



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2016, ТОМ 22, НОМЕР 4, 193–205

УДК 624.078.4:725.4

(16)-0353-1

## **КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ВУЗЛІВ З'ЄДНАННЯ СТРУКТУРНИХ ПОКРИТТІВ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

**В. М. Василев, А. В. Безушко**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,*

*2, вул. Державіна, м. Макіївка, 86123.*

*E-mail: [wn1951@mail.ru](mailto:wn1951@mail.ru)*

*Отримана 29 листопада 2016; прийнята 23 грудня 2016.*

**Анотація.** У статті надано аналіз існуючих технічних рішень вузлових з'єднань структурних конструкцій покриттів. Узагальнено та проаналізовано досвід вітчизняних та зарубіжних дослідників у сфері застосування таких конструкцій для покриття промислових будівель. На підставі проведених досліджень представлено рішення збірно-розбірної одноболтового вузлового з'єднання структурної конструкції покриття. Запропоноване з'єднання не вимагає дорогих технологій при виготовленні, а може бути виготовлено в умовах заводу металоконструкцій. Таким чином, запропоноване вузлове з'єднання дозволяє спростити складання, скоротити витрати матеріалу, підвищити надійність вузлового з'єднання.

**Ключові слова:** просторові структурні конструкції покриття, вузлові з'єднання структурних конструкцій, вісе-болтові з'єднання, вузлове сполучення, коннектор.

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**В. Н. Васильев, А. В. Безушко**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

*2, ул. Державина, г. Макеевка, 86123.*

*E-mail: [wn1951@mail.ru](mailto:wn1951@mail.ru)*

*Получена 29 ноября 2016; принята 23 декабря 2016.*

**Аннотация.** В статье представлен анализ существующих технических решений узловых соединений структурных конструкций покрытий. Обобщен и проанализирован опыт отечественных и зарубежных исследователей в области применения таких конструкций для покрытия промышленных зданий. На основании проведенных исследований представлено решение сборно-разборного одноболтового узлового соединения структурной конструкции покрытия. Предложенное соединение не требует дорогостоящих технологий при изготовлении, а может быть изготовлено в условиях завода металлоконструкций. Таким образом, предложенное узловое соединение позволяет упростить сборку, сократить расход материала, повысить надежность узлового соединения.

**Ключевые слова:** пространственные структурные конструкции покрытия, узловые соединения структурных конструкций, осе-болтовые соединения, узловое сопряжение, коннектор.

## CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF THE JOINT CONNECTION OF SPACE STRUCTURAL FOR INDUSTRIAL BUILDINGS

Volodymyr Vasylev, Anna Bezushko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiyivka, 86123.*

*E-mail: vn1951@mail.ru*

*Received 29 November 2016; accepted 23 December 2016.*

**Abstract.** The article presents analysis of existing technical solutions joints of space structures of coverings. The experience of domestic and foreign researchers in application of such structures to cover industrial buildings has been summarized and analyzed. The solution of dismountable one bolted joint connection of space structures of coverings has been given based on conducted researches. The proposed connection does not require expensive technology in manufacturing, and may be manufactured in a metal structures factory. Thus, the proposed joint connection allows simplifying assembly, reducing material consumption and improving the reliability of the joint connection.

**Keywords:** space structures of coverings, joint connection of space structures, axially-bolt connections, joint connection, connector.

### Введение

Применение пространственно-стержневых конструкций покрытия позволяет перейти к поточному механизированному производству, а следовательно повысить производительность и качество изготовления конструкций.

Одним из определяющих элементов структурной конструкции является узел сопряжения стержней. Сложность узлов определяет архитектурную выразительность, трудоемкость изготовления, а также недостатки конструкции.

Существует огромное множество узловых соединений, однако в данной работе особый интерес представляют собой узлы, которые можно применять в промышленных зданиях.

### Основная часть

Для использования в промышленных зданиях узловые соединения структурных конструкций покрытия должны обладать следующими характеристиками:

- массовость производства;
- изготовление в условиях обычного производства ЗМК;
- максимальная сходимости центров тяжести осей в одной точке;
- экономичность решений.

Узлы по способу соединения стержней между собой можно классифицировать на разъемные

и неразъемные. В мировой строительной практике наибольшую популярность получили решения с разъемными соединениями, значительно превосходящие сварные по таким показателям, как простота сборки, изготовления и транспортировки.

З. С. Маковски [6], профессор строительного факультета в Лондоне, классифицировал около 250 различных типов узловых элементов. Однако отметил, что упорядочить все существующие узлы можно по основным функциям:

- целевой узел, т. е. узел, сконструированный с какой-то конкретной целью, для конкретного строительного объекта, они неизбежны в конструкциях с нестандартно большими либо малыми пролетами [5];
- запатентованный узел, легко поддающийся тиражированию и используемый в индустриальных системах строительства.

По своему конструктивному решению узловые соединения структурных конструкций можно разделить на сварные, болтовые и комбинированные.

К представителям сварной группы соединений относят системы Oktaplatte, SDC, Segmo, изобретение В. С. Агафонкина [35] и разработанные на Урале собираемых из пирамид с фланцевыми узловыми сопряжениями под названием «Исеть» и «Тагил» [1]. Лабораторией

ЦНИИСК было разработано узловое соединение с расчетным усилием в узловых элементах до 3 000 кН (рис. 1).

Для применения в промышленных зданиях с подвесными двухопорными кранами грузоподъемностью 2,0 и 3,2 т было разработано узловое соединение на ванной сварке типа «ЦНИИСК» [7].

Главные недостатки сварных узловых соединений: ограниченная компенсационная способность и значительный объем монтажной сварки, неразборность конструкций, отсутствие эффективного цинкового покрытия, из-за его сгорания во время сварки сложность контроля качества сварных швов, их неоднородность и оста-

точные сварочные напряжения, высокие требования к длинам стержней.

Отдельно можно рассмотреть узловые элементы, представленные в форме цилиндра. Одной из первых таких разработок стала система Triodetic [18]. Стержни в узле фиксируют одним зажимным болтом. Система используется при проектировании промышленных зданий. К этой группе можно отнести немецкие системы «Октанорм» и IFI [9], изобретение А. В. Тура [19], Роберта Хонкинса [20], Марка Невлима [21], А. П. Денисова (рис. 2).

Для применения в промышленных зданиях была рассчитана система «Берлин» (рис. 3). Отличительная особенность которой соединение

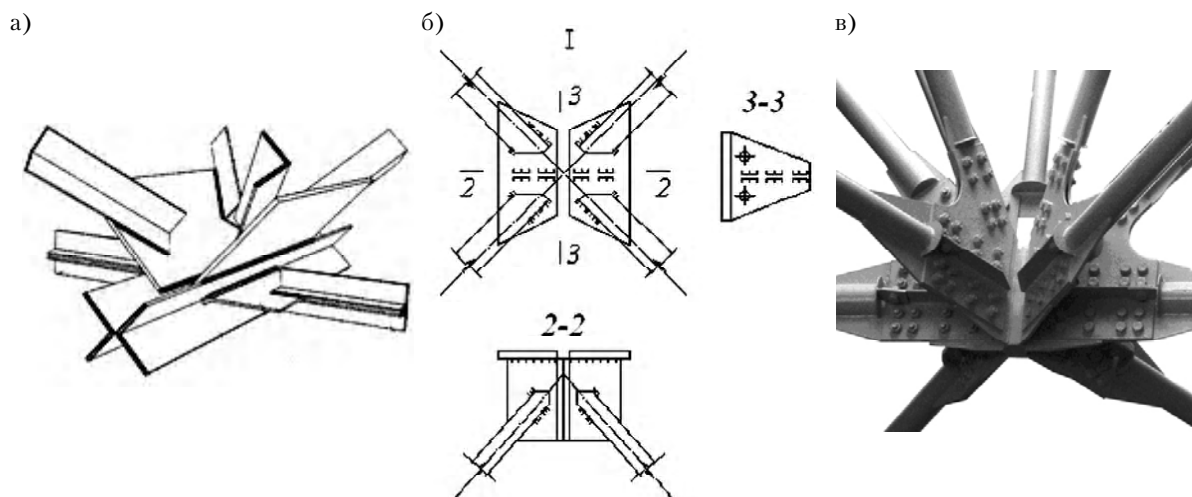


Рисунок 1. Некоторые сварные узловые соединения структурных конструкций: а) изобретение В. С. Агафонкина; б) система «Исеть»; в) узел ЦНИИСК.

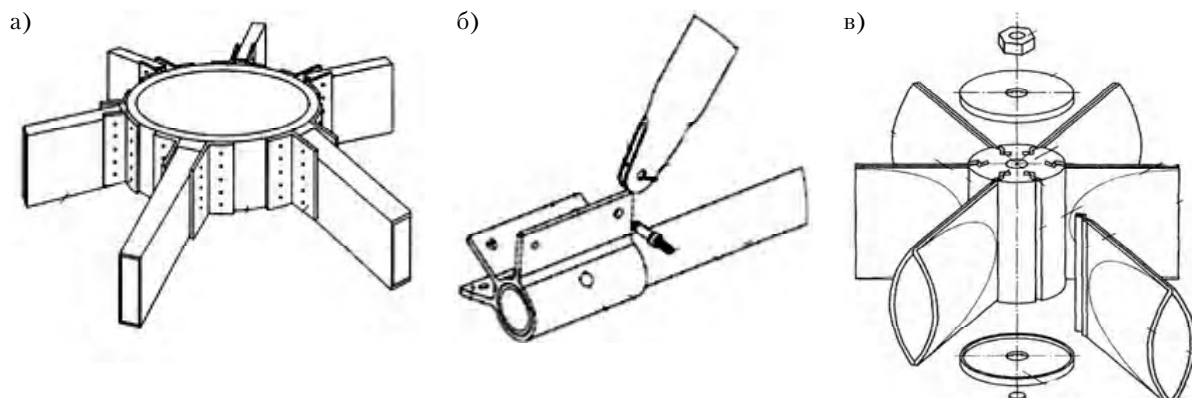
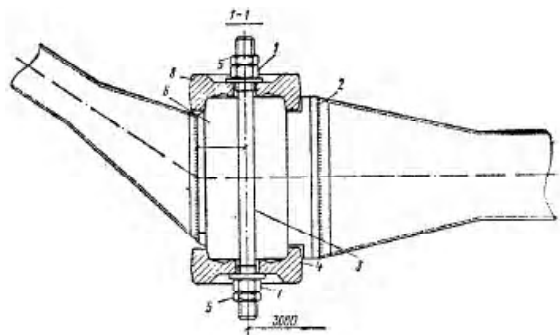


Рисунок 2. Соединения с узловым элементов в форме цилиндра: а) изобретение А. В. Тура; б) изобретение Р. Хонкинса; в) изобретение А. П. Денисова.



**Рисунок 3.** Узловое соединение системы «Берлин».

стержней с помощью клиновидных наконечников.

Недостатками таких видов соединений являются необходимость высокой точности изготовления деталей, податливость и сложность изготовления узлов, а также то, что они не предназначены для больших нагрузок.

Примерами болтовых и осе-болтовых соединений выступают узлы, в основе которых лежит сферический коннектор (рис. 4), типа «Меро», «МАрХИ» [8]. В некоторых узловых элементах болты располагаются резьбой наружу. Примерами таких систем стали разработки автора С. Дю Шаго, В. Г. Никифорова и М. М. Жербина [14, 15]. В числе последних – система «БрГТУ», разработанная в Брестском государственном техническом университете, где также была предложена методика испытания узлов структур [16, 17]. Для покрытия промышленных зданий, в которых допускается подвесное крановое оборудование грузоподъ-

емностью до 2 т, были разработаны системы типа «Кисловодск» [10, 11]. Их отличительной особенностью является то, что болты к стержням крепятся с помощью плоских цилиндрических шайб.

Главными недостатками таких решений выступают трудоемкость изготовления сферического тела и узлового соединения, необходимость использования машиностроительных технологий, что существенно ограничивает их применение в промышленных зданиях. При возникновении зазора между коннектором и муфтой возникает непредусмотренное напряжение в элементах, которое приводит к существенному перераспределению усилий.

Примерами комбинированных узловых соединений выступают система Premit (рис. 5а) и швейцарская система «Варитек» (рис. 5б) [1, 6, 28]. Узловая деталь «Варитек» обеспечивает надежное соединение стержней за счет того, что их наконечники в виде пластины с отверстием, соосны со стержнем.

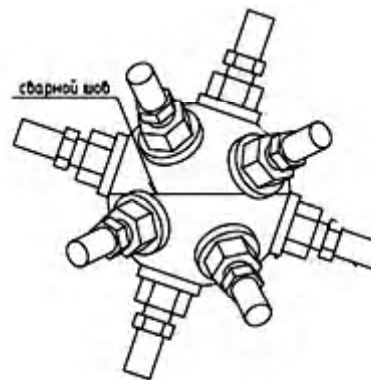
Представителем этой группы выступает узловое соединение «Партизан Клешня» (рис. 6а). Узел состоит из оцинкованной трубы, большой и малой скобы. Это универсальное шарнирное узловое соединение, позволяющее установить минимальный угол до 50 градусов. Отмечают так же изобретение Хавье Хорте (рис. 6б) [30].

К недостаткам этой группы можно отнести трудоемкость изготовления (снабжение концов труб наконечниками), технологическая сложность оцинкования элементов структуры.

а)



б)



**Рисунок 4.** Конструктивное решение узлов со сферическими коннекторами: а) система «Кисловодск»; б) система «БрГТУ».

Примерами решений с использованием пространственных фасонок можно назвать также изобретение А. З. Клячина и И. Л. Кузнецова (рис. 7б) [23, 22]. Отмечается разработка И. С. Инжутова (рис. 7а), где узловой элемент представлен в виде четырехгранных фасонок, к которым стержни крепятся с помощью болтов [24, 25].

Соединениям без дополнительного коннектора свойственны жесткие требования к длинам стержней, кроме того, такие соединения выгод-

ны только при небольших нагрузках, что затрудняет их применение для покрытия промышленных зданий.

Следует отметить вилочные узловые соединения «УФ» (из круглых труб) [26] и «УП» (из квадратных труб) [27], разработанные С. В. Митрофановым (рис. 8). В системе УФ оба конца стержня имеют прорез, а противоположно расположенные от него участки трубы деформированы навстречу друг другу до образования

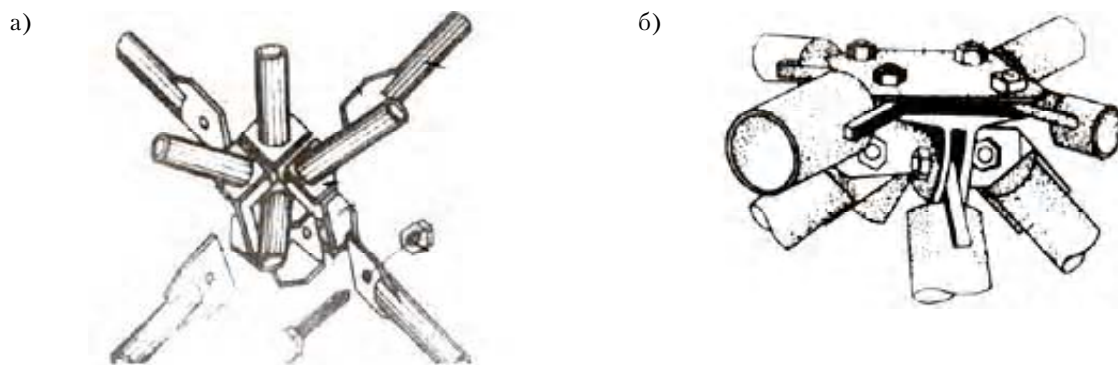


Рисунок 5. Узловые соединения систем: а) Premit; б) «Варитек».

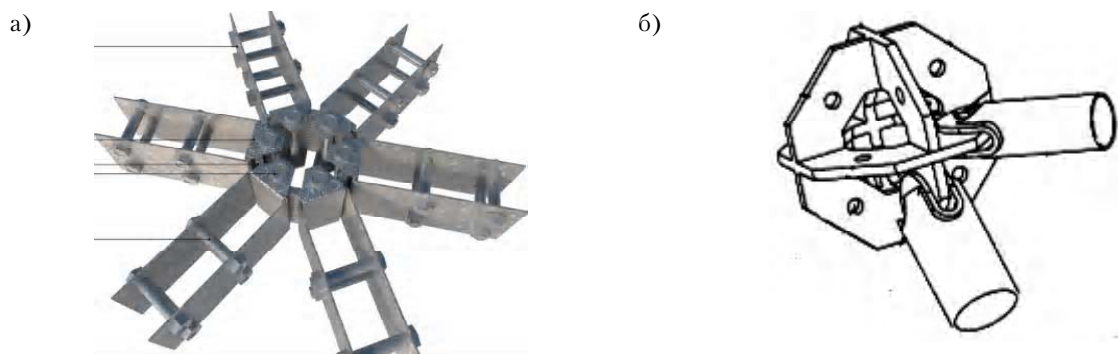


Рисунок 6. Узловые соединения систем: а) «Партизан Клешня»; б) изобретение Хавье Хорте.

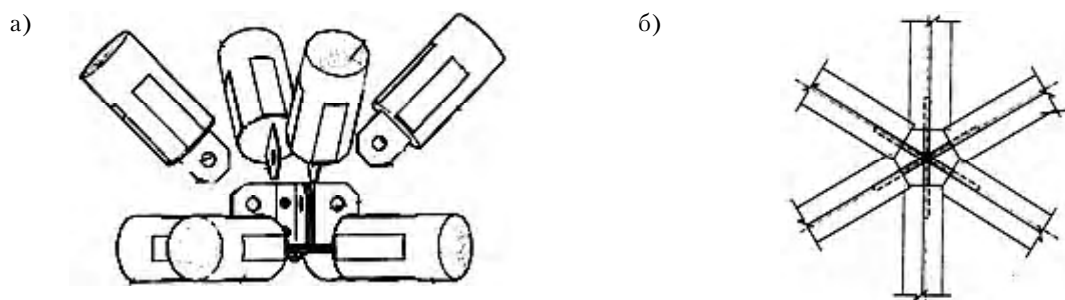


Рисунок 7. Узловые соединения систем с пространственными фасонками: а) разработка И. С. Инжутова; б) изобретение И. Л. Кузнецова.

вилочного соединения. Стержни имеют возможность перемещаться только вдоль своей оси, но их перемещения ограничивает болт. Повороты стержней относительно болта ограничены упорами, созданными штамповкой пластин.

Особый интерес представляют собой одноболтовые соединения. Следует отметить французскую систему SARTON [12], изобретение Эштона Ричардса (рис. 9а) [32] и изобретение Г. А. Горохова (рис. 9б) [33], где стяжное устройство выполнено в виде пустотелого болта.

Отдельное внимание необходимо уделить системе узла сопряжения элементов, разработанной фирмой ООО «ИНЕКО» (рис. 10) [34] с целью повышения технико-экономических показателей структурного покрытия. Экспериментальные исследования структуры выполнены на кафедре «Металлические конструкции и сооружения» ДонНАСА В. Н. Васылевым, А. М. Алехиным.

Отличительная особенность структуры в системе сопряжения элементов решетки и поясов в узлах (рис. 10).

Достоинства этой структуры заключаются в эстетической выразительности и технологичности производства за счет использования традиционной технологии завода металлоконструкций. Однако несущая способность конструкции определяется толщиной фасонки, а следовательно, эта система рассчитана только под небольшие нагрузки. В связи с вышесказанным применение для промышленных зданий ограничено.

Изобретение Гленн Рейнолдс (рис. 11) [31] со стержнями из прокатных профилей основано на применении узловых фасонки с соединением на болтах.

Следует отметить, что при использовании квадратной трубы для верхнего пояса перед проектировщиком стоит проблема постановки болтов, к тому же большие усилия приводят к развитию фасонки, что, в свою очередь, приводит к увеличению количества болтов. Для сопряжения разрезанного пояса с неразрезным в первом необходимо использовать фланцевые соединения, которые требуют специальных фланцевых марок стали. Также недостатком

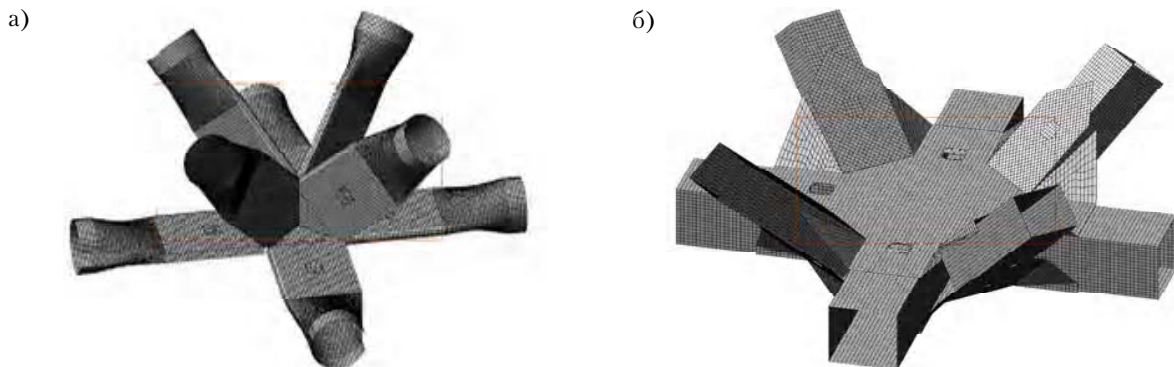


Рисунок 8. Разработки В. С. Митрофанова: а) система УФ; в) система УП.

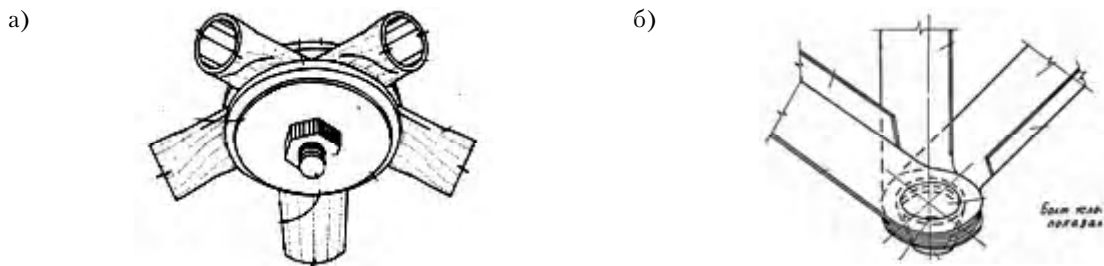
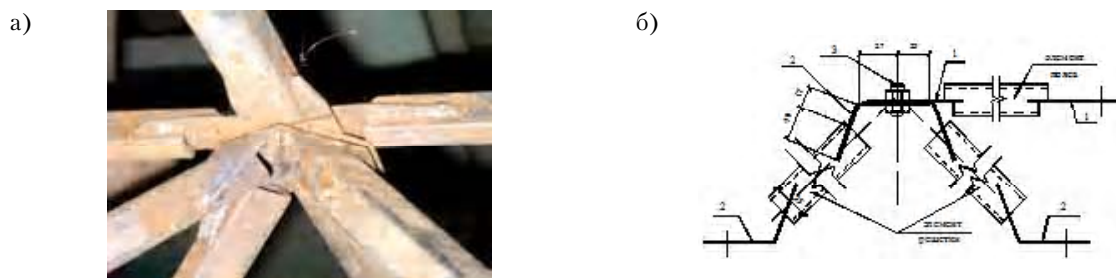
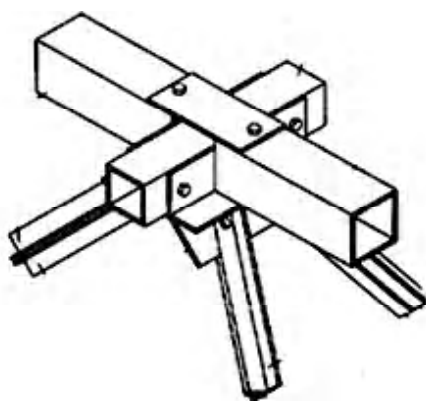


Рисунок 9. Болтовые узловые соединения: а) изобретение Эштона Ричардса; б) изобретение Г. А. Горохова.



**Рисунок 10.** Структурные покрытия типа «ИНЕКО»: а) узел по верхним поясам структуры; б) схема узла: 1 – горизонтальная узловая фасонка поясного элемента; 2 – гнутая узловая фасонка элемента решетки; 3 – вертикальный узловый болт.



**Рисунок 11.** Изобретение Гленн Рейнолдс.

данного узлового соединения является наличие большого количества вспомогательных деталей.

Разработка В. И. Бурчу, П. Т. Булата (рис. 12) [36] включает сердечник, состоящий из двух частей, скрепленных между собой центральным болтом. Части сердечника представляют собой пространственные фасонки в основаниях, в которых выполнены отверстия для крепления соосно расположенных стержней с помощью болтов.

Отрицательную роль в данном решении играет наличие сложных по конфигурации узловых фасонок под раскосы, при изготовлении которых получаются большие отходы листа. Узловому соединению характерна сложность конструкции, постановка соединительного узлового болта и использование в неразрезном поясе дорогостоящей квадратной трубы.

Решение, предложенное А. З. Клячиным и Н. Г. Гореловым (рис. 13) [37], отличается тем, что узловые пространственные фасонки

образованы из выпрямленных и отогнутых под углом примыкания раскосов и поперечных поясных стержней, а шпонки выполнены конусообразными с наклоном их образующих к основаниям под углом 75–85°.

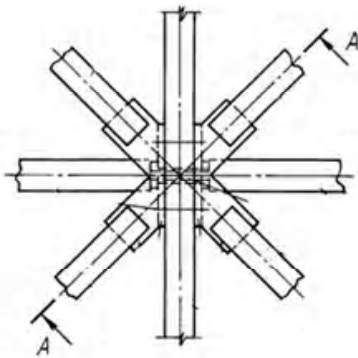
Область применения представленного решения ограничена гнутым тонкостенным профилем и необходимостью использования специальных штампов для формирования узловых фасонок сопряжения поперечных поясов и раскосов. Также ограничена площадь сопротивления узловых фасонок со структурными элементами, что ограничивает количество соединительных элементов (болты, заклепки).

Особенностью узлового решения, предложенного А. О. Беляевым (рис. 14) [38], является соединение с помощью одного болта, который заранее устанавливается в соединительную планку и заваривается специальной «обратной» гайкой, чтобы запретить перемещение по оси болта, но разрешить поворот. После сборки всего узла в случае, если хода «обратной» гайки не хватает, вставляются специальные клиновидные пластины в существующий зазор.

Данное техническое решение повторяет разработку В. И. Бурчу и П. Т. Булата (рис. 12) с вышеуказанными недостатками.

Ввиду всего вышесказанного следует вывод о необходимости разработки узлового соединения с возможностью применения в промышленных зданиях. Среди направлений дальнейших исследований следует отметить два основных: обеспечение жесткого защемления для сжатого стержня и обеспечение чистого шарнира для растянутого стержня структуры.

а)



б)

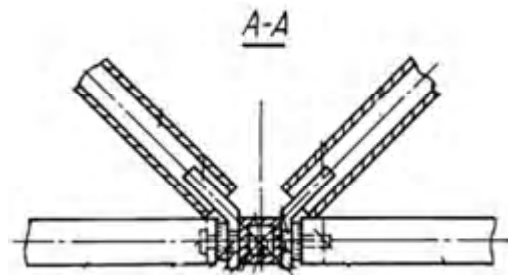


Рисунок 12. Разработка В. И. Бурчу, П. Т. Булата: а) вид снизу; б) разрез А-А.

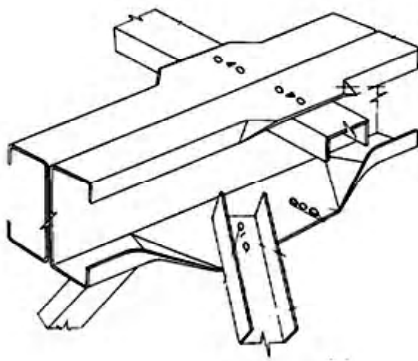


Рисунок 13. Разработка А. З. Клячина и Н. Г. Горелова.

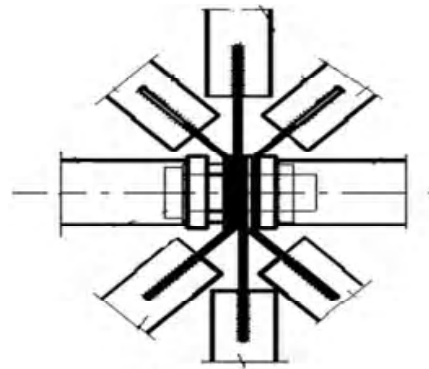


Рисунок 14. Решение предложенное А. О. Беляевым.

### Выводы

1. Для использования в промышленных зданиях узловые соединения должны обладать такими характеристиками, как массовость производства, возможность изготовления в условиях обычного ЗМК, максимальная сходимость осей в одной точке, экономичность решений.
2. В общем случае применение разъемных узловых соединений по сравнению с неразъемными имеет следующие преимущества: простота изготовления, сборки, транспортировки и высокие технико-экономические показатели.
3. Сварные узловые соединения в сравнении с болтовыми имеют такие недостатки, как значительный объем монтажной сварки, отсутствие эффективного цинкового покрытия, сложность контроля качества швов, неоднородность сварного шва и остаточные сварочные напряжения, высокие требования к длинам стержней.
4. Применение узлов со сферическими коннекторами для покрытия промышленных зданий ограничено из-за трудоемкости изготовления сферического тела и необходимости использования машиностроительных технологий.
5. Главными недостатками решений, в которых узловой элемент представлен в форме цилиндра, являются сложность и необходимость высокой точности изготовления деталей, податливость узлов, а также то, что они не предназначены для больших нагрузок.
6. Соединения без дополнительного коннектора выгодны только при небольших нагрузках, что затрудняет их применение для покрытия промышленных зданий.
7. При разработке нового узлового соединения необходимо решить следующие задачи: обеспечение жесткого защемления для сжатого стержня и обеспечение чистого шарнира для растянутого стержня структуры.



## Литература

1. Михайлов, В. В. Пространственные стержневые конструкции покрытий (структуры) [Текст] : учебное пособие для вузов / В. В. Михайлов, М. С. Сергеев. – Владимир : Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 55 с. – ISBN 978-5-9984-0159-6.
2. Aguirre, A. Carlos. Structural properties of connections for rack structures [Текст] / Carlos Aguirre A. // *Connections in Steel Structures V. Behaviour, Strength and Design: Proceedings of the Fifth International Workshop. June 3–4, 2004* / Edited by F. S. K. Bijlaard, A. M. Gresnigt, G. J. van der Vegte. – Delft : Delft University of Technology, 2005. – P. 233–242.
3. Царитова, Н. Г. Автоматизированное проектирование стержневых систем регулярной структуры с шарнирными узлами [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Царитова Надежда Геннадиевна. – Ростов н/Д, 2015. – 161 с.
4. Еремеев, П. Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений [Текст] / П. Г. Еремеев // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2006. Том 2, Номер 1. С. 5–15.
5. Окаб, А. К. Анализ соединений для модульных сборно-разборных пространственных конструкций [Электронный ресурс] / А. К. Окаб // *Нефтегазовое дело : Электронный научный журнал*. 2015. № 2. С. 206–216. Режим доступа : [http://ogbus.ru/issues/2\\_2015/ogbus\\_2\\_2015\\_p206-216\\_OkabAK\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/2_2015/ogbus_2_2015_p206-216_OkabAK_ru.pdf).
6. Makowski, Z. S. Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures [Текст] / Z. S. Makowski // *Lightweight Structures in Civil Engineering : Proceedings of the international symposium. Warsaw, Poland, 24–28 June, 2002* / Ed. J. B. Obrebski. – Warsaw : Wydawnictwo Naukowe, 2002. – P. 17–41.
7. Трофимов, В. И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений [Текст] : монография / В. И. Трофимов, А. М. Каминский. – М. : АСВ, 2002. – 573 с. – ISBN 5-93093-122-4.
8. ТУ 5285-001-47543297-09. Стержни и узловые элементы системы МАРХИ [Текст]. – М. : ООО НПЦ «Виктория», 2009. – 62 с.
9. Рекомендации по проектированию структурных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1984. – 303 с.
10. Кобалия, Т. Л. Облегченные пространственно-стержневые конструкции покрытий [Текст] / Т. Л. Кобалия, А. С. Марутян, П. С. Чернов // *Современная наука и инновации*. 2014. № 4 (8). С. 64–71.
11. Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-разборного узлового элемента [Текст] / И. С. Инжутов, П. А. Дмитриев, С. В. Деордиев, В. В. Захарюта // *Вестник МГСУ*. 2013. № 3. С. 61–71.

## References

1. Mihailov, V. V.; Sergeev, M. S. Spatial rod designs of coverings of structure: Textbook. Vladimir: Publishing House of Vladimir State University, 2011. 55 c. ISBN 978-5-9984-0159-6. (in Russian)
2. Aguirre, A. Carlos. Structural properties of connections for rack structures. In: *Connections in Steel Structures V. Behavior, Strength and Design: Proceedings of the Fifth International Workshop. June 3–4, 2004* / Edited by F. S. K. Billiard, A. M. Gresnigt, G. J. van der Vegte. Delft: Delft University of Technology, 2005, pp. 233–242.
3. Tsaritova, N. G. The automated design of rod systems of regular structure with hinged knots: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering: 05.23.01. Rostov-on-Don, 2015. 161 p. (in Russian)
4. Yermeyev, P. G. Design Peculiarities for the Unique Large-Span Buildings and Structures. In: *Modern Industrial and Civil Construction*, 2006, Volume 2, Number 1, pp. 5–15. (in Russian)
5. Okab, A. K. Analysis of nodes in demountable modular space structures. In: *Oil and Gas Business*, 2015, No. 2, pp. 206–216. Mode of access: [http://ogbus.ru/issues/2\\_2015/ogbus\\_2\\_2015\\_p206-216\\_OkabAK\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/2_2015/ogbus_2_2015_p206-216_OkabAK_ru.pdf). (in Russian)
6. Makowski, Z. S. Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures. In: *Lightweight Structures in Civil Engineering: Proceedings of the international symposium. Warsaw, Poland, 24–28 June, 2002* / Ed. J. B. Obrebski. Warsaw: Wydawnictwo Naukowe, 2002, pp. 17–41.
7. Trofimov, V. I.; Kaminskiy, A. M. Light-weight steel structures of buildings and constructions: Monograph. Moscow: ASV, 2002. 573 p. ISBN 5-93093-122-4. (in Russian)
8. ТУ 5285-001-47543297-09. Cores and nodal elements of system of Markha. Moscow: ООО НПЦ «Виктория», 2009. 62 p. (in Russian)
9. V. A. Kuchenko Order of Labour Chief Research and Development Establishment of Civil Structure. Recommendations according to design engineering of structural constructions. Moscow: Stroiizdat, 1984. 303 p. (in Russian)
10. Kobaliya, Tamazy Leonidovich; Chernov, Pavel Sergeevich; Marutyanyan, Alexander Surenovich. Light spatial and bar construction of covers. In: *Modern science and innovations*, 2014, No. 4 (8), pp. 64–71. (in Russian)
11. Inzhutov, Ivan Semenovich; Dmitriev, Petr Andreevich; Deordiev, Sergey Vladimirovich; Zakharyuta, Vasily Viktorovich. Analysis of available space structure joints and design of demountable modular joints. In: *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2013, No. 3, pp. 61–71. (in Russian)
12. Certificate on registration of copyright number 1063958 USSR, МПК Е 04 В 1/58. Node connection of space frame bars / V. G. Nikiforov, V. N. Potapov, E. A. Koval, V. N. Leonova. No. 3475899/29-33;

12. А. с. 1063958 СССР, МПК Е 04 В 1/58. Узловое соединение стержней пространственного каркаса [Текст] / В. Г. Никифоров, В. Н. Потапов, Е. А. Коваль, В. Н. Леонова. – № 3475899/29-33 ; заявл. 23.07.82 ; опубл. 30.12.83, Бюл. № 48. – 4 с.
13. А. с. 690135 СССР, МПК Е 04 В 1/58. Узловое соединение трубчатых стержней пространственного каркаса [Текст] / М. М. Жербин, А. П. Терещенко, А. А. Нилов, И. Яцошек. – № 2516069/22-33; заявл. 03.08.77 ; опубл. 05.10.79, Бюл. № 37. – 4 с.
14. А. с. 702133 СССР, МПК Е 04 В 1/58. Узловое соединение трубчатых стержней пространственного каркаса [Текст] / А. П. Терещенко, И. Яцошек, А. Нилова. – № 2516690/29-33; заявл. 08.08.77 ; опубл. 05.12.79, Бюл. № 45. – 3 с.
15. Шалобыта, Н. Н. Напряженно-деформированное состояние и методика расчета на прочность узла соединения стержневых элементов металлических структурных конструкций типа «БрГТУ» [Текст] / Н. Н. Шалобыта, Т. П. Шпобыта // *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym / Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Bobki, Jarosława Rajczyka.* – Częstochowa : Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2010. – С. 279–289.
16. Драган, В. И. Большепролетные металлические структурные конструкции системы «БрГТУ» [Текст] / В. И. Драган, Н. Л. Морилова // *Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського.* 2010. Вип. 5. С. 72–82.
17. Ramaswamy, G. S. Steel space frames, analysis, design and construction [Текст] / G. S. Ramaswamy, M. Eekhout, G. R. Suresh. – London : Thomas Felford Publishing, 2002. – 242 p.
18. Пат. 2558547 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> Е 04 В 1/58. Узловое соединение стержней элементов пространственной конструкции [Текст] / Тур А. В., Тур В. И. ; заявитель и патентообладатель Федеральное ГОУ ВПО «Ульяновский гос. техн. ун-т». – № 2014110142/03 ; заявл. 14.03.14 ; опубл. 14.03.14, Бюл. № 22. – 2 с.
19. Pat. 8739492 B2 US, Int. Cl. E04C 3/04, E04B 1/19, F24J 2/52. Space frame connector [Текст] / Robert Hawkins, Adrian L. Farr, Randall C. Gee ; Assignee Skyfuel, Inc. – No. 12/500467 ; filed 09.07.2009 ; published 03.06.2014. – 24 p.
20. Pat. 6205739 B1 US, Int. Cl. E04H 12/00. Connector node [Текст] / Mark A. Newlin ; Assignee Tomcat Global Corporation. – No. 09/168700 ; filed 09.10.1998 ; published 27.03.2001. – 10 p.
21. А. с. 1805180 СССР, МПК Е 04 В 1/56, 7/00. Решетчатая пространственная конструкция [Текст] / А. З. Клячин, Н. Г. Горелов. – № 4910482/33 ; заявл. 12.02.91 ; опубл. 30.03.93, Бюл. № 12. – 3 с.
22. Пат. 2243334 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> Е 04 В 1/58. Узел соединения стержневых элементов [Текст] / Кузнецов И. Л. ; заявитель и патентообладатель 23.07.82; published 30.12.83, Bul. No. 48. 4 p. (in Russian)
23. Certificate on registration of copyright number 690135 USSR, МПК Е 04 В 1/58. Nodal connection of tubular cores of a spatial framework / M. M. Zherbin, A. P. Tereshchenko, A. A. Nilov, I. Yatsoshek. No. 2516069/22-33; declaration 03.08.77; published 05.10.79, Bul. No. 37. 4 p. (in Russian)
24. Certificate on registration of copyright number 702133 USSR, МПК Е 04 В 1/58. Nodal connection of tubular cores of a spatial framework / A. P. Tereshchenko, I. Yatsoshek, A. Nilova. No. 2516690/29-33; declaration 08.08.77; published 05.12.79, Bul. No. 45. 3 p. (in Russian)
25. Shalobyta, N. N.; Shalobyta, T. P. The intense deformed state and calculation procedure on durability of knot of connection of rod elements of metal structural designs like «BrGTU». In: *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym / Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Bobki, Jarosława Rajczyka.* Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2010, pp. 279–289. (in Russian)
26. Dragan, V. I.; Morilova, N. L. Long span metal structural construction of the BSTU-type. In: *Edited volume of V. M. Shimanovsky Ukrainian Research and Design Institute of Steel Constructions*, 2010, Issue 5, pp. 72–82. (in Russian)
27. Ramaswamy, G. S.; Eekhout, M.; Suresh, G. R. Steel space frames, analysis, design and construction. London: Thomas Felford Publishing, 2002. 242 p.
28. Patent 2558547 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> Е 04 В 1/58. Nodal connection of cores of elements of a partial design / Tur, A. V., Tur, V. I.; proprietor Ulyanovsk State Technical University. No. 2014110142/03; declaration 14.03.14; published 14.03.14, Bul. No. 22. 2 p. (in Russian)
29. Patent 8739492B2 US, Int. Cl. E04C 3/04, E04B 1/19, F24J 2/52. Space frame connector / Robert Hawkins, Adrian L. Farr, Randall C. Gee; Assignee Skyfuel, Inc. No. 12/500467; filed 09.07.2009; published 03.06.14. 24 p.
30. Patent 6205739 B1 US, Int. Cl. E04H 12/00. Connector node / Mark A. Newlin; Assignee Tomcat Global Corporation. No. 09/168700; filed 09.10.1998; published 27.03.2001. 10 p.
31. Certificate on registration of copyright number 1805180 USSR, МПК Е 04 В 1/56, 7/00. Trellised spatial design / A. Z. Kliachin, N. G. Gorelov. No. 4910482/33; declaration 12.02.91; published 30.03.93, Bul. No. 12. 3 p. (in Russian)
32. Patent 2243334 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> Е 04 В 1/58. Knot of connection of rod elements / Kuznetsov, I. L.; proprietor Kazan State University of Architecture and Engineering. No. 2003109271/03; declaration 01.04.03; published 27.12.04, Bul. No. 36. 2 p. (in Russian)
33. Osipova, O. A.; Zahariuta, V. V.; Inzhutov, I. S. Knot of interface spatial designs for a platform in the Ergakakh. In: *Youth and science: the collection of materials of VIII the All-Russian scientific and technical*

- обладатель структуры Казанская гос. архит.-строит. акад. – № 2003109271/03 ; заявл. 01.04.03 ; опубл. 27.12.04, Бюл. № 36. – 2 с.
23. Осипова, О. А. Узел сопряжения пространственных конструкций для эстакады в Ергаках [Электронный ресурс] / О. А. Осипова, В. В. Захарюта, И. С. Инжутов // Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского / отв. ред. О. А. Краев. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т., 2012. – Режим доступа : <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section35.html>.
24. Пат. 2496951 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58. Узловое соединение стержней пространственного каркаса [Текст] / Дмитриев П. А., Инжутов И. С., Деордиев С. В., Захарюта В. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное ГОУ ВПО «Сибирский федеральный ун-т». – № 2012119759/03 ; заявл. 14.05.12 ; опубл. 27.10.13, Бюл. № 30. – 2 с.
25. Пат. 28673 Украина, МПК (2006) E04B 1/38. Узловое з'єднання просторової стрижневої конструкції [Текст] / Митрофанов В. О., Сінцов В. П., Митрофанов С. В., Митрофанов О. В.; власник Митрофанов В. О. – № u 2007 02796 ; заявл. 16.03.2007 ; опубл. 25.12.2007, Бюл. 21. – 4 с.
26. Пат. 32150 Украина, МПК E04B 1/38 (2006.01). Просторова стрижнева конструкція [Текст] / В. О. Митрофанов, В. П. Сінцов, С. В. Митрофанов, О. В. Митрофанов ; власник В. О. Митрофанов. – № u 200713343 ; заявл. 30.11.2007 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9. – 21 с. : ил.
27. Chilton, J. Space Grid Structures [Текст] / J. Chilton. – Oxford : Architectural Press, 2000. – 191 p. – ISBN 0-7506-3275-5.
28. Проектирование металлических конструкций [Текст] / под ред. В. В. Биркелева. – Л. : Стройиздат, 1990. – 432 с.
29. Pat. 1 522 742 A1 Europ, Int. Cl. F16B 7/00, E04B 1/19. Node for connecting bars of space frames [Текст] / Hevia Corte, Jose Antonio ; Representative Davila Baz, Angel et al. – No. 03380250.5 ; filed 29.10.2003 ; published 13.04.2005, Bulletin 2005/15. – 7 p.
30. Pat. 7530201 B2 US, Int. Cl. E04B 7/08. Connection node for a universal truss joint and double layer grid [Текст] / Glenn A. Reynolds, Dean R. Hackbarth, Gary N. Curtis ; Assignee Gossamer Space Frames. – No. 10/932173 ; filed 31.08.2004 ; published 12.03.2009. – 21 p.
31. Pat. 0226319 A1 US, Int. Cl. E04B 1/32; E04B 1/342. Geodesic dome joint [Текст] / Ashton E. Richards ; Assignee Ashton E. Richards. – No. 10/163906 ; filed 06.06.2002 ; published 11.12.2003. – 10 p.
32. Пат. 2254423 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58. Соединение строительных элементов *conference of students, graduate students and young scientists devoted to the 155 anniversary since the birth of K. E. Tsiolkovsky / Edited by Kraev, O. A.* Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. Mode of access: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section35.html>. (in Russian)
24. Patent 2496951 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58. Node connection of space frame bars / Dmitriev, P. A.; Inzhutov, I. S.; Deordiev, S. V.; Zahariuta, V. V.; proprietor Federal state Educational Institution of Higher Professional Education «Siberian Federal University». No. 2012119759/03; declaration 14.05.12; published 27.10.13, Bul. No. 30. 2 p. (in Russian)
25. Patent 28673 Ukraine, МПК (2006) E04B 1/38. Connection of space framework / Mitrofanov, V. O.; Sintsov, V. P.; Mitrofanov, S. V.; Mitrofanov, O. V.; owner Mitrofanov V. O. No. u 2007 02796; declaration 16.03.2007; published 25.12.2007, Bul. No. 21. 4 p. (in Ukrainian)
26. Patent 32150 Ukraine, МПК E04B 1/38 (2006.01). Space framework / V. O. Mitrofanov, V. P. Sintsov, S. V. Mitrofanov, O. V. Mitrofanov; proprietor V. O. Mitrofanov. No. u200713343; declaration 30.11.2007; published 12.05.2008, Bul. No. 9. 21 p. (in Ukrainian)
27. Chilton, J. Space Grid Structures. Oxford: Architectural Press, 2000. 191 p. ISBN 0-7506-3275-5.
28. Birkelev, V. V. (Ed.). Design of metal structures. Leningrad: Stroizdat, 1990. 432 p. (in Russian)
29. Patent 1 522 742 A1 Europe, Int. Cl. F16B 7/00, E04B 1/19. Node for connecting bars of space frames / Hevia Corte, Jose Antonio; Representative Davila Baz, Angel et al. No. 03380250.5; filed 29.10.2003; published 13.04.2005, Bulletin 2005/15. 7 p.
30. Patent 7530201 B2 US, Int. Cl. E04B 7/08. Connection node for a universal truss joint and double layer grid / Glenn A. Reynolds, Dean R. Hackbarth, Gary N. Curtis; Assignee Gossamer Space Frames. No. 10/932173; filed 31.08.2004; published 12.03.2009. 21 p.
31. Patent 0226319 A1 US, Int. Cl. E04B 1/32; E04B 1/342. Geodesic dome joint / Ashton E. Richards; Assignee Ashton E. Richards. No. 10/163906; filed 06.06.2002; published 11.12.2003. 10 p.
32. Patent 2254423 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58. Connection of construction elements / Gorohov, G. A., Telnova T. A.; proprietor. Research and design institute on creation of objects of storage processing of fruit and vegetable products, greenhouses and constructions of artificial climate «Giproniselprom». No. 99127607/03; declaration 24.12.99; published 20.06.05, Bul. No. 15. 2 p. (in Russian)
33. Vasylev, Volodymyr; Mushchanov, Volodymyr; Alyokhin, Andrey; Myronov, Andrii; Bezushko, Anna. Static Testing of the Node Connection of Space Structural «INEKO». In: *Metal Constructions*, 2016, Volume 22, Number 3, pp. 157–170. (in Russian)

- [Текст] / Горохов Г. А., Тельнова Т. А.; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский и проектный институт по созданию объектов хранения, переработки плодоовощной продукции, теплиц и сооружений искусственного климата «Гипронисельпром». – № 99127607/03; заявл. 24.12.99; опубл. 20.06.05, Бюл. № 15. – 2 с.
33. Статические испытания узлового соединения структурного покрытия «Инеко» [Текст] / В. Н. Васылев, В. Ф. Мушанов, А. М. Алехин, А. Н. Миронов, А. В. Безушко [и др.] // *Металлические конструкции*. 2016. Том 22, номер 3. С. 157–170.
34. Пат. 2422597 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58, E 04 B 7/02. Стальная решетчатая конструкция покрытия [Текст] / Агафонкин В. С., Ефимов О. И., Исаева Л. А., Моисеев М. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное ГОУ ВПО «Казанский гос. архитектурно-строительный ун-т» «КазГАСУ», Агафонкин В. С. – № 2010100515/03; заявл. 11.01.10; опубл. 27.06.11, Бюл. № 18. – 2 с.
35. Пат. 2063501 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58, E 04 B 7/02. Узловое соединение стержней пространственного каркаса [Текст] / Бурчу В. И., Булат П. Т., Люненко Ю. К.; заявитель и патентообладатель Бурчу В. И. – № 5057284/33; заявл. 20.04.92; опубл. 10.07.96, Бюл. № 18. – 2 с.
36. Пат. 2016971 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58, E 04 B 1/38. Узловое соединение стержней решетчатой пространственной конструкции [Текст] / Клячин А. З., Горелов Н. Г.; заявитель Уральский электромеханический ин-т инж. ж.-д. трансп. им. Я. М. Свердлова; патентообладатель Клячин А. З., Горелов Н. Г. – № 4944401/33; заявл. 13.06.91; опубл. 30.07.94, Бюл. № 18. – 2 с.
37. Беляев, А. О. Разработка новых типов соединительных узлов при проектировании трубчатых структурных конструкций [Текст] / А. О. Беляев // *Збірник наукових праць ДонНАБА*. 2015. Вип. 1. С. 24–31.
34. Patent 2422597 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58, E 04 B 7/02. Steel trellised structure of coverings / Agafonkin, V. S., Efimov, O. I., Isaeva, L. A., Moiseev, M. V.; proprietor Kazan State University of Architecture and Engineering, Agafonkin, V. S. No. 2010100515/03; declaration 11.01.10; published 27.06.11, Bul. No. 18. 2 p. (in Russian)
35. Patent 2063501 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58. Nodal connection of cores of a spatial framework / Burchu, V. I., Bulat, P. T., Liunenکو, Yu. K.; proprietor Burchu, V. I. No. 5057284/33; declaration 20.04.92; published 10.07.96, Bul. No. 18. 2 p. (in Russian)
36. Patent 2016971 Russian Federation, МПК<sup>5</sup> E 04 B 1/58, E 04 B 1/38. Nodal connection of cores of a trellised spatial design / Kliachin, A. Z., Gorelov, N. G.; applicant, Ya. M. Sverdlov Ural electromechanical engineering institute; patent holder Kliachin, A. Z., Gorelov, N. G. No. 4944401/33; declaration 13.06.91; published 30.07.94, Bul. No. 18. 2 p. (in Russian)
37. Belyaev, A. O. The new types of joints researches for designing of tubular space-frame structures. In: *Collection of scientific works, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2015, No. 1, pp. 24–31. (in Russian)

**Василев Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент; професор кафедри металевих конструкцій та споруд Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження роботи опор ліній електропередавання; регулювання і врахування внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

**Безушко Анна Володимирівна** – аспірант кафедри металевих конструкцій та споруд Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових металевих конструкцій.

**Васылев Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент; профессор кафедры металлических конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работы опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатаного проката в строительных конструкциях.

**Безушко Анна Владимировна** – аспирант кафедры металлических конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.

**Vasylev Volodymyr** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Professor of Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and record of the inner stressed state of the hot rolled metal in building structures.

**Bezushko Anna** – Post-graduate student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analysis and design of spatial metal structures.