

ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ ФЕРМ ИЗ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ В СООТВЕТСВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ EN 1993-1

Шурин А.Б., к.т.н., доцент,
shuryan@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1396-3503

Мухин А.В., к.т.н., доцент,
УО «Брестский государственный технический университет»
myhinanatoli@tut.by

Аннотация. В настоящее время в Республике Беларусь, в зависимости от задания на проектирование, расчёт стальных конструкций допускается выполнять как в соответствии с требованиями СНиП II-23, так и по ТКП EN 1993-1. В статье приведено сопоставление конструктивных решений ферм из прямоугольных труб с бесфасоночными узлами, запроектированных по ТКП EN 1993 и СНиП II-23, и применённых на различных объектах Республики Беларусь. Выполнен анализ наиболее часто встречающихся ошибок при их проектировании.

Представлено конструктивное решение разработанного и реализованного авторами конструктивного решения по усилению монолитного ребристого чердачного перекрытия с использованием пространственных трёхгранных ферм из гнутосварных профилей, запроектированных с использованием ТКП EN 1993-1.

Ключевые слова: фермы, узлы, гнутосварные профили, Еврокод, несущая способность, продавливание, прочность, потеря местной устойчивости.

Введение. История применения стальных ферм составляет несколько сотен лет. Практика строительства показала, что наиболее экономичны стальные сварные фермы из круглых, затем из прямоугольных труб, получаемых методом холодного деформирования на специальных поточных линиях. Подобная линия фирмы «Маннесман» существует в Республике Беларусь в г. Молодечно, где с 1978 года осуществляется как выпуск профилей стальных замкнутых гнутых сварных квадратный и прямоугольных (ГОСТ 30245), так и ферм из соответствующих профилей.

Целью данной работы является анализ и сопоставление основных положений по расчёту узлов ферм из прямоугольных труб с бесфасоночными узлами, выполненных по СНиП II-23 [1, 2] и ТКП EN 1993-1[3].

Результаты анализа. Общеизвестно, что в стержневых конструкциях из труб при бесфасоночных узловых соединениях расход металла, определяется предельными состояниями узловых соединений. Следует отметить, что методы оценки предельных состояний узловых соединений в нормативных базах являются эмпирическими, и основаны на достаточно ограниченных базах экспериментальных исследований [4]. Далеко не для всех видов предельных состояний узловых соединений из прямоугольных труб предложены методики расчёта.

Расчет и конструирование узлов из прямоугольных труб в соответствии с требованиями СНиП II-23, приведенный в [2], следует производить на:

- продавливание (вырывание) участка стенки пояса, контактирующей с элементом решетки;
- несущую способность участка боковой стенки пояса (параллельной плоскости узла) в месте примыкания сжатого элемента решетки;
- несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;
- прочность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу [4].

В Республике Беларусь с 01 января 2010 года введены европейские нормы проектирования. Применение при проектировании ферм из гнутосварных профилей ТКП EN 1993-1-8 [3] значительно расширяет их область применения. Расчет и конструирование таких узлов по методике, изложенной в ТКП EN 1993-1-8 производится на:

• *отказ лицевой поверхности пояса* (отказ вследствие пластического разрушения лицевой поверхности пояса) или *пластификация пояса* (отказ вследствие пластического разрушения поперечного сечения пояса);

• *отказ боковой поверхности пояса* (или отказ стенки пояса) из-за раздавливания, пластификации или неустойчивого состояния (выгиб или потеря устойчивости боковой поверхности пояса из замкнутого профиля или стенки пояса) в месте примыкания сжатого стержня решетки;

• *сдвиг (срез) сечения пояса*;

• *вырывание поверхности пояса* (отказ из-за возникновения трещины, инициирующей отрыв стержня решетки от пояса);

• *потеря местной устойчивости стержня решетки* [4].

Таким образом, ТКП EN 1993-1-8 предоставляет больше вариантов по конструированию узлов из прямоугольных труб: больший диапазон толщин труб и углов наклона решетки к поясу, возможность расчета и конструирования пространственных узлов. В [4] содержится больше вариантов разрушения узлов из прямоугольных труб, однако не по всем схемам разрушения приведены соответствующие формулы расчета. В частности, в ТКП EN 1993-1-8 расчет прочности сварных швов, прикрепляющих стержни решетки к поясам не приведен, вследствие принятой гипотезы равнопрочности их основному металлу. При этом игнорируется проблема использования разных сталей для стержневых элементов и деталей, соединяющихся в узлах. Также ТКП EN 1993-1-8 содержит более жесткие требования к профилям, их химическому составу и раскислению стали [5, 6].

Сравнительный анализ области применения ферм из гнутосварных профилей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Область применения стержней ферм из прямоугольных труб по СНиП II-23 и ТКП EN 1993-1-8 [5]

Нормируемый параметр	СНиП II-23	ТКП EN 1993-1-8
Минимальная толщина стенки стержней фермы, мм	3	2,5
Максимальная толщина стенки стержней фермы, мм	12 – по ГОСТ 30243-2003 22 – по ГОСТ 30243-2012	25 (ограничивается EN 10219-2:1997)
Отношение ширины раскоса к ширине пояса	0,6-0,9	0,25-1,0
Минимальный угол наклона раскосов, град	38°	30°
Применяемый класс стали	C245...C460	Стали с $f_y \leq 460$ МПа
Требования к профилям	Нет	Должны соответствовать EN 10210 или EN 10219
Требования к химическому составу	Нет	$C = (0,09-0,15) \%$; $P \leq 0,04\%$; $S \leq 0,05\%$
Требования к раскислению стали	Нет	$Al \geq 0,02\%$
Дополнительные требования	Нет	Класс сечения 1 или 2
Возможность расчета и конструирования пространственных узлов	Нет	Да (узлы типа КК, ТТ и ХХ)

Ошибки при проектировании ферм из прямоугольных труб. Расчёт и конструирование узлов ферм из прямоугольных труб в соответствии с требованиями, приведенными в [2] производится при углах наклона решётки к поясу от 38 градусов. В соответствии с требованиями Еврокодов, приведенными в ТКП EN 1993-1-8 [3] от 30 градусов (таблица 1).

Анализ применения конструктивных решений ферм из прямоугольных труб для сооружений в Республике Беларусь показал, что их проектирование зачастую ведется с отклонениями от требований, приведенных не только в EN 1993-1-8 [3], но и СНиП II-23 [1, 2]. Часть отклонений связаны с выходом за пределы углов наклона стержней решетки в узлах при их проектировании по соответствующим нормам (рис. 1, 2).

а)



б)



Рис. 1. Ошибки при конструировании ферм из ГСП:
а – несоответствие угла наклона стержней решетки в узлах требованиям [2, 3];
б – трещины в поясах ферм из-за некачественных сварных швов



Рис. 2. Применение нетипового опорного узла фермы

Достаточно ярким примером непонимания проектировщиками методологии расчёта и проектирования узлов, основанной строго на экспериментальных исследованиях являются рамные конструкции пилонов, поддерживающих навес стадиона в г. Бресте (Республика Беларусь). В плоских фермах консолей пилонов навеса над стадионом угол наклона раскосов к поясам составляет менее 30 градусов (рис. 1а). Обрушения не происходит только ввиду относительно небольших усилий в элементах решётки. Наблюдается разрушение элементов ферм вследствие замерзания попавшей воды из-за некачественных сварных швов в пятках раскосов, причём чрезвычайно сложно обнаружить дефекты такого характера (рис. 1б).

Вторая типичная ошибка – применение типов узловых соединений, для которых не исследованы виды отказа, поэтому применение формул из нормативных документов [2, 3] при их конструировании недопустимо (рис. 2) [7].

Треугольные фермы из прямоугольных труб. Сечение гнutosварного профиля является идеальным для трёхгранной призматической стержневой конструкции с точки зрения простоты организации узлового пространственного соединения. В соответствии с таблицей 1, ТКП EN 1993-1-8 [3] предоставляет возможность расчета и конструирования пространственных бесфасоночных узлов: типа КК, ТТ и ХХ. Применение треугольных ферм с такими узлами в каркасах зданий позволяет уменьшить затраты на устройство в конструкциях покрытия связей или полностью исключить поперечные связи по покрытию.

Авторами разработано и реализовано конструктивное решение по усилению монолитного ребристого чердачного перекрытия здания прессового цеха СОАО «Беловежские сыры» в г. Высокое Брестской области с использованием пространственных трёхгранных ферм из гнutosварных профилей. Основная идея усиления чердачного перекрытия, находящегося в аварийной ситуации, заключалась в его подвешивании к самостоятельным несущим конструкциям в виде трёхгранных ферм, опирающихся на вертикальные несущие элементы. Несущие конструкции усиления (трехгранные фермы) вынесены в чердачное пространство и размещены между стропильными ногами и стойками продольных деревянных рам стропильной системы (рис. 3).

Пролет ферм по осям колонн 13,1 м. Высота ферм по осям поясов 1400 мм, полная высота – 1564 мм (рис. 3). Пояса выполнены из труб стальных гнutosварных замкнутых сварных квадратных по ГОСТ 30245-2012: верхний пояс – гн.140x6 / С345, нижние пояса – гн.140x4 / С255. Раскосы – гн. 100x3 / С255. Угол наклона в плоскости грани решетки не менее 44°, что удовлетворяет требованиям пункта 7.1.2(3) [3]. Верхние узлы запроектированы по типу КК и ТТ-образных (см. рис.7.1 [3]).

Расчет узлов фермы из трёхгранных профилей удовлетворяет требованиям п. 7.5.3 [3]. Опорная реакция с трёхгранных ферм передаётся на стальные стойки (гн.140x4) с консольными траверсами, а нагрузка от стоек – на отдельные фундаменты, устроенные вплотную с существующими ленточными фундаментами стен. Фундаменты по стальные стойки выполнены столбчатыми на естественном основании.

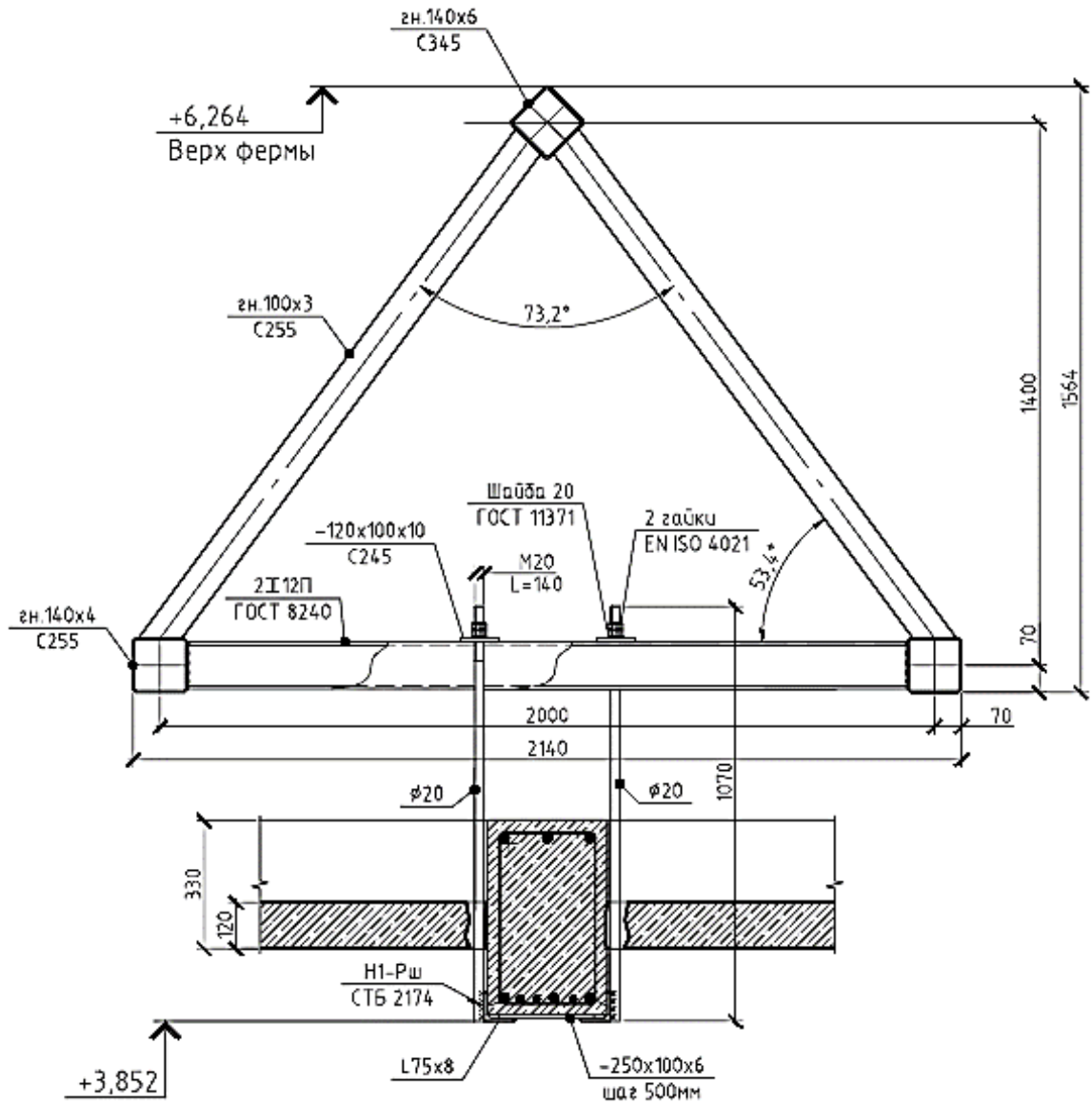
Включение в работу всей конструкции усиления осуществлялось путём натяжения подвесок (d20 ГОСТ 2590) при помощи гаек М20, на которых подвешена неразрезная главная балка монолитного ребристого чердачного перекрытия. В результате наблюдения за монолитным перекрытием силовых дефектов не обнаружено, прогибы не превышают значений, установленных в действующих ТНПА [5].

Выводы:

1. В результате анализа конструктивных решений ферм из прямоугольных труб в Республике Беларусь установлено, что их проектирование зачастую ведется с отклонениями от требований, приведенных не только в ТКП EN 1993-1-8 [3], но и СНиП II-23-81[1, 2].

2. Расчёт и конструирование узлов ферм из прямоугольных труб при углах наклона решётки к поясу менее 38 градусов по СНиП II-23-81*, и менее 30 градусов по ТКП EN 1993-1-8 не производится. Данная тема является актуальной с точки зрения исследования предельных состояний и технологии сварки и нуждается в дальнейшей разработке, что позволит расширить область применения пространственных и плоских ферменных конструкций.

а)



б)



Рис. 3. Конструктивное решение (а) и общий вид трёхгранных ферм из гнутосварных профилей (б)

3. Еврокод [3] предоставляет больше вариантов по конструированию узлов из прямоугольных труб: больший диапазон толщин труб и углов наклона решетки к поясу, возможность расчета и конструирования пространственных узлов. В [3] содержится больше вариантов разрушения узлов из прямоугольных труб, однако не по всем схемам разрушения приведены соответствующие формулы расчета, что зачастую игнорируется проектировщиками.

4. Расчет и конструирование пространственных трёхгранных ферм из труб с бесфасоночными узлами возможно только в соответствии с требованиями ТКП ЕН 1993-1-8 [3], т.к. в базе проектирования, основанной на положениях СНиП II-23-81* [1, 2] конструкции пространственных узлов из прямоугольных труб не рассматриваются.

Литература

1. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции: СНиП II-23-81*. – М.: Госстрой СССР: ЦНИТП, 1990. – 96 с.

2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). – Москва, ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР, 1989, – 214 с.

3. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений : ТКП ЕН 1993-1-8-2009*. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 128 с.

4. Мурашко, Н.Н. Экспериментальное исследование напряжённо-деформированного состояния бесфасоночных узлов ферм из замкнутых гнутосварных профилей / Н.Н. Мурашко, Ю.В. Соболев [и др.] // Проблемы сельскохозяйственного строительства. Тематический сборник научных трудов. – Минск, 1980.

5. Шурин, А.Б. Трёхгранные фермы из гнутосварных профилей / А.Б. Шурин, Н.Н. Шалобыта [и др.] // Вестник БрГТУ. – Брест, 2019. – № 1 : Строительство и архитектура. – с. 47-49.

6. Шурин, А.Б. Сравнительный анализ расчета и проектирования элементов стальных конструкций по ТКП ЕН 1993-1 И СНиП II-23 / А.Б. Шурин, И.В. Зинкевич, А.В. Мухин // Вестник БрГТУ. – Брест, 2020. – № 1 : Строительство и архитектура. – с. 23-28.

7. Шурин, А.Б. Особенности конструирования безфасоночных узлов из прямоугольных труб по ТКП ЕН 1993-1-8 / А.Б. Шурин, А.В. Мухин, Н.Н. Шалобыта, Макаревич Е.В. // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) : Сборник статей II Международной научно-технической конференции (29-30 марта 2018 года) : Брест / БрГТУ – Брест, 2018. – С. 123-127.

References

[1] Stroitel'nyye normy i pravila. Normy proyektirovaniya. Stal'nyye konstruktsii: SNiP II-23-81*. – М.: Gosstroy SSSR: TSNITP, 1990.

[2] Posobiye po proyektirovaniyu stal'nykh konstruktsiy (k SNiP II-23-81*). – Moskva, TSNIISK im. Kucherenko Gosstroya SSSR, 1989, – 214 s

[3] Yevrokod 3. Proyektirovaniye stal'nykh konstruktsiy. Chast' 1-8. Raschet soyedineniy : ТКП ЕН 1993-1-8-2009*. – Minsk : Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2015.

[4] Murashko, N.N. Eksperimentalnoe issledovanie napryazhYonno-deformirovannogo sostoyaniya besfasonochnykh uz-lov ferm iz zamknu-tyih gnutosvarnykh profiley / N.N. Murash-ko, Yu.V. Sobolev [i dr.] // Problemyi selskohozyaystvennogo stroitel'stva. Tematicheskii sbornik nauchnykh trudov. – Minsk, 1980.

[5] Shuryn, A.B. Trokhgrannnyye fermy iz gnutosvarnykh profiley / A.B. Shuryn, N.N. Shalobyta [i dr.] // Vestnik BrGTU. – Brest, 2019.

[6] Shuryn, A.B. Sravnitel'nyy analiz rascheta i proyektirovaniya elementov stal'nykh konstruktsiy po ТКП ЕН 1993-1 I SNiP II-23 / A.B. Shuryn, I.V. Zinkevich, A.V. Mukhin // Vestnik BrGTU. – Brest, 2020.

- [7] Shuryin, A.B. Osobennosti konstruirovaniya bezfasonochnykh uzlov iz pryamougol'nykh trub po TKP EN 1993-1-8 / A.B. Shuryin, A.V. Mukhin [i dr.] // Teoriya i praktika issledovaniy i proyektirovaniya v stroitel'stve s primeneniyyem sistem avtomatizirovannogo proyektirovaniya (SAPR) : Sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (29-30 marta 2018 goda) : Brest / BrGTU – Brest, 2018.

ДОСВІД КОНСТРУЮВАННЯ ФЕРМ ІЗ ГНУТОЗВАРНИХ ПРОФІЛЕЙ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ВИМОГ EN 1993-1

Шурин А.Б. к.т.н., доцент,
shuryin@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1396-3503

Мухін А.В., к.т.н., доцент,
«Брестський державний технічний університет»
myhinanatoli@tut.by

Анотація. Історія застосування сталевих ферм становить кілька сотень років. Сучасна практика будівництва показала, що найбільш економічні сталеві зварні ферми з прямокутних труб внаслідок своєї технологічності і відносно невеликої витрати матеріалу. В даний час в Республіці Білорусь, в залежності від завдання на проектування, розрахунок сталевих конструкцій допускається виконувати як відповідно до вимог СНиП II-23, так і по ТКП EN 1993-1. У статті наведено зіставлення конструктивних рішень ферм з прямокутних труб з безфасоночними вузлами, запроектованих по ТКП EN 1993 і СНиП II-23, і застосованих на різних об'єктах Республіки Білорусь. Виконано аналіз найбільш часто зустрічаються помилок при їх проектуванні.

Перетин гнutoзварного профілю є ідеальним для тригранної призматичної стрижневої конструкції з точки зору простоти організації вузлового просторового з'єднання. ТКП EN 1993-1-8 надає можливість розрахунку і конструювання просторових бесфасоночних вузлів: типу КК, ТТ і ХХ. Застосування трикутних ферм з такими вузлами в каркасах будівель дозволяє зменшити витрати на пристрій в конструкціях покриття зв'язків або повністю виключити поперечні зв'язки по покриттю.

Встановлено, що Єврокод надає більше варіантів по конструюванню вузлів з прямокутних труб: більший діапазон товщин труб і кутів нахилу решітки до поясу, можливість розрахунку і конструювання просторових вузлів. ТКП EN 1993-1-8 містить більше варіантів руйнування вузлів з прямокутних труб, проте не за всіма схемами руйнування наведені відповідні формули розрахунку, що часто ігнорується проектувальниками.

Представлено конструктивне рішення розробленого і реалізованого авторами конструктивного рішення по посиленню монолітного ребристого горищного перекриття з використанням просторових тригранних ферм з гнutoзварних профілів, запроектованих з використанням ТКП EN 1993-1.

Основна ідея посилення горищного перекриття, що знаходиться в аварійній ситуації, полягала в його підвішуванні до самостійних несучих конструкцій у вигляді тригранних ферм, що спираються на вертикальні несучі елементи. Включення в роботу всієї конструкції посилення проводиться шляхом натягу підвісок, на яких підвішена нерозрізна головна балка монолітного ребристого горищного перекриття.

Ключові слова: ферми, вузли, гнutoзварних профілі, Єврокод, несуча здатність, продавлення, міцність, втрата місцевої стійкості.

EXPERIENCE OF DESIGNING STEEL TRUSSES FROM RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS ACCORDING TO EN 1993-1 REQUIREMENTS

Shurn A.B., Ph.D,

shurn@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1396-3503

Muhin A.V., Ph.D,

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

myhinanatoli@tut.by

Abstract. The history of using steel trusses is several hundred years. Modern construction practice has shown that steel welded trusses made of rectangular pipes are the most economical due to their manufacturability and relatively low material consumption. Currently, in the Republic of Belarus, depending on the design assignment, the calculation of steel structures is allowed to be performed both in accordance with the requirements of SNiP II-23, and according to the EN 1993-1 TRC. The article presents a comparison of structural solutions of trusses made of rectangular pipes with faceless nodes, designed according to the EN 1993 and SNiP II-23, and applied at various facilities in the Republic of Belarus. The analysis of the most common errors in their design is performed.

The cross section of the bent-welded profile is ideal for a three-sided prismatic rod structure in terms of ease of organization of the nodal spatial connection. The EN 1993-1-8 provides the ability to calculate and design spatial faceless nodes: type KK, TT and XX. The use of triangular trusses with such nodes in the frames of buildings allows you to reduce the cost of the device in the structure of the coating connections or completely eliminate cross-links on the coating.

It is found that the Eurocode provides more options for designing nodes from rectangular pipes: a greater range of pipe thicknesses and angles of inclination of the grid to the belt, the possibility of calculating and designing spatial nodes. Tap EN 1993-1-8 contains more variants of destruction of nodes from rectangular pipes, but not all schemes of destruction are given the corresponding calculation formulas, which is often ignored by designers.

The paper presents a design solution developed and implemented by the authors of a structural solution for strengthening a monolithic ribbed attic floor with the use of spatial three-sided trusses made of bent-welded profiles, designed using the EN 1993-1.

The main idea of strengthening the attic floor, which is in an emergency, was to hang it to independent load-bearing structures in the form of three-sided trusses, based on vertical load-bearing elements. Inclusion in the work of the entire structure of the reinforcement is made by stretching the suspensions, which are suspended unbroken main beam of the monolithic ribbed attic floor.

Keyword: trusses, joint of a truss, bent profiles, Eurocode, load-carrying capacity, punching, strength, loss of local stability.