

УДК 691.7.002.2(075.3)

Новый способ изготовления ферменных конструкций

Марутян А. С., канд. техн. наук

Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске,
Российская Федерация

Аннотация. Приведены результаты разработки нового способа изготовления решетчатых конструкций стержневых и перекрестных систем из замкнутых гнутосварных профилей (профильных труб). Дан подробный анализ практикуемых способов изготовления решетчатых конструкций, отмечены их преимущества и недостатки. Выделен патентованный способ изготовления таких конструкций из круглых труб, принятый в качестве базового для разработки нового. Если базовый вариант специализирован на стыковых соединениях трубчатых профилей одинаковых калибров с повышенной точностью, то новый способ решен при помощи нахлесточных соединений, позволяющих компенсировать все погрешности разных калибров и разных профилей. Показана его эффективность и универсальность, обеспечивающая расширение области рационального применения за счет охвата открытых (незамкнутых) гнутых и прокатных профилей. Представлена гибкость, позволяющая процесс изготовления конструкций частично перенести из заводских условий на строительную площадку или в процесс постановки в проектное положение, а также наоборот.

Ключевые слова: способ изготовления, решетчатые конструкции, стержневые системы, перекрестные системы, трубчатые профили, гнутые профили, прокатные профили..

Основная масса современных решетчатых конструкций из трубчатых (гнутосварных) профилей, включающая стропильные и подстропильные фермы (фермы покрытий), перекрестно-стержневые и рамные каркасы, опорные стойки и решетчатые прогоны, мачты и вышки, структуры, оболочки и другие несущие системы, в конструктивно-компоновочном отношении решена и оформлена при помощи сварных бесфасоночных узлов [1, 2, 3]. Такие узлы обеспечивают надежные соединения стержневых элементов решеток и поясов несущих конструкций, примыкающих друг к другу непосредственно (без фасонки), что уменьшает расход конструкционного материала. Способы изготовления решетчатых конструкций из трубчатых профилей с бесфасоночными узлами достаточно проработаны, в том числе с учетом прямоугольной (квадратной) формы сечений. Чтобы избежать двойных резов раскосных элементов решетки, допустима расцентровка в бесфасоночных узлах не более 1/4 высоты поясного элемента. При подборе сечений стержневых элементов поясов и решеток необходимо, чтобы в пределах всей партии конструкций профили одного типоразмера имели одинаковую марку (класс) стали и отличались друг от друга не менее чем на 2 мм [4].

Диагональный разворот квадратных профилей увеличивает эффективность бесфасоночных узлов по несущей способности и материалоемкости [5]. При этом в их изготовление дополнительную специфику вносит V-образная разделка торцевых кромок стержневых элементов. Уточнена геометрия прямых резов трубчатых профилей, соединяемых в бесфасоночных узлах при помощи индивидуальных сборочных кондукторов. Такой кондуктор состоит из строганной плиты толщиной 100 мм, горизонтальное положение которой тщательно выверено. На базе не менее тщательной разметки собираемой конструкции в определенных местах плиты приваривают подкладки, фиксаторы, упоры и другие сборочные приспособления. После сборки на этом кондукторе всей партии конструкций плиту зачищают для устройства других кондукторов (рис. 1) [6].

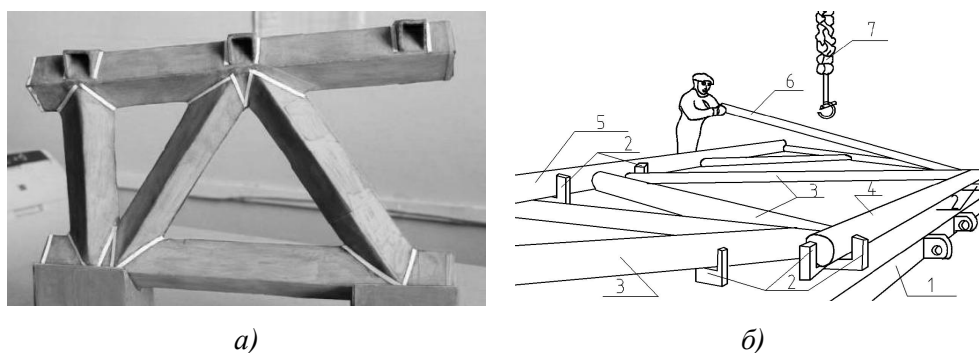


Рис. 1. Снимок фрагмента фермы из трубчатых профилей квадратных сечений (а) и схема сборки конструкции из труб (б):
1 – плита-ростверк; 2 – упоры; 3 – раскосные элементы; 4 – элемент нижнего пояса; 5 – элемент верхнего пояса; 6 – устанавливаемый элемент; 7 – строп мостового крана

Недостаток приведенного способа изготовления решетчатых конструкций из трубчатых профилей обусловлен тем, что стержневые элементы не обладают компенсационной способностью и на их производство можно устанавливать только минусовые допуски. Это усложняет сборку и увеличивает ее трудоемкость из-за необходимости подгонки каждого из стержневых элементов решетки (несмотря на все уточнения геометрии их резов) к поясным элементам во всех узлах на протяжении всей конструкции или ее отправочной марки.

Наиболее близким техническим решением (принятым за прототип) к предлагаемому способу изготовления стержневых и перекрестных конструкций из замкнутых гнутосварных профилей (профильных труб) является способ изготовления фермы из трубчатых стержней, по которому раскосную решетку до ее примыкания к поясам фиксируют в

пространственном положении, после чего обрезают элементы этой решетки в зоне их соединений по линиям сопряжения с поясом (рис. 2) [7].

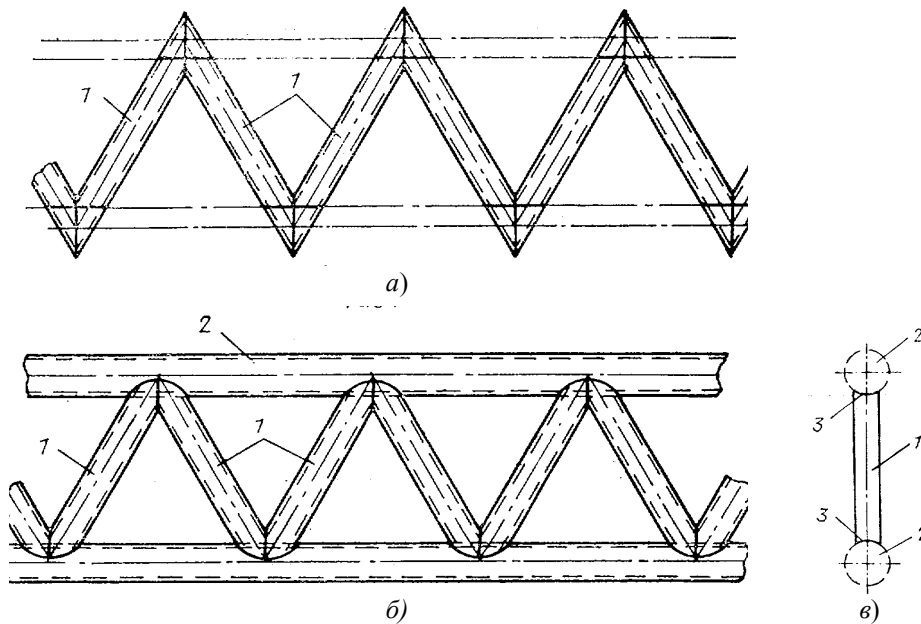


Рис. 2. Схемы изготовления фермы из трубчатых стержней:
а – фиксация раскосной решетки; б – соединение решетки с поясами;
в – обработка решетки по линиям сопряжения с поясом;
1 – раскосные элементы решетки; 2 – поясные элементы фермы;
3 – линии сопряжения решетки с поясами

При наложении сварных швов для формирования раскосной решетки до примыкания к поясам линии сопряжений по торцам всех ее стержневых элементов между собой должны полностью совпадать. Выполнение этого требования вызывает необходимость соблюдать повышенную точность сборочно-сварочных операций и унифицировать все элементы решетки, приняв для них один типоразмер поперечного сечения, определяемый по самым нагруженным (чаще опорным) раскосам. Такая унификация решеток несущих конструкций существенно увеличивает их материалоемкость, а повышенная точность технологических операций сопровождается дополнительными трудозатратами.

Технический результат предлагаемого решения заключается в уменьшении расхода конструкционного материала, снижении трудоемкости изготовления, а также расширении компоновочных и унификационных возможностей решетчатых конструкций. Указанный технический результат достигается тем,

что для формирования решетки конструкции до примыкания к поясам и фиксации в пространственном положении с последующей разделкой элементов решетки в зоне их соединения по линиям сопряжения с поясами торцы одних элементов решетки перекрыты боковыми гранями других элементов той же решетки. При этом более предпочтительно, чтобы торцы сжатых элементов решетки были перекрыты боковыми гранями растянутых элементов той же решетки [8].

Раскосы 1 и стойки 2 после прямых резов под определенными углами наклона к поясам, заданными по проекту, собирают в решетку раскосной системы и жестко закрепляют на сборочном стенде таким образом, чтобы в местах образования бесфасоночных узлов торцы стоек были перекрыты боковыми гранями раскосов. Затем производят разделку торцевых кромок раскосов 1 и стоек 2 в зонах их соединений с образованием фигурных вырезов. Форма этих вырезов, одинаковая во всех узлах конструкции, полностью соответствует профилю верхнего пояса 3 и профилю нижнего пояса 4. Подобные совпадения примыкающих друг к другу частей решеток и поясов обеспечивают необходимое и достаточное качество соединений без дополнительных (подгоночных) работ.

В решетках раскосных систем раскосы 1, как правило, растянуты и чередуются стойками 2, для равноустойчивости которых в плоскости и из плоскости решетки целесообразны симметричные профили с равными радиусами инерции сечения, например квадратные. Тогда для раскосов 1 из целого ряда можно подобрать такие профили, например прямоугольные, которые обладают необходимым запасом прочности и перекрывают своими боковыми гранями торцы стоек 2 с обеспечением компенсационной способности, вполне достаточной для сборочно-сварочных операций без дополнительных затрат. При такой компоновке растянутые раскосы 1 оказываются зажатыми между стойками решетки 2 и поясами конструкции – верхними 3 и нижними 4, что уменьшает действия выдергивающих сил и обеспечивает более равномерное распределение напряжений в бесфасоночных узлах, а это позитивно влияет на расход конструкционного материала. Здесь следует отметить, что, если в прототипе верхние и нижние пояса унифицированы и приняты одинаковыми, то в предлагаемом техническом решении при одинаковых разделках торцевых кромок стержневых элементов решетки верхние пояса 3 и нижние пояса 4 имеют разные профили и тем самым способствуют снижению материалоемкости решетчатых конструкций.

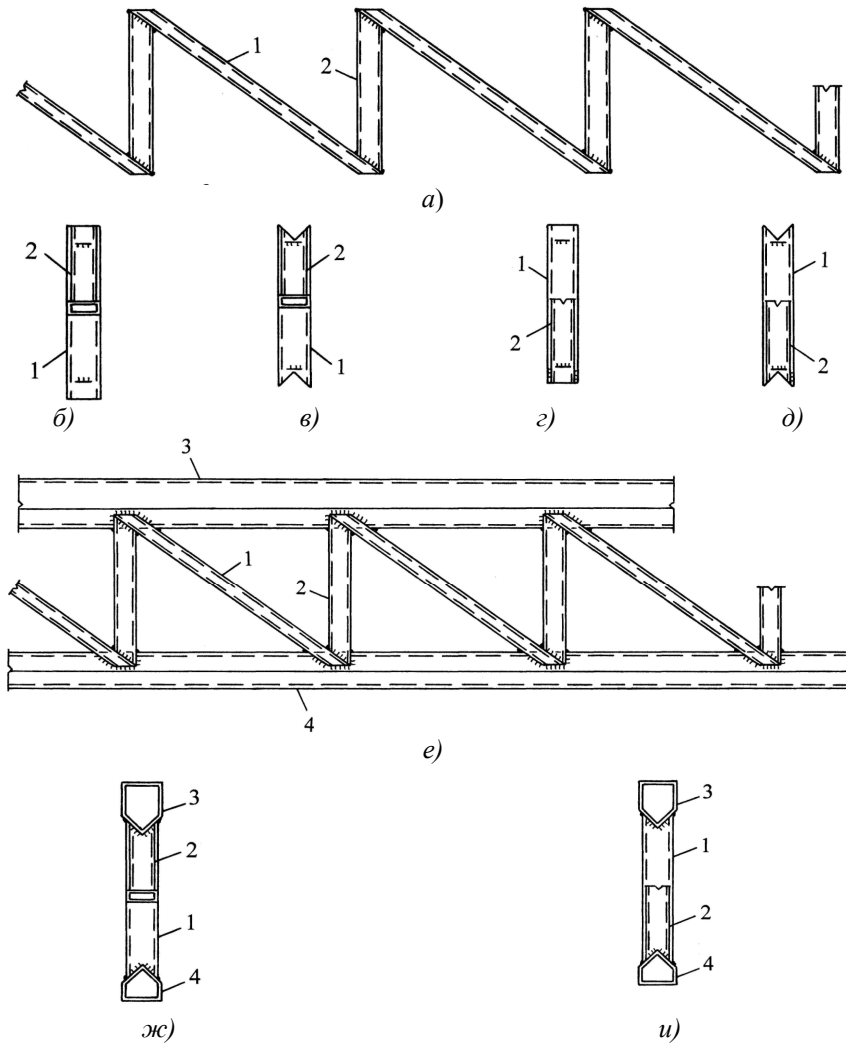


Рис. 3. Схеми изготовления конструкции с решеткой раскосной системы:
a – фрагмент решетки раскосной системы из растянутых раскосов и сжатых стоек;
б – боковой вид решетки со стороны раскоса до разделки торцевых кромок стержневых элементов; *в* – боковой вид решетки со стороны раскоса после разделки торцевых кромок стержневых элементов; *г* – боковой вид решетки со стороны стойки до разделки торцевых кромок стержневых элементов; *д* – боковой вид решетки со стороны стойки после разделки торцевых кромок стержневых элементов; *е* – фрагмент собранной конструкции;
ж – боковой вид собранной конструкции со стороны раскоса; *и* – боковой вид собранной конструкции со стороны стойки;
 1 – раскосы; 2 – стойки; 3 – верхний пояс; 4 – нижний пояс

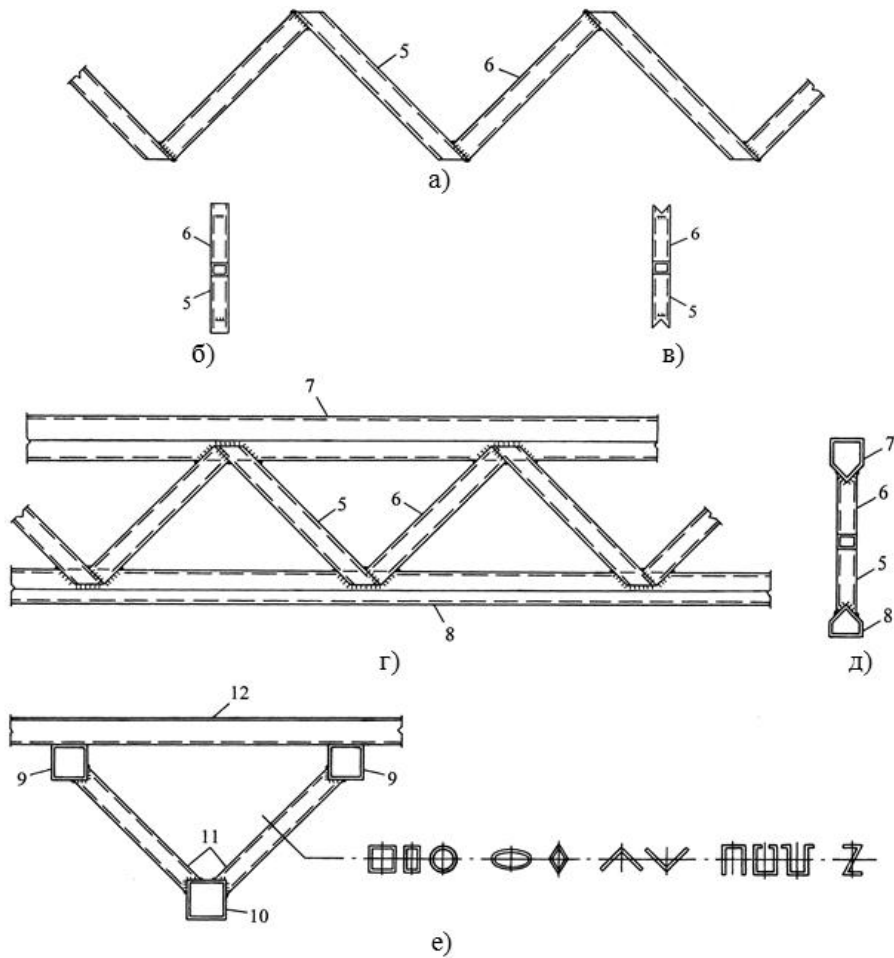


Рис. 4. Схемы изготовления конструкции с решеткой треугольной системы:
a – фрагмент решетки треугольной системы из растянутых и сжатых раскосов;
б – боковой вид треугольной решетки до разделки торцевых кромок стержневых элементов;
в – боковой вид треугольной решетки после разделки торцевых кромок стержневых элементов;
г – фрагмент собранной конструкции с треугольной решеткой;
д – боковой вид собранной конструкции с треугольной решеткой;
е – боковой вид пространственной конструкции с настилом по верхним поясам и рядом профилей для компоновки решеток;
 5 – растянутые раскосы; 6 – сжатые раскосы; 7 – верхний пояс; 8 – нижний пояс;
 9 – верхние пояса трехгранной фермы; 10 – нижний пояс трехгранной фермы;
 11 – наклонные решетки; 12 – настил

В решетках треугольных систем растянутые раскосы 5, как правило, чередуются сжатыми раскосами 6, для равноустойчивости которых в плоскости и из плоскости решетки целесообразны симметричные профили с равными радиусами инерции сечения, например, квадратные (рис. 4, а–д). Тогда для раскосов 5 и 6 в общем случае, очевидно, вполне применима компоновка, уже приведенная для решетки раскосной системы. Поэтому интересно рассмотреть частный случай, когда и растянутые раскосы 5, и сжатые раскосы 6 выполнены из одинаковых трубчатых профилей, например квадратных.

В прототипе стержневые элементы из одинаковых профилей требуют предварительной обработки концевых частей с такой тщательностью, чтобы их торцы при формировании решетки взаимно перекрывали друг друга встык достаточно плотно для качественного наложения валиков сварных швов. Предварительная обработка концевых частей раскосов 5 и 6 из одинаковых профилей по предлагаемому техническому решению ограничивается прямыми резами под заданными из проекта углами наклона. Для формирования решетки в местах образования бесфасоночных узлов торцы сжатых раскосов 6 перекрыты боковыми гранями растянутых раскосов 5 внахлестку, что способствует наложению валиков сварных швов не менее качественно, чем в прототипе. При этом конструкция с решеткой треугольной системы может иметь верхний пояс 7 и нижний пояс 8 из разных профилей или, как в прототипе, из одинаковых профилей. Очевидно, что такая возможность охватывает конструкции с решетками и других систем, например с решеткой раскосной системы (уже приведенной с верхним поясом 3 и нижним поясом 4).

Предлагаемый способ изготовления решетчатых конструкций из трубчатых (гнуто сварных) профилей с одинаковым успехом можно использовать как в плоских, так и пространственных их модификациях, например в трехгранных фермах покрытий (перекрытий) (рис. 4, е). Каждая из таких ферм включает в свой состав два верхних пояса 9, один нижний пояс 10, две наклонные решетки 11. Одну из трех граней решетчатой конструкции формирует настил 12 из профилированных листов, уложенных по верхним поясам 9. При соответствующем креплении с верхними поясами 9 настил 12 образует жесткий диск, пригодный для устройства легкого покрытия или монолитного перекрытия с несъемной опалубкой и внешним армированием. Для компоновки наклонных решеток 11 применим ряд из трубчатых (замкнутых) и открытых (незамкнутых) профилей, а также их сочетаний. Очевидно, что подобный ряд обеспечивает существенное расширение компоновочных и унификационных возможностей решетчатых конструкций, в том числе, монтаж их плоских и пространственных модификаций из одинаковых (унифицированных) отработанных марок.

Предлагаемый способ изготовления решетчатых конструкций из трубчатых (гнутоварных) профилей имеет достаточно универсальное техническое решение. Его реализация допускает применять для стержневых элементов решеток несколько типоразмеров поперечных сечений, которые могут иметь два отличительных признака. Один из них проявляется в габаритах, другой – в форме. Такая реализация способствует уменьшению расхода конструкционного материала, а также расширению компоновочных и унификационных возможностей решетчатых конструкций. В случае необходимости допустимо применение одного типоразмера поперечного сечения. В прототипе стержневые элементы решеток сопряжены по торцам друг с другом встык, а в предлагаемом техническом решении однотипные стержневые элементы решеток сопряжены по торцам между собой внахлестку. Нахлестки требуют соблюдать определенную точность сборочно-сварочных операций, однако не столь повышенную, как стыки, что сокращает дополнительные трудозатраты. При использовании разнотипных поперечных сечений разницы их размеров обеспечивают определенную компенсационную способность стержневых элементов решеток, что способствует еще большему сокращению дополнительных трудозатрат.

Еще один положительный эффект представляет собой гибкость, которая проявляется в том, что предлагаемый способ изготовления решетчатых конструкций из трубчатых (гнутоварных) профилей можно частично перенести из цеха на строительную площадку и применять на монтаже непосредственно в проектное положение, например в пространственных конструкциях со съемными нижними поясами. Такой подход обеспечивает существенное снижение материальных и трудовых затрат за счет того, что его реализация в значительной мере основана на современном компактном оборудовании (в первую очередь сварочном) и соответствующей квалификации тех, кто на нем работает как в цеховых, так и построечных условиях (рис. 5).



Рис. 5. Снимки изготовления (а) и монтажа (б) пространственной конструкции со съемными нижними поясами

В качестве подтверждения здесь можно привести решетчатые конструкции из трубчатых (гнуто сварных) профилей прямоугольных (квадратных) сечений в виде модулей (блоков) покрытий и перекрытий из перекрестных ферм типа «Пятигорск» (рис. 6) [9, 10]. Продолжающаяся модернизация таких решетчатых конструкций и способа их изготовления обеспечивает им определенный спрос в нестабильных условиях современной конъюнктуры.

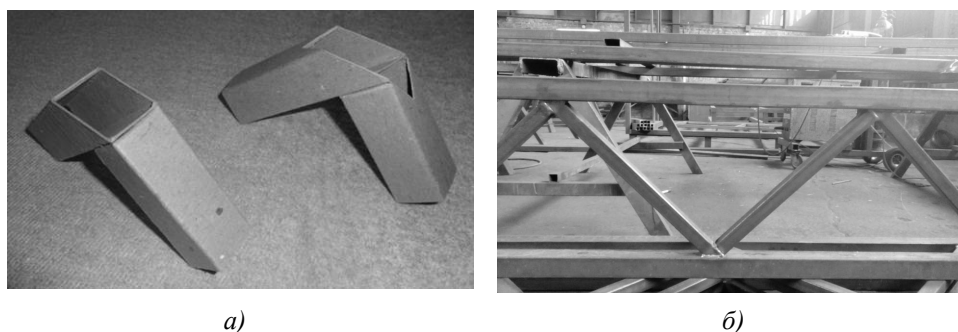


Рис. 6. Снимки бесфасоночных узлов с прямыми и V-образными разделками торцевых кромок стержневых элементов (а), а также изготовления ферм с прямыми разделками торцевых кромок раскосов (б)

Литература

- [1] Рекомендации по проектированию стальных конструкций с применением круглых труб. – М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1973. – 46 с.
- [2] Руководство по проектированию стальных конструкций из гнуто сварных замкнутых профилей. – М. : ЦНИИпроектстальконструкция, 1978. – 44 с.
- [3] Packer J. A. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading / [J. A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G. J. van der Vegte and Y. Kurobane]. – CIDECT, 2009. – 156 p.
- [4] Бирюлев В. В. Проектирование металлических конструкций / [В. В. Бирюлев, И. И. Кошин, И. И. Крылов, А. В. Сильвестров]. – Л. : Стройиздат, 1990. – С. 100–117.
- [5] Байков Д. А. Численные исследования действительной работы узлов фермы из квадратных труб, соединенных на ребро / Д. А. Байков, А. И. Колесов, Д. С. Маслов // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 4. – С. 36–40.
- [6] Кузнецов А. Ф. Ферма из квадратных труб на ребро без фасонки, устойчивые против коррозии / А. Ф. Кузнецов, В. А. Кузнецов //

- Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2011. – Вып. 12 (№16). – С. 7–10.
- [7] А. с. 455189 СССР, МКИ Е 04 В 1/40. Способ изготовления фермы из трубчатых стержней / А. П. Бобровников, В. В. Волков, Я. А. Каплун. – № 1759698/29-14 ; заявл. 15.03.1972 ; опубл. 30.12.1974, Бюл. № 48. – 2 с. : ил.
- [8] Пат. 2600887 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/34, Е 04 С 3/08. Способ изготовления решетчатых конструкций из трубчатых (гнуто сварных) профилей / А. С. Марутян. – № 2015142600/03 ; заявл. 06.10.2015 ; опубл. 27.10.2016, Бюл. № 30. – 10 с. : ил.
- [9] Марутян А. С. Легкие металлоконструкции из перекрестных ферм типа «Пятигорск» / А. С. Марутян, Т. Л. Кобаля // Современная наука и инновация. – Пятигорск : СКФУ, 2014. – №1(5). – С. 15–23.
- [10] Марутян А. С. Легкие металлоконструкции из перекрестных ферм типа «Пятигорск-2» / А. С. Марутян, Т. Л. Кобаля // Современная наука и инновация. – Пятигорск : СКФУ, 2014. – №2(6). – С. 27–35..

Новий спосіб виготовлення фермових конструкцій

Марутян О. С., канд. техн. наук

Філія Північно-Кавказького федерального університету в м. Пятигорську,
Російська Федерація

Анотація. Наведено результати розробки нового способу виготовлення ґратчастих конструкцій стрижневих і перехресних систем із замкнутих гнутозварних профілів (профільних труб). Наведено докладний аналіз способів виготовлення ґратчастих конструкцій, що практикуються, відзначені їх переваги та недоліки. Виділено запатентований спосіб виготовлення таких конструкцій з круглих труб, прийнятий як базовий для розроблення нового. Якщо базовий варіант спеціалізований на стикових з'єднаннях трубчастих профілів однакових калібрів із підвищеною точністю, то новий спосіб вирішено за допомогою з'єднань унапуск, що дозволяють компенсувати всі похибки різних калібрів і різних профілів. Показана його ефективність і універсальність, що забезпечує розширення сфери раціонального застосування за рахунок охоплення відкритих (незамкнутих) гнутих і прокатних профілів. Представлена гнучкість, що дозволяє процес виготовлення конструкцій частково перенести з заводських умов на будівельний майданчик або в процес установки в проектне положення, а також навпаки.

Ключові слова: спосіб виготовлення, ґратчасті конструкції, стрижневі системи, перехресні системи, трубчасті профілі, гнуті профілі, прокатні профілі.

New method of manufacturing the truss structures

A. Marutyan, Cand. Sc. (Eng.)

Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk, Russian Federation

Abstract. The results of development of a new method for manufacturing lattice structures of rod and cross systems of closed bent welded profiles (profile pipes) are presented. A detailed analysis of methods practiced for manufacturing lattice structures is cited; their advantages and disadvantages are noted. A proprietary method for manufacturing such circular pipe structures is adopted as the basis for developing a new one. If the basic version is specialized on butt joints of tubular profiles of identical calibres with increased accuracy, the new method is solved with the help of lap joints, allowing compensating for all the errors of different calibres and different profiles. Its efficiency and versatility are shown, which ensures the expansion of rational use field due to coverage of open-shape (unclosed) bent rolling profiles. The flexibility is presented, allowing the process of making structures to be partially transferred from the factory conditions to the construction site or to the setting-up process in design position, and vice versa.

Key words: manufacturing method, lattice structures, rod systems, cross systems, tubular profiles, bent profiles, and rolling profiles.

Надійшла до редколегії 04.08.2017 р.