

## Обеспечение пространственной жесткости покрытия в зданиях из ЛСТК

*Старший преподаватель Т.В. Назмеева\*,  
ГОУ «Череповецкий Государственный Университет»*

В настоящее время все более широкое распространение получают здания из легких стальных тонкостенных конструкций. Ферма – один из основных видов несущих конструкций покрытия в зданиях из ЛСТК. Фермы в здании применяют тогда, когда проектирование сплошных балок в качестве ригелей покрытия экономически нецелесообразно, а применение ферм становится экономически выгодным из-за замены сплошной стенки балки на решетчатую конструкцию фермы.

Фермы хорошо работают на восприятие вертикальных нагрузок, т.е. действующих в их плоскости, но они не предназначены для сопротивления горизонтальным нагрузкам (т.е. действующим извне). Фермы обладают очень малой жесткостью из своей плоскости, поэтому горизонтальная сила, приложенная к покрытию, может привести к значительным деформациям ферм из плоскости. Металлические фермы достаточно гибки (довольно узки по ширине относительно своей высоты и пролета) и легко могут потерять устойчивость под действием нагрузки.

Ферма, как и балка, работает в целом на изгиб, поэтому потеря общей устойчивости конструкции (потеря плоской формы изгиба) происходит по схеме т.н. «бокового выпучивания» (lateral buckling) в результате продольного изгиба с кручением. Для ферм из тонкостенного профиля это явление осложняется явлением местной потери устойчивости. Элементы ферм изготавливаются в основном из С-образного одиночного профиля открытого сечения с одной осью симметрии (пояса, стойки и раскосы) или составного профиля открытого сечения (элементы верхнего пояса). Согласно данным Еврокода для данного профиля местная или/и крутильная форма потери устойчивости может быть лимитирующей. Потеря общей устойчивости фермой может повлечь за собой причинение ущерба собственности или вреда здоровью людей.

Для того чтобы предотвратить потерю общей устойчивости фермы и отдельных ее элементов при действии приложенных сил, сохранить геометрическую неизменяемость ее формы, необходимо обеспечить пространственную жесткость здания.

Один из основных способов обеспечения пространственной жесткости – система связей. Кроме того, она придает устойчивость сжатым поясам ферм, воспринимает ветровые нагрузки, действующие на торец здания. Фермы опираются на систему связей устойчивости здания, чтобы перенести нагрузки из системы ферм на опорную структуру. Система связей должна работать совместно с основными элементами каркаса и повышать пространственную жесткость здания.

Материал, приведенный ниже, является обзорной информацией, которая основана на материале, взятом из мировых и американских национальных стандартов. К сожалению, в России на данный момент отсутствуют нормативные документы, посвященные расчету и проектированию ЛСТК. Поэтому при проектировании ферм из ЛСТК (CFS Truss) приходится обращаться к практике зарубежного проектирования. Фермам из ЛСТК уделено внимание в следующих международных нормативных документах:

- Международный строительный кодекс IBC 2009;
- Международный кодекс жилищного строительства IRC 2009;
- Североамериканский стандарт ферм, выполненных из холодногнутого профиля AISI S214-07.

Данный стандарт содержит не только указания по поводу расчета и проектирования ферм из холодногнутого профиля, но и положения по способу крепления связей. Следует указать, что AISI S214-07 является стандартом, на который ссылаются международный строительный кодекс IBC 2009 и международный кодекс жилищного строительства IRC 2009. Раздел 2210.3 Международного строительного кодекса включает следующие требования к дизайну ферм из холодногнутых профилей:

2210.3 Фермы. Дизайн, гарантия качества, монтаж и проверка ферм из холодногнутых профилей должны отвечать стандартам американского института чугуна и стали (AISI), в соответствии с содержащимися там ограничениями.

Система связей между фермами рассмотрена в приложении 2 для AISI S214-07 (AISI S214-07/S2-08). В разделе В 2.3 AISI S214-07/S2-08 приведены требования к проектной документации, разрабатываемой для ферм. Раздел В6 AISI S214-07/S2-08 включает положения, касающиеся проектирования системы постоянных связей между отдельными фермами и выполнения необходимых вычислений.

Летом 2009 г. в США издано «Руководство по проектированию (Design Guide) покрытий из холодногнутых стальных профилей, 2009 Edition», выпущенное AISI, в котором также уделено внимание расчету и проектированию ферм и системе связей между ними.

Назмеева Т.В. Обеспечение пространственной жесткости покрытия в зданиях из ЛСТК

Способы установки системы связей и способы ее закрепления подробно рассмотрены в североамериканских «Правилах безопасности при использовании строительных конструкций, выполненных из холодногнутого стальных профилей CFSBCSI».

Во всех вышеуказанных документах немало внимания уделяется системе связей между фермами как способу обеспечения пространственной жесткости покрытия и здания в целом.

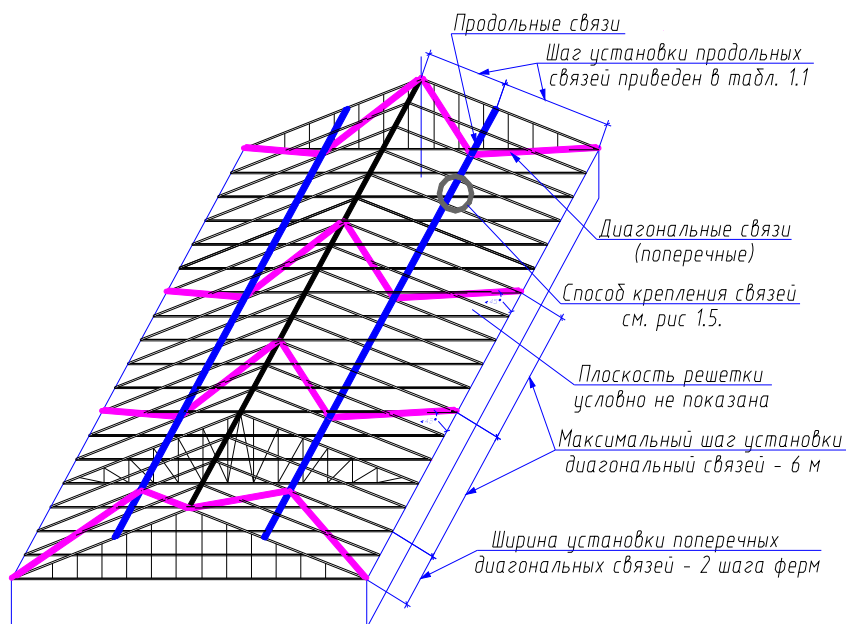
Связи выполняются по верхнему и по нижнему поясу ферм и подразделяются на продольные и поперечные (т.н. диагональные). Устойчивость верхнего сжатого пояса фермы из своей плоскости обеспечивается прогонами и панелями покрытия. Обеспечивать пространственную жесткость зданий из ЛСТК только установкой прогонов и панелей покрытия является недостаточным. Необходимо обязательно устанавливать полную систему связей для должного функционирования отдельных ферм в системе покрытия. Без неё вся система ферм или некоторая её часть может потерять устойчивость при нагрузках значительно меньше проектных. Дополнительно для ЛСТК-ферм предусматривают связи в плоскости решетки фермы, горизонтальные (одиночные) и диагональные, установленные под соответствующими углами. Включенные в общую работу системы связей, они обеспечивают достаточную поддержку под нужными углами плоскости фермы, так чтобы все её части находились в положениях, предусмотренных проектом. Это обусловлено особенностями работы тонкостенного профиля и доказано практикой зарубежного проектирования и монтажа зданий и сооружений из ЛСТК.

Потеря общей устойчивости фермы и потеря элементами местной устойчивости может произойти еще на стадии монтажа и повлечь за собой материальные потери и даже человеческие жертвы. Поэтому при монтаже ЛСТК-ферм в США вводят дополнительную группу связей: систему временных (монтажных) связей. Система временных связей обеспечивает поддержку ферм во время их монтажа. Система постоянных связей обеспечивает поддержку ферм во время эксплуатации здания и противостоит нагрузкам, действующим в течение этого периода. При правильном планировании большая часть системы, а может, и вся система временных связей, используемых во время монтажа фермы, может стать неотъемлемой частью системы постоянных связей, делая тем самым систему постоянных связей устойчивости здания более надежной.

### Основные требования по установке связей в фермах, выполненных из тонкостенного профиля

Для обеспечения устойчивости установка связей должна производиться во всех плоскостях фермы:

- 1) плоскость верхнего пояса (плоскость кровли), рис. 1;
- 2) плоскость элементов решетки фермы (наклонная или вертикальная плоскость относительно фермы), рис. 2;
- 3) плоскость нижнего пояса (плоскость потолка), рис. 3.



**Рисунок 1. Схема установки связей по верхнему поясу ферм для предотвращения общей потери устойчивости**

При этом необходимо четко соблюдать расстояния между связями, угол установки и шаг связей. Основные требования по установке связей приведены на схемах и применимы ко всем видам кровельных ферм (треугольным, трапециевидным, с параллельными поясами и т.д.).

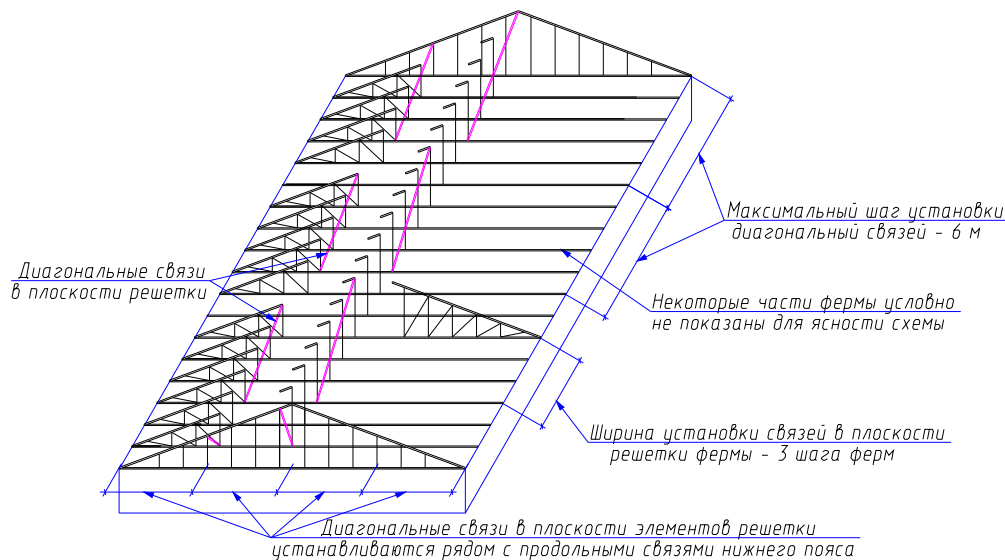
Установка продольных и диагональных (поперечных) связей в плоскости верхнего пояса является наиболее важным этапом, т.к. они прежде всего предотвращают общую потерю устойчивости фермы. Шаг установки связей приведен в таблице 1. Диагональные поперечные связи обязательно располагаются в двух крайних шагах стропильных ферм. Не стоит игнорировать установку диагональных поперечных связей, т.к. одни продольные связи не смогут противостоять потере общей устойчивости.

Назмеева Т.В. Обеспечение пространственной жесткости покрытия в зданиях из ЛСТК

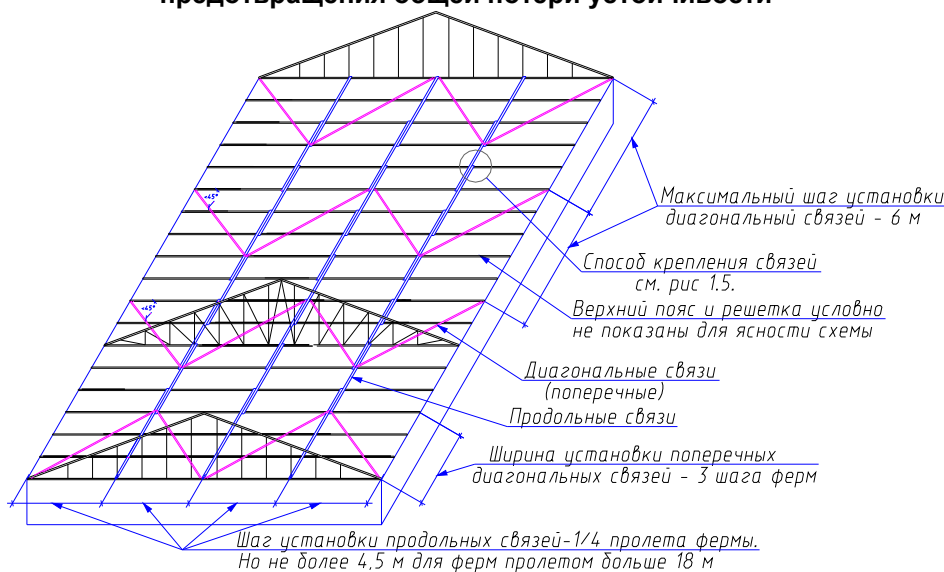
**Таблица 1. Максимальное расстояние между горизонтальными связями для обеспечения пространственной жесткости в плоскости верхнего пояса**

Пролет фермы, м	Шаг связей, м
до 9 м	3
9-14	2,4
14-18	1,8
18-24*	1,2

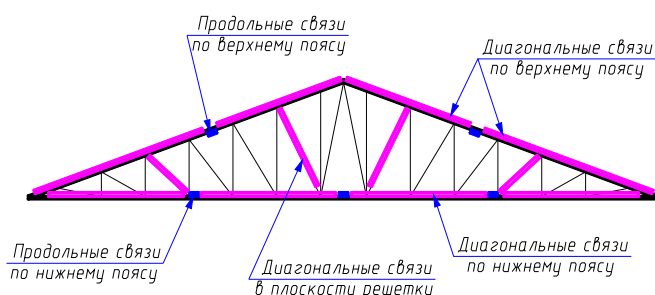
\* – для ферм пролетом более 24 м шаг связей принимается по расчету.



**Рисунок 2. Схема установки связей в плоскости решетки ферм для предотвращения общей потери устойчивости**



**Рисунок 3. Схема установки связей по нижнему поясу ферм для предотвращения общей потери устойчивости**



**Рисунок 4. Схема установки связей**

По верхнему поясу, как правило, выполняется кровельное покрытие при помощи металлической обрешетки (металлических прогонов), которые закреплены с соответствующим шагом. Поэтому, чтобы устанавливаемые продольные горизонтальные связи не мешали шагу обрешетки, их закрепляют по низу верхнего пояса (см. рис. 4).

Установка продольных и диагональных (поперечных) связей в плоскости нижнего пояса необходима для сохранения заданного шага ферм и для закрепления группы ферм в продольном направлении. Шаг установки связей указан на схеме. Каждый ряд продольных связей обязательно должен быть соединен со стенами.

Установка диагональных связей в плоскости решетки необходима, чтобы предотвратить «заваливание» (потерю устойчивости из плоскости) фермы. Шаг установки связей указан на схеме. Крепить диагональные связи желательно к вертикальным элементам (стойкам).

Элементы связей между фермами выполняются следующими способами.

1. Из стандартных промышленных деталей – это стандартные промышленные элементы горизонтального закрепления и детали диагонального крепления в соответствии с сортаментом, разработанные специально для обеспечения пространственной жесткости.

Однако спецификой ЛСТК в России является то, что национального сортамента на ЛСТК-профиль не существует и каждая компания выпускает свои виды профилей по своим техническим условиям.

В США существует единый сортамент на холодногнутый стальной профиль, соответствующий производственным стандартам Ассоциации производителей стальных профилей (SSMA). Продукты SSMA имеют четырехзначный код, который показывает размер (глубину и ширину), форму и толщину материала. При этом разработан специальный сортамент на стандартные промышленные детали системы связей для ферм по В3.4 AISI S214-07/S2-08, в соответствии с которым для связей применяют шляпообразный и С-образный профили заданного размера и толщины. Подобный профиль выпускается и производителями в России.

2. При необходимости возможна конструктивная замена, разработанная инженером-проектировщиком, стандартных промышленных деталей элементами жесткости, выполненными из обычного С-образного профиля. Проект замены и детали должны быть отражены на чертеже проекта фермы КМ и на дополнительных чертежах КМД.

3. Из элементов индивидуального изготовления, которые разрабатывается проектировщиком-профессионалом для зданий оригинальной архитектуры в соответствии с нормативной документацией.

Связи выполняются из элементов толщиной не более 1 мм.

### Минимальные требования к крепежу для связей

Существуют два основных способа соединения связей между собой, которые приведены на рис. 5: тип А) «в паз»; тип Б) «внахлест». Элементы связей соединяются между собой с помощью саморезов размером не менее №10. Минимальное количество винтов на одно соединение с фермой – два.

Винты должны крепко прижать металлические поверхности профиля друг к другу, шляпки должны быть утоплены. Винты должны войти минимум на три шага резьбы в последний стальной компонент соединения.

**Обеспечение** пространственной жесткости элементов и конструкции в целом при монтаже и эксплуатации здания является одной из основных задач инженера-проектировщика в целях предотвращения возможных проблем в ходе эксплуатации здания. Поэтому мы рассматриваем проблему установления связей между фермами из ЛСТК как важную и актуальную.

В данной статье приведены лишь общие требования к таким связям, полученные на основе международных норм. Необходимо дальнейшее исследование этого вопроса на российской базе и внесение соответствующих изменений в отечественные нормы.

#### Литература

1. Айрумян Э.Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «БалтПрофиль». М., 2004.
2. Астахов И.В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутых профилей // Автореферат диссертации к.т.н. СПб, 2006.
3. Камынин С.В. Быстровозводимые жилые здания из ЛСТК для малоэтажного строительства // Стройпрофиль, №6 (76), 2009.
4. Металлические конструкции. В 3т: Учеб. для строит. Вузов / Под ред. В.В. Горева. М., 2004.
5. Рыбаков В.А. Современные методы расчета металлоконструкций из открытых тонкостенных профилей // Материалы Всероссийского Форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах». СПб, 2007.
6. Сетков В.И., Сербин Е.П. Строительные конструкции: Расчет и проектирование: Учебник. – 2-е изд., доп. и испр. М., 2008.

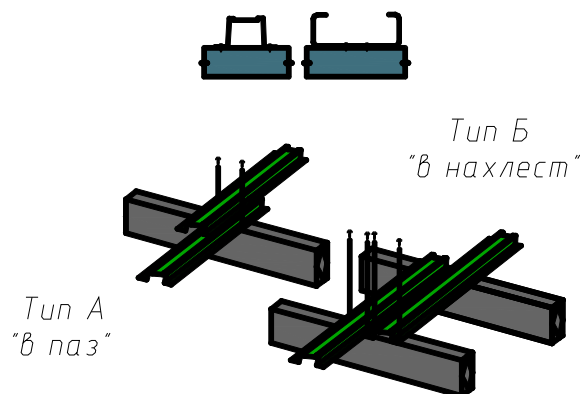


рис.1.5. Схема крепления связей

Рисунок 5. Схема крепления связей