



УДК 624.011.

Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Исаев А.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: isaev@kgasu.ru

Гимранов Л.Р. – кандидат технических наук, ассистент

E-mail: leenur@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Несущая способность узлов подстропильных ферм по серии 1.460.3-14КМ

Аннотация

В статье рассматривается расчет по отечественным и европейским нормам узла сопряжения элементов решетки и пояса подстропильной фермы ПФ12-30 из гнuto-сварных профилей (ГСП). Определяется несущая способность данного узла по обоим методикам. Описывается численное моделирование данного узла в программном комплексе Ansys с учетом геометрической и физической нелинейности. Определяется несущая способность узла по результатам численного моделирования.

Ключевые слова: ГСП, подстропильная ферма ПФ12-30, несущая способность.

В последнее время при строительстве многопролетных зданий широко применяются легкие металлические конструкции типа «Молодечно» согласно серии 1.460.3-14КМ. Конструкции покрытий данных зданий выполняются по сетке колонн 12x18(24)(30) м и включают подстропильные фермы пролетом 12 м и стропильные фермы пролетом 18, 24 и 30 м, установленные с шагом 4 м. Одно из этих решений с подстропильными фермами марки ПФ-12-30 пролетом 12 м было реализовано при строительстве складского терминала размерами в плане 744x110м «Логопарк «Биек Тау» вблизи города Казани. В феврале 2012 года произошло обрушение несущих конструкций покрытия данного здания. Одной из вероятных причин обрушения является недостаточная несущая способность подстропильных ферм, а именно их узлов, вид которых после аварии приведен на рис. 1.

В статье приводятся результаты исследований несущей способности узлов подстропильной фермы ПФ-12-30 по серии 1.460.3-14КМ согласно указаниям [1], [2], [3], а также на программном комплексе Ansys, реализующем метод конечных элементов. Исследуемая ферма и узлы в месте опирания стропильных ферм приведены на рис. 2, а сечения элементов и расчетные усилия согласно серии в табл.

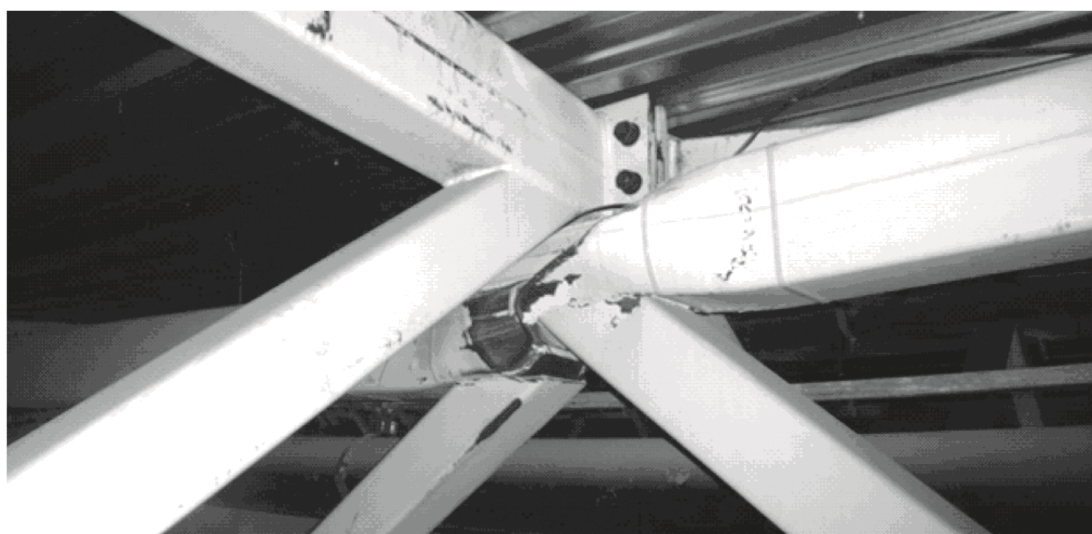


Рис. 1. Общий вид разрушения узлов подстропильных ферм в месте опирания стропильных ферм

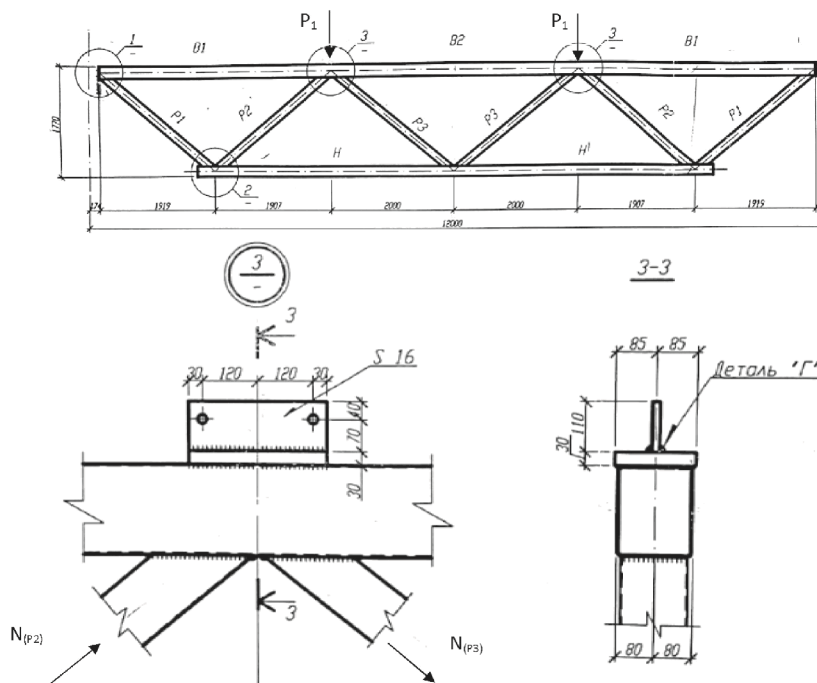


Рис. 2. Конструкция подстропильной фермы и ее узлы в месте опирания стропильной фермы

Таблица

Таблица сечений элементов ферм и расчетных усилий (данные серии 1.460.3-14КМ)

Элементы фермы	Обозначение элементов	Марка стали по ГОСТ 27772-88	Допускаемая нагрузка				
			P1=P2=30тс (P1=35тс, P225тс)				
			Усилия		Сечение	Несущая способность	
N, тс	M, тсм	N, тс	M, тсм				
Верхний пояс	B1	С345-3	-48.0	1.14	Гн. □ 200x160x5	-83.4	1.1
	B2		-81.5	1.1	Гн. □ 200x160x5	-83.4	1.1
	H		+75.8	0.8	Гн. □ 160x5	+85.6	0.8
Раскосы	P1	С245	+49.4	0.7	Гн. □ 140x4	+55.6	0.7
	P2		-49.5	0.5	Гн. □ 140x4	-56.4	0.5
	P3		±5.8	0.2	Гн. □ 120x3	+23.9	0.3
Опорное давление, тс			31.7				
Масса фермы, кг			815				
Марка фермы			ПФ-12-30				

Несущая способность узла фермы согласно отечественным нормам [1]

Проверка несущей способности рассматриваемого узла фермы, а именно его боковой стенки в плоскости узла согласно п. Л2.4.[1], выполняются как для К-образного узла на усилия, указанные в табл. Выполняя данную проверку, получаем, что прочность узла выполняется. Однако, если сопоставить усилия в раскосе P2 и в раскосе P3, которые по модулю отличаются в 10 раз, то справедливо рассмотреть данный узел как У-образный, т.е. усилия в раскосе P3 стремятся к нулю. В этом случае проверку несущей способности следует выполнять согласно п. Л2.2 [1], при этом несущая способность узла обеспечивается при вертикальной нагрузке на узел 19672 кг при заявленной в серии (табл.) – 30000 кг. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

• Несущая способность узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 от действия указанной нагрузки $P_1=30$ т обеспечена в случае, если его несущую способность проверять согласно п. Л.2.2 и п. Л.2.4.

• Если проверять несущую способность узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 согласно п. Л.2.3 из предположения работы этого узла как У-образного, то она будет обеспечена только при усилении $P_1=19,672$ т.

• Какие-либо указания по отнесению данного узла как подлежащего расчету согласно п. Л.2.3 в [1] отсутствуют. Однако, учитывая, что при равномерной нагрузке средние раскосы находятся в зоне чистого изгиба и не испытывают продольных усилий, расчет данного узла как К-образного не справедлив.

Несущая способность узлов фермы согласно Еврокоду [2] и рекомендациям по расчету узлов ферм из замкнутых гнуто-сварных профилей [3]

Согласно указанным документам формулы для проверки несущей способности К-образных узлов рассматриваются для случаев, когда продольные усилия в примыкающих элементах решетки имеют разный знак и отличаются по модулю не более чем на 20 %. В этом случае, когда усилие в одном из раскосов равно или близко к нулю, данный узел считается как У-образный и несущая способность определяется по формулам табл. 4.1 [3] и таблице 7.10 и 7.11 [2]. Несущая способность узла, выраженная через продольное усилие в раскосе $N_{1,Rd}$, зависит от отношения ширины раскоса к ширине пояса и при равной ширине составляет $N_{1,Rd}=23593$ кг при соотношении ширины раскоса к ширине пояса, равном 0,85- $N_{1,Rd}=37263$ кг. Промежуточные значения находятся линейной интерполяцией. Для рассматриваемого узла это соотношение составляет 0,875, а несущая способность узла при этом равна $N_{1,Rd}=34980$ кг, что будет соответствовать вертикальной нагрузке $P_1=21,2$ т. По результатам исследований несущей способности узла по нормам Евросоюза [2], [3] можно сделать следующие выводы:

• Несущая способность узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 будет обеспечена при вертикальном давлении, равном $P_1=21,2$ т;

• Несущей способности узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 недостаточно для восприятия вертикальной нагрузки равной $P_1=30$ т;

• В нормах проектирования, используемых в данном разделе, даны четкие указания по расчету рассматриваемого узла как У-образного.

Численные исследования несущей способности данного узла

Несущая способность рассматриваемого узла фермы производилась на программном комплексе Ansys, использующем метод конечных элементов. Расчетная модель включала в себя половину рассматриваемой подстропильной фермы с осью симметрии в середине пролета (рис. 3).

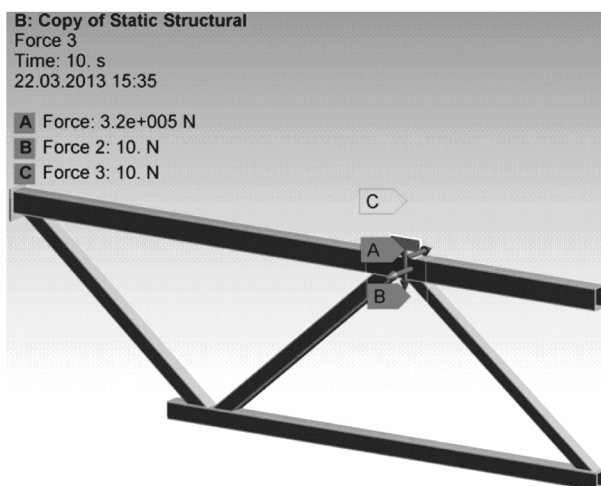


Рис. 3. Расчетная модель подстропильной фермы ПФ-12-30

Расчетное сопротивление стали для верхнего пояса сечением 200x160x5 мм и раскосов сечением 140x140x4 составило 350 МПа, а для центральных раскосов сечением 120x120x3 мм – 245 МПа. Физическая нелинейность учитывалась заданием диаграммы Прандтля с пределом текучести 350 МПа и тангенсальным модулем упругости 0 МПа. Геометрическая нелинейность учитывается программным комплексом. Деформированная схема узла фермы на последнем этапе нагружения представлена на рис. 4.

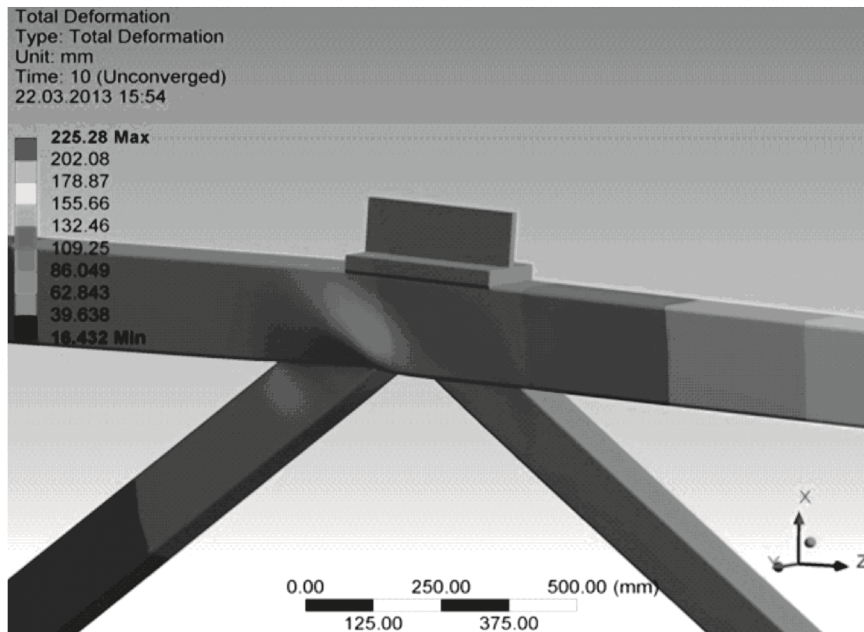


Рис. 4. Деформированная схема фермы представлена на стадии разрушения

Приведенный рисунок соответствует этапу разрушения. Для выявления момента потери устойчивости рассматривается деформация стенки узла (рис. 5). Данная деформация стенки в 4 мм наблюдается в момент потери устойчивости при обширном развитии пластических деформаций по всей стенке. Для выявления нагрузки, соответствующей началу потери устойчивости, построен график зависимости деформаций стенки узла от нагрузки (рис. 6).

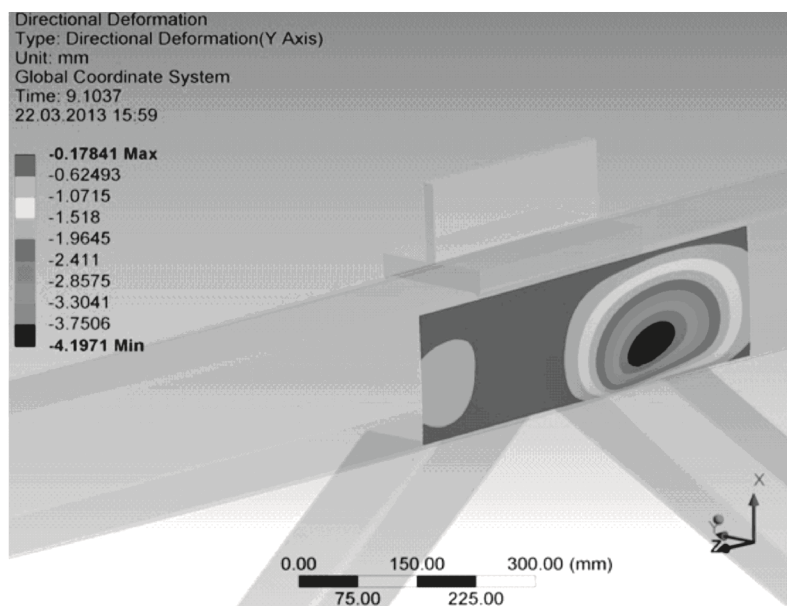


Рис. 5. Деформированная схема стенки в процессе потери устойчивости

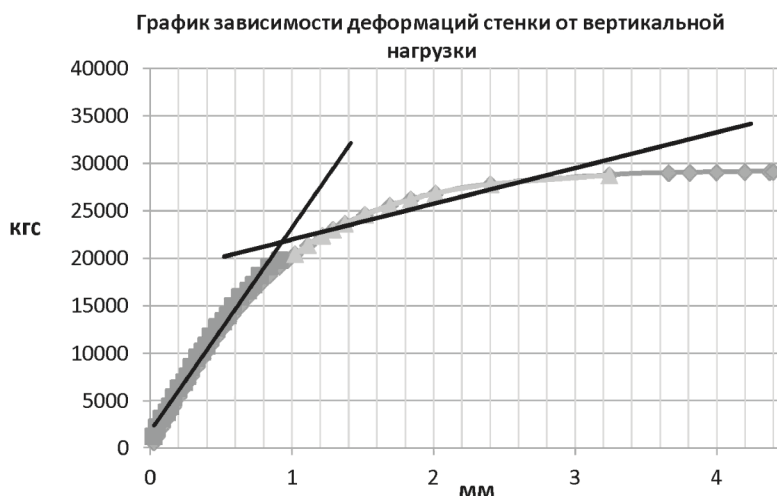


Рис. 6. График зависимости деформаций стенки от вертикальной нагрузки

Анализируя график, приведенный на рис. 6, за начало момента потери устойчивости можно принять вертикальное усилие, соответствующее диапазону $P1=22-25$ т.

По результатам численных исследований можно сделать следующие выводы:

- Несущая способность узла подстропильной фермы обеспечена при вертикальной нагрузке $P1=22$ т;

- При превышении вертикальной нагрузки $P1=22$ т в диапазоне до $P1=25$ т произойдет потеря местной устойчивости стенки пояса, которая приведет к необратимым деформациям.

Общие выводы:

По результатам вышеописанных исследований можно сделать следующие выводы:

- Несущая способность узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 относительно вертикальной нагрузки $P1$, определенная согласно действующим нормам Российской Федерации, а именно СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции», зависит от того, как рассматривать данный узел подстропильной фермы.

- При рассмотрении данного узла как К-образного его несущая способность составляет $P1 = 33,52$ т.

- При рассмотрении данного узла как У-образного, что продиктовано характером его работы под нагрузкой, его несущая способность составляет $P1 = 19,672$ т.

- Несущая способность узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 относительно вертикальной нагрузки $P1$, определенная согласно действующим нормам Евросоюза, а именно Еврокод: EN 1993-1-8 «Design of steel structures», Part 1-8: Design of joints, составляет: $P1 = 21,2$ т; при этом данный узел должен рассматриваться при расчете только как У-образный.

- Несущая способность узла 3 подстропильной фермы ПФ-12-30 относительно вертикальной нагрузки $P1$, определенная согласно численным исследованиям на ЭВМ, составила диапазон $P1=22-25$ т.

- Небольшое отличие несущей способности узла 3 относительно вертикальной нагрузки $P1$, вычисленное по отечественным нормам и нормам Еврокод при рассмотрении его как У-образного, а также хорошая сходимость с результатами, полученными на ЭВМ, свидетельствует о том, что данный узел необходимо обязательно считать как У-образный. Данный вывод обосновывается тем, что при симметричном нагружении подстропильной фермы средние раскосы находятся в зоне чистого изгиба, а, следовательно, усилия в них равны 0 и они не оказывают разгружающего влияния на местную устойчивость стенки верхнего пояса фермы, а приведенные расчетные усилия в раскосе фермы справедливы для подбора их сечений. Для расчета рассматриваемого узла

необходимо рассматривать симметричное нагружение, когда средние раскосы, находясь в зоне чистого изгиба, будут иметь нулевые значения усилий.

Список литературы

1. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М., 2011. – 173 p.
2. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-8: EN 1993-1-8 Design of joints.
3. Packer J.A., Wardenier J., Zhao X.-L., G.J. van der Vegte and Kurobane Y. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. CIDECT, 2009. – 156 p.

Kuznetsov I.L. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Isaev A.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Isaev@kgasu.ru

Gimranov L.R. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: leenur@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The load capacity of joint of the truss made by typical blueprints 1.460.3-14KM

Resume

This article reviews the different approaches in estimate of load capacity of the welded joints in steel truss made from rectangular hollow sections. The load capacity calculated accordingly by Russians code does not consider some aspects that could be faced in designing of steel trusses made from rectangular hollow sections. Especially it does not certainly point, in case when into joint one brace element is compressed and other does not care load, should joint be considered as a K-joint or a Y-joint type. The difference in load capacity between K and Y-joints with compress brace member is more than 30 %. These limitations could have caused collapse roof elements in some parts of building of warehouse «Biek-tau» that has place in Kazan suburbs in 2011. Also computational researching with engineering software was held it has shown that in this truss the moderate joints inside non moment zone (joints near center of span) should be considerate as Y-joint type despite the shape of joint which looks like a K-joint type.

Keywords: rectangular hollow sections, K-joint, Y-joint, the load capacity of the joints.

References

1. Codes SP 16.13330.2011. Steel structures. – М., 2011. – 173 p.
2. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-8: EN 1993-1-8 Design of joints. ICS 91.010.30.
3. Packer J.A., Wardenier J., Zhao X.-L., G.J. van der Vegte and Kurobane Y. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. CIDECT, 2009. – 156 p.