

К вопросу о проектировании легких металлических ферм из уголковых профилей

А.А. Иодчик, А.А. Чебровский

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: В данной статье сделана попытка рассмотреть некоторые особенности расчета и работы легких ферм из прокатных уголков. Приводятся краткие сведения из истории использования ферм из одинарных уголков, показаны их достоинства и некоторые недостатки, а также перспективы применения конструкций данного типа в современной практике строительства. На основании проведенного анализа проектной документации ряда промышленных объектов, построенных за последние два десятилетия в Хабаровском крае, разбираются наиболее часто встречающиеся ошибки, которые допускают проектировщики при разработке конструкций покрытия с использованием ферм из одинарных прокатных уголков.

Ключевые слова: ферма из одинарных прокатных уголков; коррозионная стойкость элементов; эксцентриситет действующего усилия; догружающий узловой момент; величина коэффициента условий работы; опорный узел фермы; дополнительные усилия в сжатых стержнях, коэффициент устойчивости, пространственная жесткость покрытия.

Постановка проблемы. На протяжении всего XX века и прошедших двух десятилетий века нынешнего, при строительстве зданий и сооружений активно использовались легкие металлические конструкции различных видов. Одними из характерных представителей конструкций такого типа являются стропильные фермы покрытий из одинарных прокатных уголков.

Данные конструкции представляют собой решетчатые стержневые системы, в которых пояса, стойки и раскосы выполнены из одинарных прокатных уголков, одной своей полкой установленных в плоскости фермы, а второй полкой ориентированных из плоскости конструкции.

Такие фермы получили широкое применение в СССР, начиная со второй половины прошлого века в системах покрытий зданий промышленных предприятий различного назначения. После распада Советского Союза в период экономического кризиса 90-х годов и фактического прекращения на данном этапе промышленного строительства в Хабаровском крае, проектирование стропильных ферм из одинарных прокатных уголков было свернуто. Однако,

начиная с 2010-х годов, в связи с восстановлением на Дальнем Востоке России некоторых производственных отраслей, возникла потребность в строительстве новых промышленных объектов. Вопросами унификации металлических стропильных ферм, оптимальных конструктивных решений покрытия здания с использованием легких ферм, исследованиями действительного напряженно - деформированного состояния конструкций ферм продолжают заниматься и в настоящее время [1-3], в том числе и иностранные специалисты [4-6]. Вследствие чего в дальневосточном регионе вновь вернулись к использованию ферм из одинарных уголков в качестве несущих конструкций покрытий (рис. 1).

Прежде всего, возвращение к использованию в практике строительства ферм из одинарных уголков, связано с теми преимуществами, которые такие конструкции имеют перед фермами с элементами из двух уголков, а именно:

- на 20 ÷ 30 % ниже трудоемкость изготовления, вследствие меньшего количества фасонки и элементов решетки;
- до 10 % меньшая материалоемкость;
- более высокая стойкость к коррозионному износу, поскольку элементы ферм из одинарных уголков не имеют закрытых труднодоступных мест.



Рис. 1. - Фермы из одинарных прокатных уголков в составе покрытия цеха, строящегося в одном из районов г. Хабаровска

Наряду с достоинствами данных ферм, им также присущи недостатки, и прежде всего это расположение в разных плоскостях осей центров тяжести элементов из одинарных уголков, вследствие чего в узлах фермы возникает догружающий крутящий момент. Для уменьшения действия этого дополнительного узлового момента необходимо сжатые стержни решетки соединять приваренными планками с внутренними гранями полок поясных уголков.

Вопросы эффективности использования ферм из одинарных уголков достаточно подробно исследовались еще в поздний советский период [7] и [8]. В это же время были выпущены рекомендации и указания по проектированию и расчету ферм из одинарных уголков, представленные в «Руководстве по проектированию сварных ферм из одиночных уголков». Сравнение технико-экономических показателей нескольких типов металлических ферм приводится в таблице 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели металлических ферм

Сечение стержней фермы	Вес фермы, кг	Затраты труда	Стоимостные показатели
Парные прокатные уголки	2180 / 1	1	1
Одинарные прокатные уголки	2020 / 0,93	0,72	0,83
Гнутосварные профили (ферма «Молодечно»)	1870 / 0,86	0,69	1,15

Проектирование ферм из одинарных прокатных уголков должно выполняться согласно СП 16.13330.2017 и с учетом выработанных ранее рекомендаций в «Руководстве по проектированию сварных ферм из

одиноким уголком». При этом должны учитываться некоторые особенности работы и расчета элементов данных ферм, а именно:

– Проверка устойчивости выполняется в обеих плоскостях для всех сжатых раскосов с промежуточными закреплениями в плоскости фермы (при наличии шпренгельной решетки и др.). Расчет на устойчивость таких раскосов из плоскости фермы производится, как для сжато изогнутых элементов.

– Во всех узлах данных ферм свободные кромки уголков решетки соединяются планками на сварке с внутренними гранями уголков верхнего и нижнего поясов. Если при этом длины сварных швов оказывается недостаточно, к граням уголков поясов в плоскости фермы впритык к существующим, привариваются дополнительные фасонки.

– Работающие на сжатие раскосы, величина расчетного усилия в которых составляет более 25 % усилия в опорном раскосе, должны дополнительно соединяться планками или сами привариваться к уголкам поясов, непосредственно к полкам, нормально ориентированным к плоскости фермы.

– Имеющаяся узловая расцентровка уголков в плоскости фермы и одностороннее закрепление элементов стержней из плоскости фермы вызывает появление в узлах догружающего крутящего момента. В случае, если возникающий дополнительный момент не учитывается непосредственно при выполнении статического расчета фермы, его влияние на несущую способность элементов поясов и решетки следует учитывать величиной коэффициента условий работы равной 0,75.

Прочностной расчет элементов фермы из одинарных уголков производится по формуле 5 СП 16.13330.2017. «Стальные конструкции».

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

где N – расчетное усилие при центральном растяжении стержня фермы; R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести; A_n – площадь сечения прокатного уголка нетто; $\gamma_c = 0,75$ – коэффициент условий работы одинарного уголка фермы.

Расчет на устойчивость элементов фермы при центральном сжатии усилием N выполняется по формуле 7 СП 16.13330.2017. «Стальные конструкции».

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (2)$$

где N – расчетное усилие при центральном сжатии стержня фермы; A – площадь сечения уголка брутто; φ – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, принимаемый с учетом большей гибкости элемента.

В 2018 г. по заказу компании ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб», в г. Хабаровске началось строительство нескольких цехов по производству изоляционных материалов. В качестве несущих конструкций покрытия в строящихся зданиях были приняты фермы из одинарных прокатных уголков. Однако первоначально изготовленные фермы не отвечали предъявляемым требованиям по несущей способности элементов и конструированию узлов данных ферм (рис. 2).



Рис. 2. - Опорный узел изначально изготовленной стропильной фермы из одинарных прокатных уголков

Одной из проектных организаций г. Хабаровска был выполнен новый проект здания цеха [9], в том числе, были разработаны и новые стропильные фермы из одинарных уголков. По просьбе заказчика сотрудниками кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Тихоокеанского государственного университета была выполнена экспертиза данного проекта, по результатам которой выдано техническое заключение [10].

При проведении экспертизы был произведен анализ результатов статического расчета и основных конструктивных решений новых ферм из одинарных прокатных уголков, использованных в проекте [8] в качестве несущих конструкций покрытия одного из зданий. Следует отметить несколько ошибок, допущенных в [9] при проектировании ферм из одинарных уголков.

1. Конструкция опорного узла фермы (рис. 3) была разработана без учета указаний по проектированию согласно «Руководству по проектированию сварных ферм из одиночных уголков», разработанные в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Рекомендованное сотрудниками кафедры ПГС решение опорного узла фермы из одинарных прокатных уголков приведено на рис. 4.

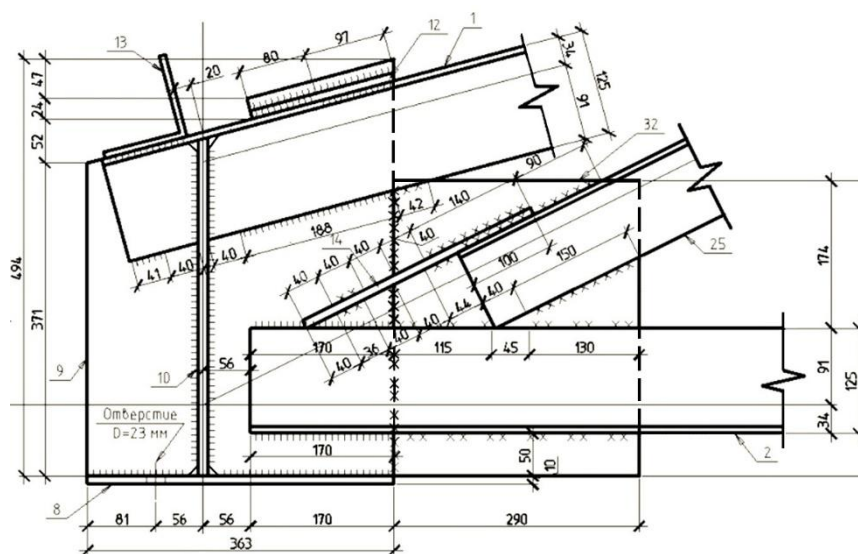


Рис. 3. - Конструкция опорного узла фермы, разработанная в проекте [8]

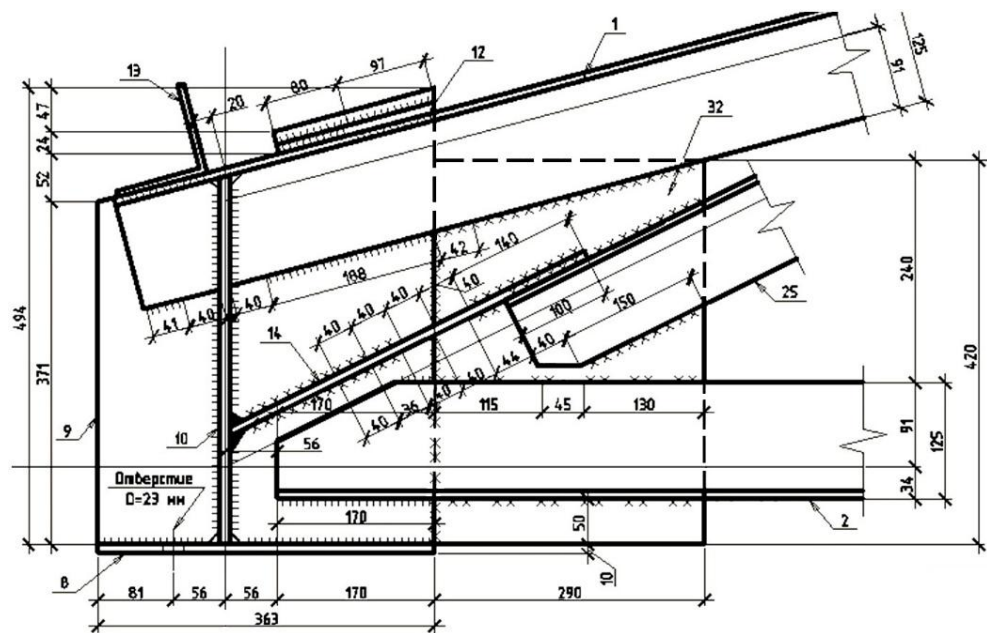


Рис. 4. - Конструкция опорного узла фермы, выполненная согласно рекомендациям по проектированию в «Руководстве по проектированию сварных ферм из одиночных уголков»

2. При выполнении статического расчета фермы не был учтен возникающий дополнительный узловый момент, однако при подборе номеров уголковых профилей для стержней фермы был принят коэффициент условий работы равный 0,9. В результате равнополочный уголок номер 9 (90×90×8) по ГОСТ 8509-93, заложенный в проекте [9] для опорного раскоса не отвечает требованиям устойчивости в плоскости фермы.

3. В качестве нижнего пояса фермы принят равнополочный уголок номер 10 (100×100×8) по ГОСТ 8509-93. Согласно проекту [9], нижний пояс фермы имеет только одну распорку в середине пролета, что не удовлетворяет требованиям предельной гибкости растянутого стержневого элемента нижнего пояса из плоскости фермы.

4. Разработанная в проекте система горизонтальных и вертикальных связей по фермам из одинарных прокатных уголков не достаточна для надежного обеспечения пространственной жесткости покрытия здания цеха.

Заключение. При использовании в покрытиях зданий различного назначения легких металлических ферм из одинарных уголков необходимо на этапе проектирования соблюдать некоторые специальные требования:

1. Конструирование опорного узла фермы необходимо производить согласно требованиям п. 3.5 «Руководства по проектированию сварных ферм из одиночных уголков», назначив расстояние от обушка уголка верхнего пояса до оси фермы, совмещаемой с разбивочной осью ряда, в зависимости от размера полки уголка, ориентированной нормально к плоскости фермы.

2. При выполнении статического расчета ферм из одинарных прокатных уголков следует учитывать возникающие в элементах ферм догружающие крутящие моменты. В случае, если усилия в поясах и решетке фермы определяются без учета действия этих дополнительных моментов, следует при прочностных расчетах и расчетах на устойчивость стержней фермы использовать коэффициент условий работы элементов γ_c равный 0,75.

3. Согласно рекомендации, п. 3 «Руководства по проектированию сварных ферм из одиночных уголков» полку уголка сжатого опорного раскоса (поз. 25, рис. 4), расположенную из плоскости фермы необходимо соединять с фасонками опорного узла и ребром жесткости (поз. 10) приваривая дополнительную планку (поз. 14).

4. Для обеспечения пространственной жесткости покрытия с фермами из одинарных прокатных уголков в связевых блоках ферм следует устанавливать дополнительные вертикальные связи.

Литература

1. Запросян А.О., Леонова Д.А., Шкрылев Р.А. Техничко-экономическое обоснование унификации элементов металлических стропильных ферм. // Инженерный вестник Дона, 2021, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7148/.

2. Вильгельм Ю.С., Сухина К.Н., Дубовский М.Е., Слышкина Е.А., Власов В.Н., Сухин К.А. Влияние погиба равнополочного уголка на несущую способность конструкций покрытия. // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5719/.

3. Голотайстрова Е.Ю. Жесткий диск покрытия из перекрестных легких стальных ферм. // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3912/.

4. Мельников Н. П. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

5. Бирюлев В.В., Кошин И.И., Крылов И.И. Проектирование металлических конструкций. Спецкурс: учеб. пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.

6. Shved Ya., Kovalchuk Ya. Material consumption optimization of a welded rafter truss made of angle profiles. // Procedia Structural Integrity, 2022, №36, pp. 10-16. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321621003231/.

7. Freddia F., Cimanb L., Tondinib N. Retrofit of existing steel structures against progressive collapse through roof-truss. // Journal of Constructional Steel Research, 2022, №188, pp. 834-839. URL: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X21005198 /.

8. Fong M., Cho S-H., Chan S-L. Design of angle trusses by codes and second-order analysis with experimental verification. // Journal of Constructional Steel Research, 2009, №65, pp. 2140-2147. URL: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X09001564/.

9. Цех из металлических конструкций утепленного типа по производству изоляционных материалов на площадках филиала ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб» в г. Хабаровске (034-06-0122-АР; 034-06-0123-КМД) – Хабаровск, 2018. – 108 с.

10. Металлические конструкции покрытия цеха производственного корпуса филиала ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб» в г. Хабаровске по ул. Гагарина, 22в / Техническое заключение. Кафедра ПГС ТОГУ. – Хабаровск, 2019. – 62 с.

References

1. Zaprosyan A.O., Leonova D.A., SHkrylev R.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7148/.

2. Vil'gel'm YU.S., Sukhina K.N., Dubovskiy M.E., Slyshkina E.A., Vlasov V.N., Sukhin K.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5719/.

3. Golotaystrova E.YU. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3912/.

4. Mel'nikov N. P. Metallicheskie konstruksii [Metal structures]. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya. M.: Stroyizdat, 1983. 543 p.

5. Biryulev V.V., Koshin I.I., Krylov I.I. Proektirovanie metallicheskih konstruksiy. Spetskurs: ucheb. posobie dlya vuzov [Design of metal structures. Special course: textbook for universities]. L.: Stroyizdat, 1990. 432 p.

6. Shved Ya., Kovalchuk Ya. Procedia Structural Integrity, 2022, №36, pp. 10-16. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321621003231/](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321621003231/).

7. Freddia F., Cimanb L., Tondinib N. Journal of Constructional Steel Research, 2022, №188, pp. 834-839. URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X21005198/](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X21005198/).

8. Fong M., Cho S-H., Chan S-L. Journal of Constructional Steel Research, 2009, №65 (Iss.12), pp. 2140-2147. URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X09001564/](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X09001564/).



9. TSeKh iz metallicheskih konstruksiy uteplennogo tipa po proizvodstvu izolyatsionnykh materialov na ploshchadkakh filiala OOO «PENOPLE'KS SPb» v g. KХabarovske (034-06-0122-AR; 034-06-0123-KMD) [A workshop made of insulated metal structures for the production of insulating materials at the sites of the branch of «PENOPLEX SPb» in Khabarovsk]. KХabarovsk, 2018. 108 p.

10. Metallicheskie konstruksii pokrytiya tsekha proizvodstvennogo korpusa filiala OOO «PENOPLE'KS SPb» v g. KХabarovske po ul. Gagarina, 22v. Tekhnicheskoe zaklyuchenie. Kafedra PGS TOGU [Metal structures of the coating of the workshop of the production building of the branch of PENOPLEX SPb in Khabarovsk on Gagarina street. Technical conclusion. Department of PGS PNU]. KХabarovsk, 2019. 62 p.