

Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 69.07

DOI: 10.14529/build180405

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА ВЕРХНЕГО ПОЯСА СЕРИЙНОЙ ФЕРМЫ ИЗ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Д.В. Чебоксаров, А.Д. Минеева, А.М. Шубин

Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, Россия

Решается задача увеличения угла наклона верхнего пояса стропильных ферм из гнутосварных профилей. Необходимость увеличения угла наклона верхнего пояса продиктована тем, что при устройстве кровельного покрытия из сэндвич-панелей минимальный уклон должен составлять 7° или 12 %. В действующей в настоящее время серии 1.460.3-23.98 уклон верхнего пояса ферм принят 10 %. В статье проведен анализ изменения усилий в элементах ферм из гнутосварных профилей при изменении угла наклона верхнего пояса. Для численного моделирования работы фермы из гнутосварных профилей использован программный комплекс SCAD Office 21.1. При создании расчетной схемы учитывались эксцентриситеты, возникающие в узлах ферм из гнутосварных профилей. Учет эксцентриситетов выполнялся путем сдвига узлов примыкания элементов решетки вдоль оси поясов. Показано, что в результате изменения высоты фермы продольные усилия в элементах решетки уменьшились, а узловые изгибающие усилия увеличились. Выполнены поверочные расчеты с учетом изменившихся усилий в узлах.

Ключевые слова: фермы из гнутосварных профилей, «Молодечно», кровля из сэндвич-панелей.

Основной задачей при возведении кровли любой конфигурации и вида является максимальное обеспечение защиты здания от негативного воздействия внешних факторов. Устойчивость изготавливаемых крыш будет зависеть от качества ее несущей конструкции, в основе которой находится стропильная ферма. Данное изделие должно выдерживать существенные нагрузки, состоящие из веса пирога кровли, а также массы снега, который накапливается в зимний период времени. Оказывает влияние и сильный ветер. Задачей ферм является передача общей нагрузки с кровли на несущий каркас здания.

При строительстве одноэтажных промышленных зданий применяются сэндвич-панели – один из востребованных кровельных материалов. Их можно устанавливать в любое время года. Монтаж сэндвич-панелей представляется легким и быстрым по сравнению с другими видами кровельного покрытия. Они обладают высокими эксплуатационными качествами и способностью выдерживать существенные нагрузки. Согласно [1] панели могут эксплуатироваться в снеговых районах I–VI, то есть рассчитаны под нагрузку до 400 кг/м^2 , а также обеспечивают эффективный сток воды с крыши. Благодаря надёжной теплоизоляции сэндвич-панель можно применять в любой климатической зоне России. Панели имеют сравнительно небольшой вес и одновременно выполняют функцию финишного покрытия и утеплителя. Именно по этим

причинам кровля из сэндвич-панелей пользуется высоким спросом среди застройщиков.

В настоящей статье изучается серия 1.460.3-23.98 «Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения с уклоном кровли 10 %» [2], которая заменяет собой серию 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» [3], в которой ферма запроектирована с параллельными поясами, имеющими строительный подъем 0,015 %. В действующей серии 1.460.3-23.98 уклон кровли составляет 10%. СП 17.13330.2011 «Кровли» [4], где приведены предпочтительные уклоны кровель в зависимости от применяемых материалов, не дает ответа насчет сэндвич-панелей. Наиболее близкий к сэндвич-панелям материал, который фигурирует в [4] – это профилированный металлический лист. Для этой позиции (стальной оцинкованный, с полимерным покрытием, из нержавеющей стали, медный, цинк-титановый, алюминиевый лист) установлено значение «больше или равно 12 %», то есть больше или равно углу в 7° [5].

В связи с этим возникает необходимость в проектировании стропильной фермы с увеличенным уклоном верхнего пояса. В определении того, как повлияет изменение уклона на усилия, возни-

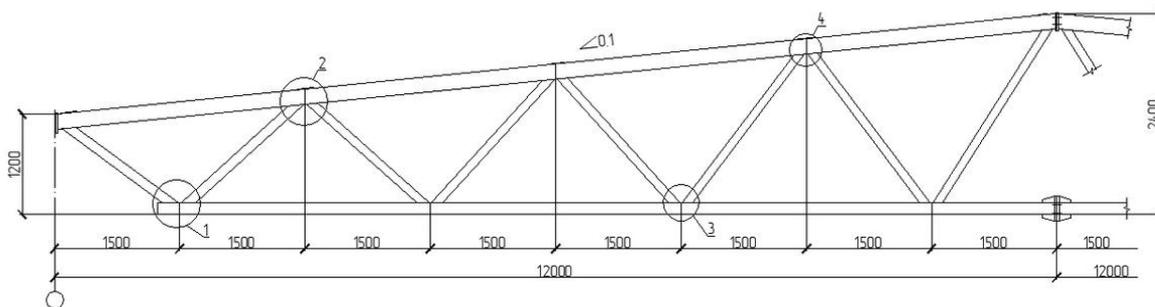


Рис. 1. Геометрия стропильной фермы по серии 1.460.3-23.98

кающие в элементах фермы, и заключается цель данного исследования. Общий вид стропильной фермы с уклоном кровли 10 % приведен на рис. 1 [2].

Применение ферм из гнutosварных профилей обусловлено рядом преимуществ, начиная от прочности и заканчивая более эстетичным и архитектурно выразительным внешним видом. Также данную ферму можно использовать в условиях повышенной агрессивности окружающей среды, так как закрытые сечения стержней позволяют уменьшить открытые площади, подвергаемые коррозии, в два раза по сравнению с открытыми [6]. Трубы прямоугольного сечения обладают достаточной конструктивной жесткостью и прочностью, также их применение позволяет снизить общую металлоемкость любой конструкции на четверть, что значительно удешевляет ее стоимость [7]. Причем прочность конструкции легко регулировать, используя при монтаже прямоугольные трубы с различной толщиной стенок.

Но, используя данный тип ферм, стоит обратить внимание на существующие недостатки, такие как трудоемкость изготовления и возникнове-

ние изгибающего момента в узлах соединения поясов и раскосов за счет того, что оси данных элементов не пересекаются в одной точке. На рис. 2 видно, что оси раскосов пересекаются с неким эксцентриситетом, который увеличивается по мере приближения к середине фермы.

Перед тем как спроектировать ферму с уклоном 15 %, в ПК SCAD Office была выполнена проверка сечений раскосов и поясов с узловым соединением последних. За счет увеличения уклона на 5 % увеличилась высота фермы, что в свою очередь привело к уменьшению усилий в элементах фермы. В таблице приведена информация об усилиях в ферме с уклоном 10 % [2], с уклоном 15 % и о принятых в серии сечениях. Из таблицы видно, что продольные усилия в элементах фермы уменьшились. Следовательно, сечения, принятые в серии, можно оставить без изменений, что позволило получить новую геометрию фермы (рис. 3).

Однако увеличение уклона верхнего пояса также привело к увеличению эксцентриситетов (рис. 4), что, в свою очередь, привело к увеличению величины изгибающих моментов в узлах фермы.

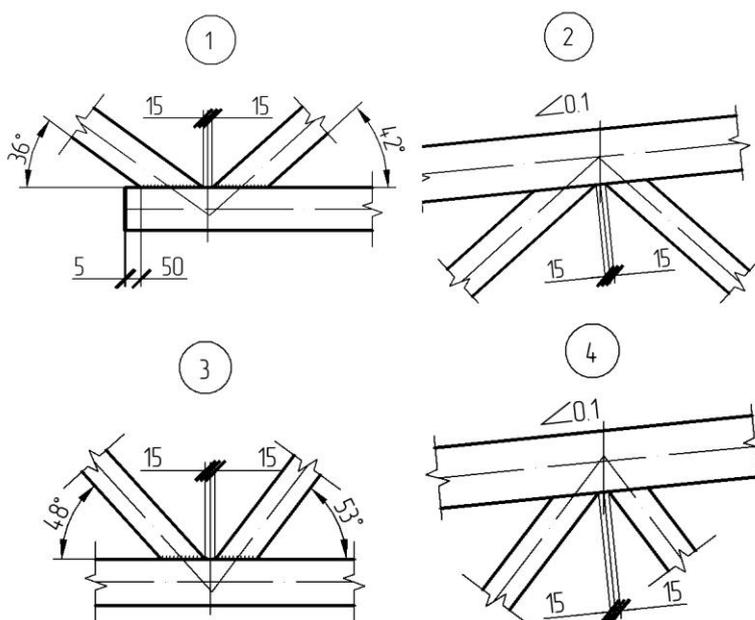


Рис. 2. Основные узлы стропильной фермы по серии 1.460.3-23.98

Таблица

Элементы фермы	Обозначение элементов	Марка стали по ГОСТ 27772-88	Допускаемая расчетная нагрузка в тс/м		
			2,9		
			Усилие в ферме с уклоном 10 % N, тс	Сечение	Усилие в ферме с уклоном 15 % N, тс
Верхний пояс	B1	С345-3 (R=3400 кг/см ²)	-36,8		Гн. □ 180x140x6
	B2		-82,1	Гн. □ 180x140x6	-72,01
	B3		-97,5	Гн. □ 180x140x6	-81,49
	B4		-95,6	Гн. □ 180x140x6	-77,7
Нижний пояс	H1		+66,3	Гн. □ 140x6	+59,87
	H2		+94,1	Гн. □ 140x6	+79,74
	H3		+99,2	Гн. □ 140x6	+81,19
	H4		+91,5	Гн. □ 140x6	+73,3
Раскосы	P1	С255 (R=2450 кг/см ²)	+44,9	Гн. □ 120x5	+42,64
	P2		-40,2	Гн. □ 120x5	-35,53
	P3		+20,5	Гн. □ 100x3	+15,93
	P4		-18,0	Гн. □ 100x3	-13,99
	P5		+4,3	Гн. □ 100x3	+1,37
	P6		-3,8	Гн. □ 100x3	-1,13
	P7		-7,3	Гн. □ 100x3	-8,1
	P8		+6,8	Гн. □ 100x3	+7,71

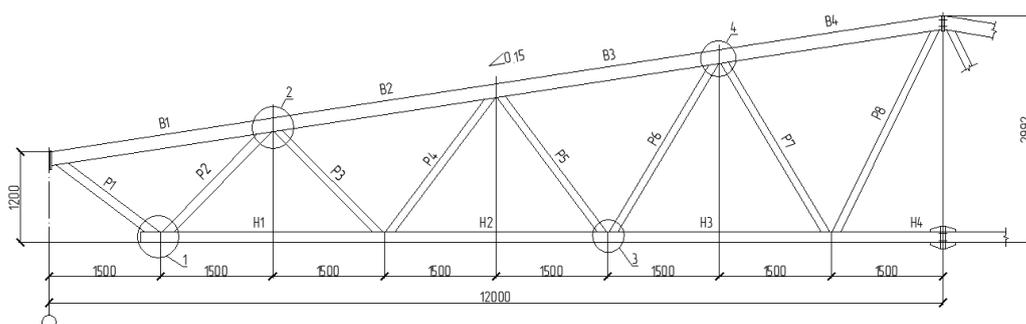


Рис. 3. Геометрия стропильной фермы с уклоном верхнего пояса 15 %

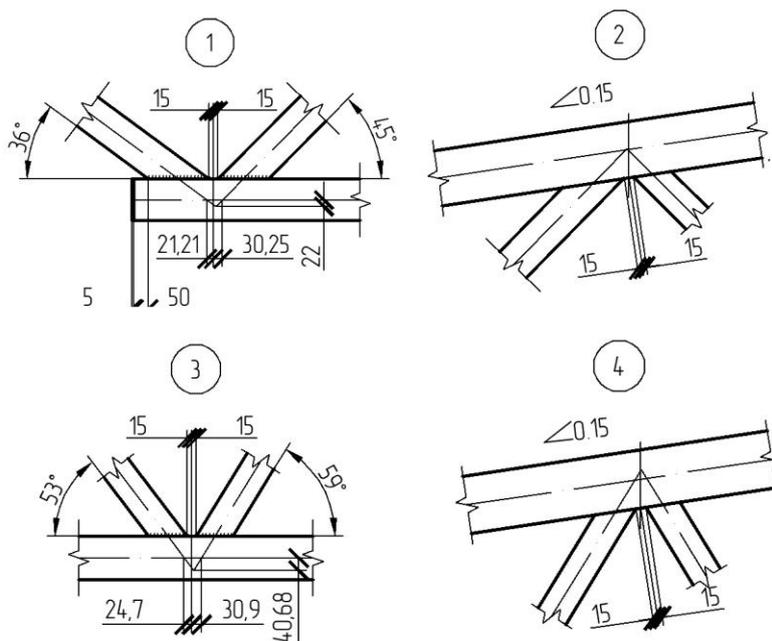


Рис. 4. Узлы стропильной фермы с уклоном верхнего пояса 15 %

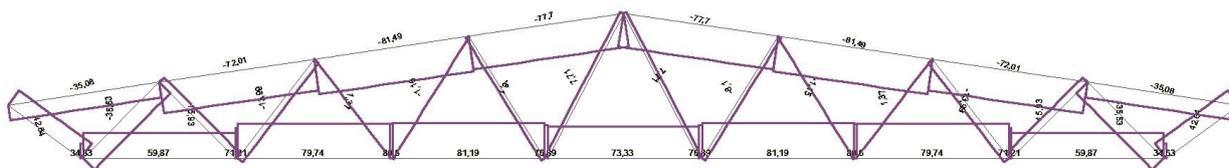


Рис. 5. Эпюра изгибающих моментов стропильной фермы с уклоном верхнего пояса 15 %

Для оценки прочности элементов фермы с измененным углом наклона верхнего пояса в ПК SCAD Office [8] была смоделирована ферма с учетом данных эксцентриситетов. Результат расчета показан на рис. 5, по которому видно, что максимальный изгибающий момент возникает в месте пересечения раскоса P2 и нижнего пояса H1, но расчет на прочность сварного шва производится для раскоса P1, так как в нем действует продольная растягивающая сила совместно с изгибающим моментом. Если проверка выполняется в данном узле, в оставшихся прочность будет обеспечена.

Расчет сварных соединений с угловыми швами при совместном действии момента M , равного $0,37 \text{ т}\cdot\text{м}$ или $329,2 \text{ кН}\cdot\text{см}$, и продольной силы N , равной $418,2 \text{ кН}$, в плоскости, перпендикулярной к плоскости расположения швов, выполнен на условный срез по двум сечениям [9, 10]:

по металлу шва: $\tau \leq R_{wf} \gamma_c$;

по металлу границы сплавления: $\tau \leq R_{wz} \gamma_c$,

где R_{wz} , R_{wf} – расчетное сопротивление металла на границе сплавления;

$\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условия работы по [9, табл. 1];

$$R_{wf} = \frac{0,55 R_{wm}}{\gamma_{wm}}; R_{wz} = 0,45 R_{un}, \quad (1)$$

где $R_{wm} = 49 \text{ кН}/\text{см}^2$ – нормативное сопротивление металла по [9, табл. Г.2];

$R_{un} = 49 \text{ кН}/\text{см}^2$ – нормативное сопротивление стали;

$\gamma_{wm} = 1,25$ – коэффициент надежности по металлу шва [9].

По металлу шва:

$$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_M)^2}; \quad (2)$$

$$\tau_N = \frac{N}{\beta_f k_f l_w} = \frac{418,2}{0,9 \cdot 0,5 \cdot 63,4} = 14,66 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}; \quad (3)$$

$$\tau_M = \frac{M}{W_f} = \frac{329,2}{216} = 1,52 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad (4)$$

$$\tau = \sqrt{(14,66 + 1,52)^2} = 16,18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}; \quad (5)$$

$$16,18 \text{ кН}/\text{см}^2 \leq 21,6 \cdot 0,9 = 19,44 \text{ кН}/\text{см}^2. \quad (6)$$

По металлу границы сплавления:

$$\tau_N = \frac{N}{\beta_z k_f l_w} = \frac{418,2}{1,05 \cdot 0,5 \cdot 63,4} = 12,56 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}; \quad (7)$$

$$\tau_M = \frac{M}{W_z} = \frac{329,2}{252} = 1,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}; \quad (8)$$

$$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_M)^2} = 13,86 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}; \quad (9)$$

$$13,86 \text{ кН}/\text{см}^2 \leq 22,1 \cdot 0,9 = 19,89 \text{ кН}/\text{см}^2, \quad (10)$$

где β_f , β_z – безразмерный коэффициент, определяемый по [9, табл. 38];

k_f – катет шва, принятый 5 мм по серии [2];

l_w – длина шва равная 12 см ; принимаем длину того шва, который работает на растяжение, т. е. одну из сторон прямоугольника. Оставшуюся часть растянутого сварного шва примем в запас для напряжения от изгибающего момента. Для расчета по продольной силе – полная длина, равная $63,4 \text{ см}$.

W_f, W_z – моменты сопротивления расчетных сечений сварного соединения по металлу шва и по металлу границы сплавления соответственно;

$$W_f = \frac{\beta_f k_f l_w^2}{3} = \frac{0,9 \cdot 0,5 \cdot 12^2}{3} = 216 \text{ см}^2; \quad (11)$$

$$W_z = \frac{\beta_z k_f l_w^2}{3} = \frac{1,05 \cdot 0,5 \cdot 12^2}{3} = 252 \text{ см}^2. \quad (12)$$

Условия выполняются, прочность сварного соединения обеспечена.

На основе вышеизложенного сделаны следующие выводы:

1. Увеличение уклона верхнего пояса фермы возможно без изменения сечений элементов. Увеличение уклона привело к уменьшению продольных усилий в элементах фермы и увеличению изгибающего момента в местах соединения раскосов и панелей поясов.

2. Прочность сварных швов с учетом действия увеличенных изгибающих моментов обеспечена.

3. Разработаны основные узлы фермы с уклоном верхнего пояса 15% .

4. Спроектированная ферма применима для устройства кровли из сэндвич-панелей.

Литература

- ГОСТ 32603-2012. Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015.
- Серия 1.460.3-23.98 «Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения с уклоном кровли 10% ».

3. 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».

4. СП 17.13330.2011 Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. – М.: Минрегион России, 2011.

5. <https://teplant.ru/blog/vopros-otvet/8727/>

6. Кузнецов, А.Ф. Стальные решетчатые прогоны из труб для покрытий зданий, устойчивые против коррозии / А.Ф. Кузнецов, В.А. Кузнецов // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 3 (23). – С. 20–26.

7. Колесов, А.И. Численные исследования действительной работы узлов ферм из квадратных

труб, соединенных в узлах на ребро / А.И. Колесов, Д.А. Байков, Д.С. Маслов // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 4 (24). – С. 36–40.

8. Карпиловский, В.С. Вычислительный комплекс SCAD / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 592 с.

9. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений / И.Ю. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.; под ред. И.Ю. Кудишина. – 10-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 688 с.

10. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменением N 1). – М.: Минрегион России, 2011.

Чебоксаров Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, декан машиностроительного факультета, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе (Миасс), cheboksarovdv@susu.ru

Минеева Анна Дмитриевна, студент группы МиМс-481, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе (Миасс), nyusha08202@mail.ru

Шубин Алексей Максимович, студент группы МиМс-481, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе (Миасс), shubalexxx@mail.ru

Поступила в редакцию 24 сентября 2018 г.

DOI: 10.14529/build180405

ON THE POSSIBILITY OF CHANGING THE ANGLE OF SLOPE OF THE UPPER BELT SERIAL TRUSS FROM THE BENT-WELDED PROFILES

D.V. Cheboksarov, cheboksarovdv@susu.ru

A.D. Mineeva, nyusha08202@mail.ru

A.M. Shubin, shubalexxx@mail.ru

South Ural State University, Miass, Russian Federation

In the article, a problem of increasing the angle of slope of the upper belt of the roof truss made from the bent-welded profiles is solved. The need to increase the angle of slope of the upper belt is determined by the fact that when constructing a roof from a sandwich panel, the minimum slope should be 7° or 12 %. In the current series 1.460.3-23.98, the slope of the upper belt of trusses is accepted as 10 %. The article analyzes the changes of forces in the elements of truss from the bent-welded profiles while changing the angle of slope of the upper belt. SCAD Office 21.1 software programme is used for simulating the work of truss from the bent-welded profiles. When creating the design scheme, the eccentricities occurring in the nodes of trusses from the bent-welded profiles were taken into account. The eccentricities were accounted by shifting the connections of the grid elements along the belt axis. It is shown that change of the truss height results in decrease of longitudinal forces of the grid elements and increase of nodal bending forces. Verification calculations accounting the changed efforts in the nodes were performed.

Keywords: trusses from the bent-welded profile, "Molodechno", roof from sandwich panels.

References

1. GOST 32603-2012. *Paneli metallicheskiye trekhsloynnyye s uteplitelem iz mineral'noy vaty. Tekhnicheskiye usloviya* [GOST 32603-2012 Three-Layered Metal Panels with Mineral Wool Insulation. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 47 p.
2. *Seriya 1.460.3-23.98 «Stal'nyye konstruksii pokrytiy proizvodstvennykh zdaniy proletami 18, 24 i 30 m iz zamknutykh gnutosvarnykh profiley pryamougol'nogo secheniya s ukonom krovli 10%»* [Series 1.460.3-23.98 "Steel Structures for Coatings of Industrial Buildings with Spans of 18, 24 and 30 m from Closed Bent-Welded Profiles of Rectangular Cross Section with a Roof Slope of 10%"]. St. Petersburg, Lenproyektstal'konstruktsiy Publ., 2015.
3. *Seriya 1.460.3-14 «Stal'nyye konstruksii pokrytiy proizvodstvennykh zdaniy proletami 18, 24 i 30 m s primeneniym zamknutykh gnutosvarnykh profiley pryamougol'nogo secheniya tipa "Molodechno". Chertezhi KM»* [Series 1.460.3-14 "Steel Structures of Coatings of Industrial Buildings with Spans of 18, 24 and 30 m with the Use of Closed Bent-Welded Profiles of a Straight-Coal Section of the Molodechno Type. Drawings of KM"]. Leningrad, CИTP "Gosstroy" (USSR) Publ., 1988.
4. *SP 17.13330.2011 Krovli. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-26-76* [SP 17.13330.2011 Roofing. Updated Version of SNIp II-26-76.]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2011.
5. *AO «Teplant»: «Sendvich-paneli»* [JSC "Teplant": "Sandwich panels"]. Available at: <https://teplant.ru/blog/vopros-otvet/8727/>
6. Kuznetsov A.F., Kuznetsov V.A. [Steel Lattice Runs of Pipes for Building Coatings, Resistant to Corrosion]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzh Scientific Journal]. N. Novgorod, NNGASU Publ., 2012, no. 3 (23), pp. 20–26. (in Russ.).
7. Kolesov A.I., Baykov D.A., Maslov D.S. [Numerical Studies of the Actual Operation of Nodes of Trusses From Square Tubes Connected at Nodes to the Edge]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzh Scientific Journal]. N. Novgorod, NNGASU Publ., 2012, no. 4 (24), pp. 36–40. (in Russ.).
8. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Perel'muter A.V., Perel'muter M.A. *Vychislitel'nyy kompleks SCAD* [Computer Complex SCAD]. Moscow, ACB Publ., 2008. 592 p.
9. Kudishin I.Yu., Belenya E.I., Ignat'yeva V.S. *Metallicheskiye konstruksii*. [Metal Constructions]. Moscow, «Akademiya» Publ., 2007. 688 p.
10. *SP 16.13330.2011 Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-23-81* (s Izmeneniyem N 1)* [SP 16.13330.2011 Steel Structures. Updated Version of SNIp II-23-81 * (with Amendment No. 1)]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2011.

Received 24 September 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Чебоксаров, Д.В. О возможности изменения угла наклона верхнего пояса серийной фермы из гнутосварных профилей / Д.В. Чебоксаров, А.Д. Минеева, А.М. Шубин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 31–36. DOI: 10.14529/build180405

FOR CITATION

Cheboksarov D.V., Mineeva A.D., Shubin A.M. On the Possibility of Changing the Angle of Slope of the Upper Belt Serial Truss from the Bent-Welded Profiles. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2018, vol. 18, no. 4, pp. 31–36. (in Russ.). DOI: 10.14529/build180405