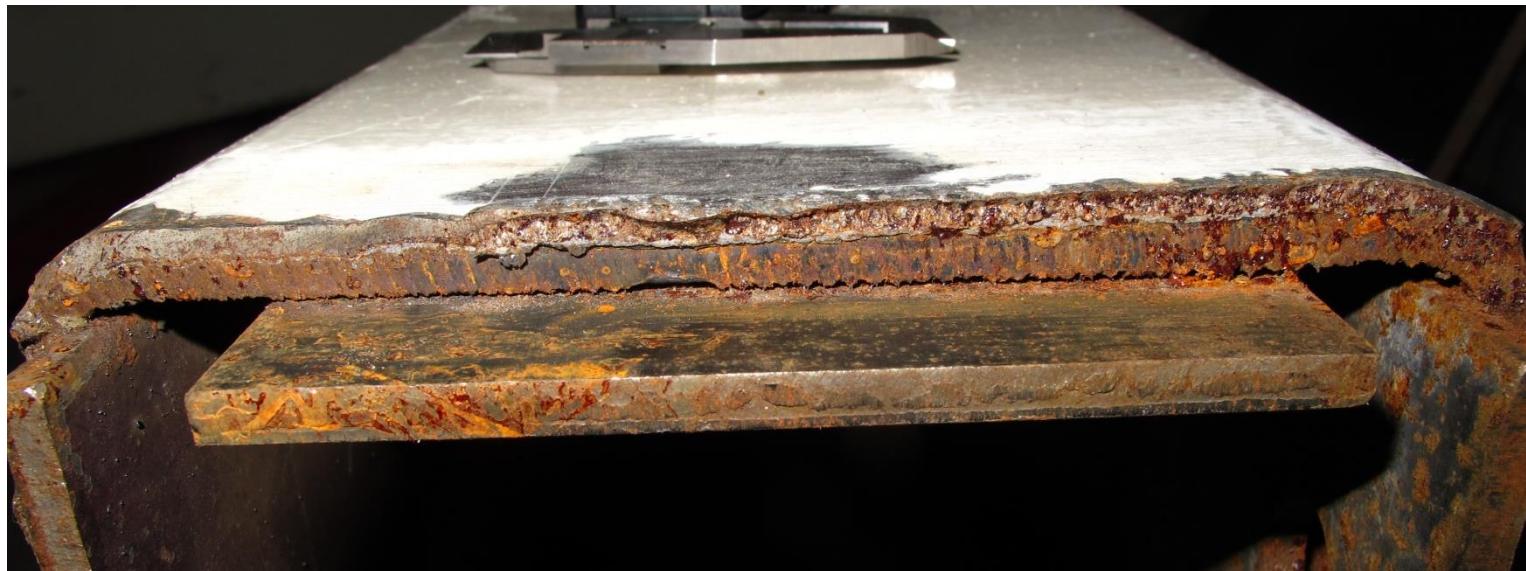
Проблема носит частый характер, например, для одного объекта: 471 непроектный стыковой шов в **растянутых** элементах стропильных и подстропильных ферм покрытия здания, **335 из которых не усилены**:

- 82 стыка в поясах подстропильных ферм;
- 253 стыка в поясах и раскосах стропильных ферм.



Заводские дефекты

ЭРКОН



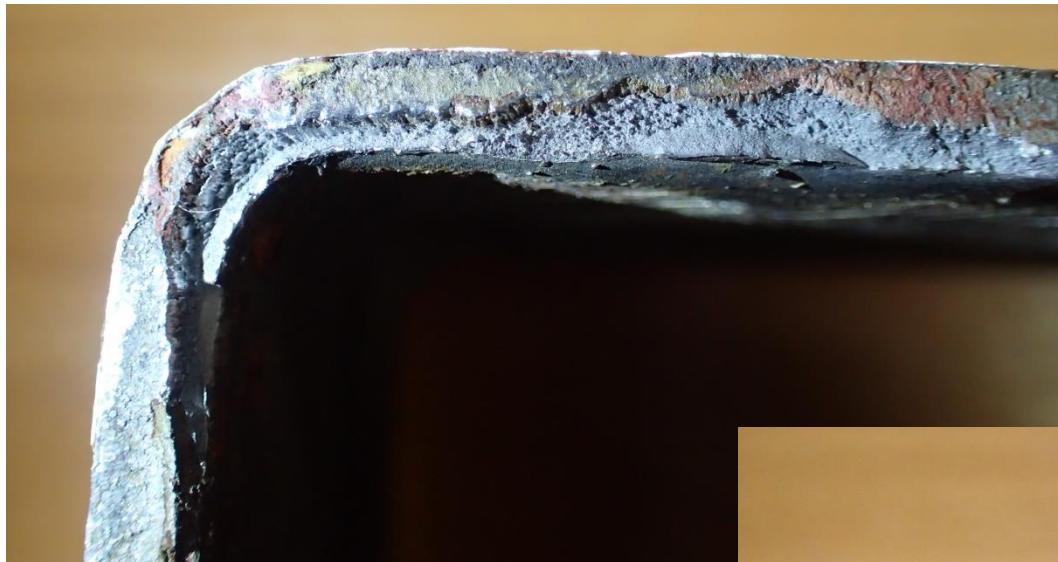
Заводские дефекты

ЭРКОН



Заводские дефекты

ЭРКОН



Заводские дефекты

- ✓ Низкое качество выполнения сварных швов.
- ✓ Несоответствие сталей проектным значениям: в конструкциях имеются «кипящие» стали, Ст0 (!!!), Ст1, Ст2, Ст5, замена элементов из С345 по проекту на С255 по факту и т.д.
- ✓ Несоблюдение проектных толщин элементов.



Причины аварий

На рассматриваемых объектах произошло 3 аварии. Во всех трех случаях причиной аварий явились непровары в стыковых сварных швах в растянутых элементах. Нагрузки на фермы при этом не превышали расчетных значений.





Проектные ошибки

- Не учитываются моменты от расцентровок элементов в узлах.
- Не выполняется проверка несущей способности узлов.
- Не учитывается неразрезность профилированного настила.
- Не обосновываются методики расчета узлов, имеющих конструктивные отличия от методики СП 294.1325800.
- Некорректно определяются снеговые мешки.

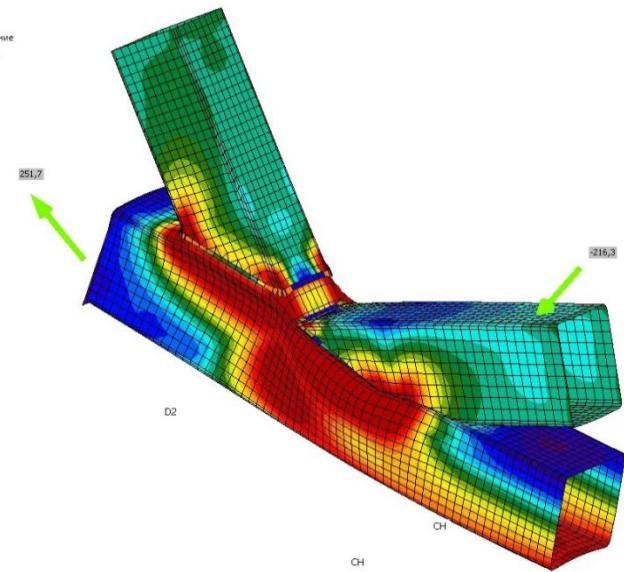
Ошибки при оценке несущей способности узлов ферм



1. Несоответствие расчётной схемы действительной работе узла в составе конструкции.

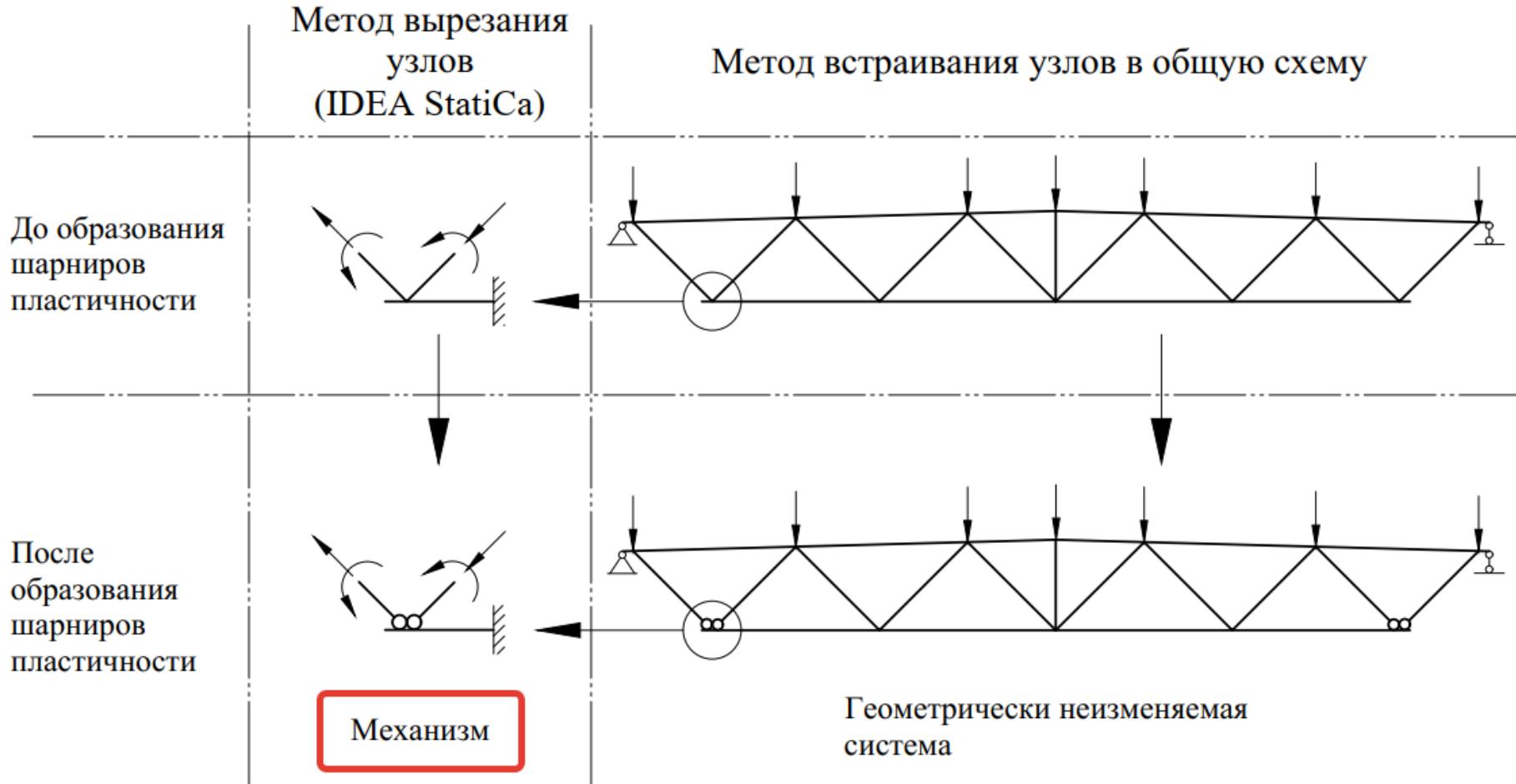
Расчёт
Пластичны 78,1%
Сварные швы 7,3 > 5,0%
Устойчивость Конструирование
GMNA Не вычислено
Вычислено

2. Игнорирование малоцикловой усталости при учёте развитых пластических деформаций



3. Недооценка вероятности хрупкого разрушения

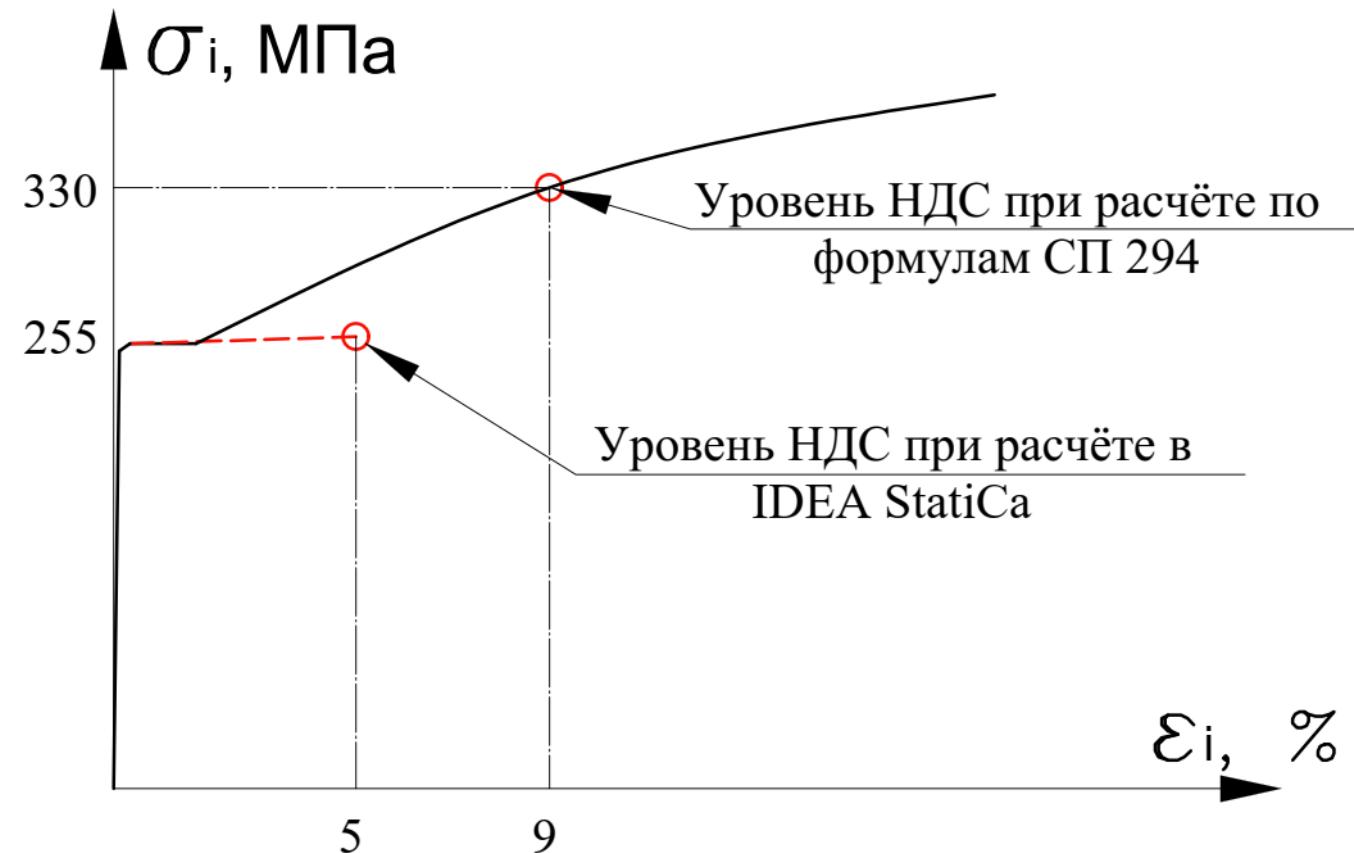
О несоответствии расчётных схем Недостаток метода вырезания узлов



О несоответствии расчётных схем Уровни НДС при расчётах



При
правильной
оценке и учёте
всех факторов
предельные
деформации
могут быть
выше 5%





Рекомендации к обследованию

- Выявлять стыковые сварные швы в растянутых элементах ферм.
- При отсутствии усиления стыков в растянутых элементах выполнять УЗК сварных швов в объеме 100% или рекомендовать усиление всех стыков накладками.
- Проверять толщины элементов.
- Определять марки сталей элементов.
- При выполнении расчетов выполнять проверку несущей способности узлов.
- Учитывать расцентровки элементов и неразрезность профнастила.

Рекомендации к проектированию



- ✓ В проектной документации и в рабочей документации КМ приводить требования к заводским стыкам в растянутых элементах, в том числе предусматривать их усиление накладками на этапе изготовления.
- ✓ Приводить требования к параметрам сварных швов крепления элементов.
- ✓ Для монтажных стыков применять в нижнем поясе фрикционные соединения вместо фланцевых.
- ✓ При расчетах учитывать расцентровки элементов.
- ✓ Всегда осуществлять расчетную проверку узлов.
- ✓ **Рассматривать как альтернативу фермы с поясами из двутавров и решеткой из гнуто-сварных профилей.**

Выгоды от применения ферм с поясами из двутавров



- ✓ В нижних поясах подстропильных ферм, чувствительных к расцентровкам, можно игнорировать расцентровки.
- ✓ Заводские стыковые швы всегда будут иметь возможность выполнить полный провар, который можно проконтролировать визуально.
- ✓ Монтажные стыки с применением фрикционного соединения на болтах с контролируемом натяжением обеспечат снижение числа болтов, количества накладок и, самое главное, более равномерную передачу нагрузки в отличие от аналогичных стыков в поясах из гнуто-сварных профилей.
- ✓ При необходимости последующего усиления (например, при реконструкции) упрощается усиление конструкций.

Проблемы проектирования и эксплуатации ферм типа «Молодечно», опыт обследования и причины аварий



Научно-исследовательский
проектный
«Эксплуатационный
конструкций»
(ООО «НИПИ «ЭРКОН»)

Главный инженер
Смирнов Александр Анатольевич

и
институт
ресурс

Адрес: 191014, г. Санкт-Петербург, ул.
Маяковского, д. 17, лит. А, пом. 8 Н

Почтовый адрес: 191014,
г. Санкт-Петербург, а/я 18

Тел.: +7 (812) 273-52-89, 272-13-94

Электронная почта: office@erkon.ru

При участии главного конструктора ООО «НИПИ «ЭРКОН», к.т.н.
Пяткина Павла Алексеевича.

Спасибо за внимание !