

УДК: 69.024.81  
DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_25  
EDN: ATUWIT



## Стальные полигональные арочные конструкции из унифицированных элементов

Р.Г. Гайнетдинов<sup>1</sup>, Л.Р. Гимранов<sup>1</sup>, М.Т. Сибгатуллин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** *Постановка задачи.* Главной проблемой при возведении стальных полигональных арок является конструирование надежного узлового соединения как с точки зрения обеспечения несущей способности, так и снижения расхода стали, при этом узловое соединение должно обеспечивать требуемое очертание арки. *Цель работы* заключается в разработке узлового соединения унифицированных элементов без фланцев, позволяющих осуществить возведение арки произвольного пролета и сравнение конструктивного решения по расходу стали и трудоемкости сборки с известными аналогами. *Задачи:* рассмотрение известных узловых соединений стальных полигональных арок, выявление преимуществ, недостатков, разработка нового соединения и сравнение по расходу стали, трудоемкости изготовления с существующими техническими решениями.

*Результаты.* В работе представлены результаты исследований узловых соединений стальных полигональных арок. В результате выявлено, что наименьшей стоимостью по расходу стали обладает полигональная арка, предложенная в данной работе: ее стоимость на 7,7% меньше стоимости арки с кольцевыми вставками и на 19,3% – арки из однотипных элементов. При этом арка из однотипных элементов является наиболее рентабельной по трудоемкости сборки.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что за счет непосредственного соединения унифицированных элементов полигональных арок исключается необходимость во фланцах, что позволяет облегчить несущую конструкцию.

**Ключевые слова:** полигональная арка, унифицированный элемент, узловое соединение, пролет, очертание, фланец

**Для цитирования:** Гайнетдинов Р.Г., Гимранов Л.Р., Сибгатуллин М.Т. Стальные полигональные арочные конструкции из унифицированных элементов // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.25-32, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_25, EDN: ATUWIT

## Steel polygonal arch structures from standardized elements

R.G. Gainetdinov<sup>1</sup>, L.R. Gimranov<sup>1</sup>, M.T. Sibgatullin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** *Problem statement.* The main problem in the construction of steel polygonal arches is the design of a reliable nodal connection, both from the point of view of ensuring load-bearing capacity and reducing steel consumption, while the nodal connection must provide the required outline of the arch. The purpose of the work is to develop a nodal connection of standardized elements without flanges, allowing the construction of an arch of arbitrary span and comparison of the design solution in terms of steel consumption with known analogues. The objectives of the study are: consideration of known nodal connections of steel polygonal arches, identification

of advantages and disadvantages, development of a new connection and comparison of steel consumption and manufacturing complexity with existing technical solutions.

*Results.* The paper presents the results of studies of nodal connections of steel polygonal arches. As a result, it was revealed that the polygonal arch proposed in this work has the lowest cost in terms of steel consumption: its cost is 7.7% less than the cost of an arch with ring inserts and 19.3% less than the cost of an arch made of the same type of elements.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is that due to the direct connection of the standardized elements of polygonal arches, the need for flanges is eliminated, which makes it possible to lighten the load-bearing structure.

**Keywords:** polygonal arch, unified element, nodal connection, span, outline, flange

**For citation:** Gainetdinov R.G., Gimranov L.R., Sibgatullin M.T. Steel polygonal arch structures from standardized elements // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.25-33, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_25, EDN: ATUWIT

## 1. Введение

В настоящее время одной из приоритетных задач России является сокращение сроков строительства промышленных и гражданских объектов, развитие и повышение эффективности народного хозяйства. Данный процесс возможен при применении быстровозводимых зданий различного назначения – склады, ангары и т.п. [1-3]. Большое внимание уделяется развитию производства зданий и сооружений малых пролетов (до 18 м – для гражданских зданий, до 30 м – для производственных зданий) из легких прогрессивных конструкций [4-5].

Как показывает практика строительства, лучшими показателями по стоимости и расходу стали обладают легкие арочные здания. При проектировании и возведении арочных зданий широко используются арки из унифицированных элементов. Унифицированный элемент состоит из стальных труб, швеллеров, двутавров или других профилей, соединение элементов выполняется при помощи фланцев на болтах. Центральным вопросом при возведении полигональных арок является конструирование надежного узлового соединения как с точки зрения обеспечения несущей способности, так и снижения расхода стали, при этом узловое соединение должно обеспечивать требуемое очертание арки.

Наиболее распространенными являются плиточные фланцы, которые представляют собой листовую сталь с отверстиями для крепления болтов и приварки по их концам. Данное узловое соединение обладает такими преимуществами, как простота монтажа и обеспечение необходимой прочности. Однако недостатком плиточных фланцев является повышенный расход стали и возможность соединять унифицированные элементы только под одним углом.

Были предложены другие типы узловых соединений унифицированных элементов, позволяющие обеспечить соединение под разными углами. Одно из таких соединений было разработано Кузнецовым И.Л. и Сафиным Р.К. [6]. Узловое соединение однотипных элементов арки состоит из цилиндрической узловой вставки, которые охватывают ее с двух сторон жестко закрепленными на торцах элементами фасонки. Крепление фасонки к узловой вставке осуществлено с помощью резьбового соединения с сопрягающими шайбами, для чего по окружности вставки и в фасонках образованы соосные овальные отверстия.

Позже Кузнецов И.Л. разработал болтовое узловое соединение унифицированных элементов арки на цилиндрических фланцах [7]. На концы элемента арки, приварены фланцы. Первый фланец унифицированного элемента выполнен из отрезка цилиндрической трубы, отверстия под болты расположены соосно с равным шагом по ее окружности. Второй фланец унифицированного элемента выполнен из отрезка поверхности трубы с совпадающими отверстиями первого фланца. Сборка арки из данных элементов заключается в жестком соединении болтами под требуемым углом. На цилиндрической трубе отыскиваются те отверстия, которые образуют требуемый угол, в них вставляются болты. Затем болты вставляют в отверстия вогнутого фланца смежного элемента и закручивают гайки, что обеспечит жесткий контакт двух фланцев.

В другой работе Кузнецов И.Л. предлагает болтовое узловое соединение однотипных элементов арки с узловой вставкой [8]. Вогнутые фланцы охватывают цилиндрическую узловую вставку с жестко закрепленными на концах кольцами, внутренние кромки которых имеют зубчатый профиль и введены в контакт с аналогичным профилем боковой поверхности фланцев. Крепление производится болтами, установленными в соосные отверстия во фланцах и в узловой вставке. В данном соединении отпадает необходимость в использовании высокопрочных болтов. Однако данное узловое соединение требует высокой точности изготовления и монтажа, фасонной резки элементов, создание рифленых поверхностей, шаблоны для установки требуемого угла сопряжения элементов арки.

С целью повышения надежности, упрощения и ускорения монтажа было разработано соединение элементов арки с цилиндрической узловой вставкой [9]. Сборка данного узлового соединения выполняется следующим образом. Криволинейные фасонки элементов вводят в соприкосновение с узловой вставкой, устанавливают накладку и слабо стягивают их болтами. Требуемый угол соединения элементов обеспечивается поворотом элементов арки вокруг узловой вставки. Поворот элементов достигается тем, что при слабо закрученной гайке болта возможен выход накладки из зацепления с криволинейной фасонкой за счет сжатия пружинной шайбы. После установки требуемого угла гайку болта закручивают до отказа, обеспечивая сцепление пилообразных профилей фасонки и накладки, а также необходимую степень сжатия пружинной шайбы. Данное узловое соединение обеспечивает надежность соединения в арках с большими изгибающими моментами, повышает точность сборки и ускоряет время возведения арки.

Кузнецовым И.Л. и Пеньковцевым С.А. было предложено следующее узловое соединение однотипных элементов арки. Элемент арки содержит прямолинейный стержень из коробчатого сечения или спаренных швеллеров, криволинейную фасонку с отверстиями для крепежных болтов, цилиндрическую трубку с соосными отверстиями по периметру окружности. Крепление фасонки и цилиндрической трубы к стержню осуществляется на сварке. Цилиндрическая трубка на другом конце стержня размещается между стенками поперечного стержня, при этом устанавливается со смещением относительно оси элемента. Смещение относительно торца может быть выполнено на величину  $a = d/2$ , где  $d$  – диаметр трубы, при этом участок стержня в пределах трубы становится ее поперечной диафрагмой жесткости. В некоторых случаях соосные отверстия в цилиндрической трубе целесообразно выполнить резьбовыми. Данное узловое соединение однотипных элементов арки позволяет увеличить диапазон соединения элементов арки от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , исключение фасонной резки концов стержня.

Специалистами КазИСИ было разработано узловое соединение унифицированных элементов арки с кольцевыми вставками [10]. Данное конструктивное решение узла позволяет регулировать угол сопряжения между унифицированными элементами арки, обладает простотой изготовления, а также обеспечивает условие равнопрочности узлового соединения с унифицированными элементами. Кольцевая вставка и фасонная накладка выполнены из отрезка круглой трубы или изготовлены путем штамповки и последующей сварки двух полуколец. Стержень однотипного элемента может быть выполнен из профильных элементов: швеллеров, двутавров, прямоугольных труб, перфорированных профилей, составного сечения и т.п. Крепление вогнутых фасонки и узловых элементов к концам стержней осуществляется сбоку впритык к сварке, что уменьшает трудоемкость изготовления за счет исключения фасонной резки концов однотипных элементов. Недостатками данного узлового соединения являются повышенная материалоемкость, большой диаметр перфорации фасонки для установки болтов. Конструкции узловых соединений с кольцевыми вставками рациональны при пролетах несущих конструкций облегченных зданий до 15 м. При увеличении пролета требуется введение в узлах дополнительных усиливающих элементов (диафрагм жесткости) или увеличение ширины и толщины кольцевых вставок, что приводит к повышению расхода стали.

Кузнецовым И.Л. и Яруллиным Р.М. было разработано болтовое узловое соединение унифицированных элементов арки с цилиндрической вставкой [12]. К торцам элементов арки на сварке прикреплены крепежные детали, выполненные в виде двух отрезков круглых труб. Элементы арки объединены посредством цилиндрической

узловой вставки, к торцам которой жестко установлены боковые накладки с отверстиями, равномерно размещенными по длине окружности. Однотипные элементы арки соединены между собой посредством боковых накладок цилиндрической вставки стяжными болтами, пропущенными через соосные отверстия в накладках и в отверстиях крепежных элементов.

Целью работы является создание узлового соединения полигональной арки из унифицированных элементов на болтах без использования фланцев, позволяющих обеспечить требуемое очертание и несущую способность арки, а также технико-экономическое сравнение узла с традиционными конструктивными решениями.

Задачами исследования являются:

1. рассмотрение основных узловых соединений унифицированных элементов полигональных арок, выявление преимуществ и несовершенств.
2. исследование технико-экономических показателей конструктивных решений узловых соединений на основе расчета типовой арки.

## 2. Материалы и методы

Для технико-экономического сравнения стальных полигональных арок из унифицированных элементов выбраны три вида узловых соединений (табл.1):

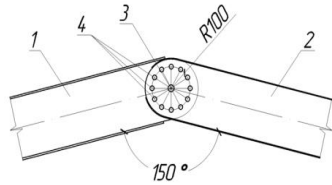
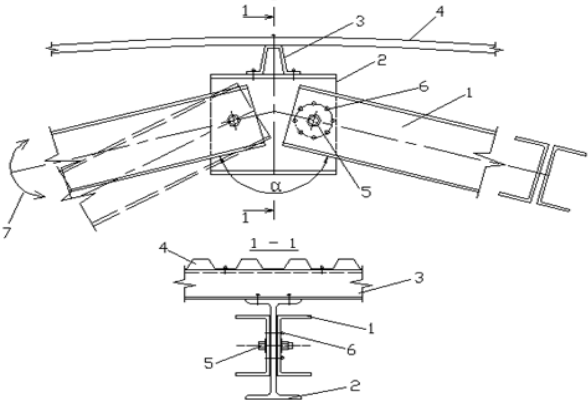
- а) с новым узловым соединением унифицированных элементов без фланцев.
- б) с аркой из однотипных элементов с фасонкой из отрезка двутавра.
- в) с узловым соединением с единой кольцевой вставкой.

Выбор данных конструктивных решений соединений обусловлен типом арки и наиболее выгодными показателями по расходу стали и трудоемкости сборки с другими узловыми соединениями стальных полигональных арок.

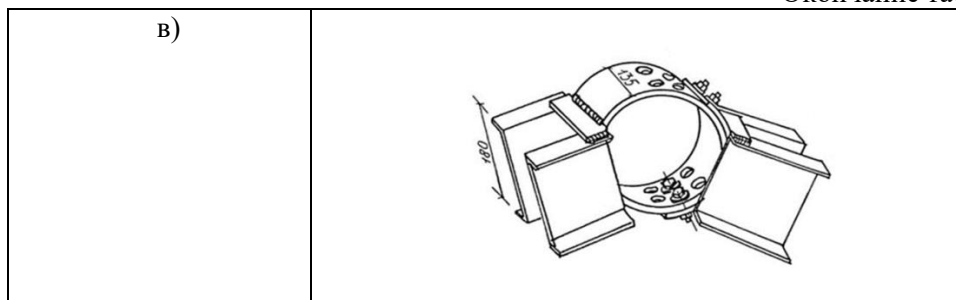
В качестве объекта исследования принята конструктивная схема арки пролетом  $l=12$  м и со стрелой подъема  $f=5,8$  м. При этом расчет несущих элементов, подбор сечений и конструирование узлов для выбранных соединений унифицированных элементов полигональных арок произведены в работах [11, 13], эти результаты были использованы в данной статье.

Таблица 1

Узловые соединения полигональных арок

Узловые соединения арки	Схемы узловых соединений
а)	
б)	

Окончание таблицы 1



### 3. Техничко-экономическое сравнение стальных полигональных арок

Предлагается новое конструктивное решение полигональной арки: арка собирается из двух унифицированных элементов, скрепленных между собой на болтах без использования фланцев, при этом их соединение может выполняться под любым углом  $\alpha$ . Соединение двух типов унифицированных элементов осуществляется в следующем порядке. Первоначально элементы соединяются центральным болтом, установленным в отверстии, а после обеспечения нужного угла соединения элементов вокруг устанавливаются крепежные болты (табл 1. а) [14].

Для сопоставления данных расхода материала нового узлового соединения, с известными решениями определим вес крепежных деталей на один узел соединяемых элементов предлагаемой арки (табл 1. а). Унифицированные элементы арки соединяются центральным болтом диаметром 30 мм и 12-ю крепежными болтами диаметром 20 мм. Примем центральный болт М30х65 массой 0,605 кг, крепежные болты – М20х65 массой 0,228 кг и рассчитаем массу болтов, приходящихся на один узел:

$$m_{б1} = 0,605 + 0,228 \times 12 = 3,341 \text{ кг} \quad (1)$$

Произведем расчет веса одной предлагаемой арки пролетом  $L = 11,58$  м и стрелой подъема  $f = 5,79$  м. Первый тип унифицированного элемента – двутавр 30Б1, масса 1 п.м. составляет 32 кг. Второй тип унифицированного элемента – парные швеллеры 280х60х3,9 мм, масса 1 п.м. – 11,8 кг.

Вес двутавров:

$$m_{дв} = (3,565 + 2,985 + 3,285) \times 32 = 314,72 \text{ кг} \quad (2)$$

Вес швеллеров:

$$m_{шв} = (3,275 + 2,965 + 3,545) \times 11,8 \times 2 = 230,93 \text{ кг} \quad (3)$$

Общий вес унифицированных элементов:

$$m_{эл1} = 314,72 + 230,93 = 545,65 \text{ кг} \quad (4)$$

Вес болтов, приходящихся на одну арку:

$$m_{б} = 3,341 \cdot 5 = 16,71 \text{ кг} \quad (5)$$

Вес предлагаемой полигональной арки из унифицированных элементов:

$$m_{ар1} = 545,65 + 16,71 = 562,36 \text{ кг} \quad (6)$$

Вычислим вес арки из однотипных элементов (табл 1. б). Фасонка представляет собой отрезок двутавра с уклоном полок №36 длиной 50 см, масса 1 п.м. двутавра – 48,6 кг. В качестве центрального стяжного болта принят болт М16 массой 0,145 кг, а в качестве метизов – 12 ССВ диаметром 6,3 мм массой 0,014 кг.

Вес крепежных элементов одного узла арки:

$$m_{б2} = 48,6 \cdot 0,5 + 0,145 \cdot 2 + 0,014 \cdot 12 = 24,76 \text{ кг} \quad (7)$$

Рассчитаем вес одной арки пролетом 12 м и стрелой подъема 6 м. Арка состоит из 8 однотипных элементов сечением из спаренных швеллеров 280х60х3,9 мм, масса 1 п.м. швеллера – 11,8 кг. Длина элемента составляет 2,5 м.

Вес однотипного элемента арки:

$$m_{эл2} = 2,5 \cdot 11,8 \cdot 2 = 59 \text{ кг} \quad (8)$$

Вес арки составляет:

$$m_{ap2} = 59 \cdot 8 + 24,76 \cdot 7 = 645,32 \text{ кг} \quad (9)$$

Найдем вес арки, элементы которой соединяются кольцевой вставкой, предложенной в работе [11]. Пролет арки составляет 11,63 м, стрела подъема – 5,55 м, количество элементов арки – 6. Элементами арки являются парные швеллеры 280x60x3,9 мм длиной 3 м, масса 1 п.м. швеллера – 11,8 кг. Кольцевая вставка выполнена из отрезка круглой трубы длиной 220 мм, радиусом 180 мм и толщиной 10 мм. Фасонные накладки, привариваемые к кольцевой вставке и стержням арки, имеют размеры 300x200x10 мм. Используются болты М20 массой 0,228 кг.

Найдем вес кольцевой вставки, исходя из ее объема и плотности стали, равной 7850 кг/м<sup>3</sup>:

$$m_{вст} = \pi \cdot (0,18^2 - 0,17^2) \cdot 0,22 \cdot 7850 = 19 \text{ кг} \quad (10)$$

Вес фасонной накладки:

$$m_{фн} = 0,3 \cdot 0,2 \cdot 0,01 \cdot 7850 = 4,71 \text{ кг} \quad (11)$$

Вычислим массу кольцевой вставки, фасонных накладок и болтов, приходящихся на один узел:

$$m_{бз} = 19 + 4,71 \cdot 4 + 0,228 \cdot 4 = 38,8 \text{ кг} \quad (12)$$

Вес элемента рассматриваемой арки составляет:

$$m_{элз} = 11,8 \cdot 3 \cdot 2 = 70,8 \text{ кг} \quad (13)$$

Исходя из данных, полученных выше, находим вес у одной арки с кольцевыми вставками:

$$m_{ap3} = 70,8 \cdot 6 + 38,8 \cdot 5 = 618,8 \text{ кг} \quad (14)$$

Проведенный расчет показывает, что вес крепежных изделий, необходимых для соединения элементов предлагаемой арки,  $m_{б1} = 3,341$  кг в 7,4 раза меньше веса фасонки и болтов второй арки  $m_{б2} = 24,76$  кг, а по сравнению с кольцевой вставкой третьей арки – меньше в 11,6 раз. Вес предлагаемой полигональной арки из унифицированных элементов  $m_{ap1} = 562,36$  кг на 14,75% меньше веса арки  $m_{ap2} = 645,32$  кг – из однотипных элементов с фасонкой из отрезка двутавра, и на 10,04% меньше веса арки с кольцевыми узловыми вставками  $m_{ap3} = 618,8$  кг, предложенными Пеньковцевым С.А. в работе [11].

Зачастую при внедрении конструкции в строительство обращают внимание не только на вес конструкции, но и на технологичность, то есть трудоемкость изготовления, сборки, монтажа. Ключевую роль играет вид соединений и количество элементов, участвующих в сборке. С учетом этого для полной оценки технико-экономических показателей стальных арочных конструкций, предлагается воспользоваться формулой (15), при этом учесть количество соединяемых элементов и выполняемых операций:

$$T_0 = \psi_0^T t_0 n_0 + T_{сб} G, \text{ чел} \times \text{час} \quad (15)$$

где  $\psi_0^T$  – коэффициент трудоемкости операций;

$t_0$  – единичная трудоемкость обработки, чел × час;

$n_0$  – число основных деталей элемента конструкции, количество;

$T_{сб}$  – трудоемкость сборки конструкции на 1 т,  $\frac{\text{чел} \times \text{час}}{\text{кг}}$ ;

$G$  – вес конструкции, кг.

Данные по расчету трудоемкости  $T_0$  – для арочных конструкций представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Технико-экономические показатели стальных арочных конструкций

Арка	Вес $m_{ap,i}$ , кг	п, количество элементов в узле	к, количество операций при сборке узла	$T_0$ , трудоемкость обработки и сборки конструкции, чел×час
Полигональная арка из двух типов унифицированных элементов	562,36	4	5	26,53

Окончание таблицы 2

Арка из однотипных элементов	645,32	4	3	26,50
Арка с кольцевыми вставками	618,8	4	4	26,61

#### 4. Заключение

1. Проведенный анализ конструктивных решений арочных зданий показал, что данные конструкции имеют ряд преимуществ, которые свидетельствуют о высоком уровне эффективности их применения. Однако существуют проблемы, связанные с использованием металлических арок в строительстве зданий небольших пролетов. Эти проблемы связаны с повышенным расходом стали на изготовление фланцев, трудоемкостью сборки и ограничением очертаний арки из-за необходимости соединения унифицированных элементов под определенным углом.

2. В результате обзора различных узловых соединений арочных элементов предложена новая конструкция полигональной арки, позволяющая соединять элементы под любым углом и сооружать арки произвольного пролета и очертания. Элементы арки представлены в виде двух типов унифицированных элементов – двутавра и парного швеллера – и соединяются с помощью болтов без использования фасонки. Несущая способность обеспечивается изменением шага арок.

3. Проведенные исследования показали, что наименьшей стоимостью по расходу стали обладает полигональная арка, предложенная в данной работе: ее стоимость на 7,7% меньше стоимости арки с кольцевыми вставками и на 19,3% – арки из однотипных элементов с фасонкой из отрезка двутавра. По трудоемкости обработки и сборки конструкции наиболее рентабельным является техническое решение арки из однотипных элементов.

#### Список литературы/References

1. Katarzyna Rzeszut., Iona Szewczak. Experimental studies of sigma thin-walled beams strengthen by CFRP tapes // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural and Construction Engineering. 2017. vol. 11 no.7. P. 888–895.
2. Rahima Ummi Kulsum Nadya., Fathoni Usman. Bolted connection of cold-formed steel section - a review // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No. 17. P. 4737–4745.
3. Anna Green Antony. Study on cold formed steel sigma sections and the effect of stiffeners // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. vol. 5. P. 16249–16255. DOI:10.15680/IJRSET.2016.0509084.
4. Je Chenn Gan. Experimental study on the effect of heel plate thickness on the structural integrity of cold formed steel roof trusses / Je Chenn Gan, Jee Hock Lim, Siong Kang Lim, Horng Sheng Lin // 14 th International Conference on Concrete Engineering and Technology. 2018. P.1–9.
5. M.D.Raghunathan. On the tensile capacity of Single-bolted Connections between GFRP Angles and Gusset Plates-Testing and Modelling / M.D. Raghunathan, R.Senthil, and G.S. Palani // KSCE Journal of Civil Engineering. — 2016. — Vol.21. No.6. P. 2259–2272.
6. Зверев В.В., Семенов А.С. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей // Строительство и архитектура. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 2 (10). С. 9–7. [Zverev V.V., Semenov A.S. The influence of the compliance of bolted connections on the deformability of a truss made of thin-walled bent profiles // Construction and architecture. Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2008. No. 2 (10). P. 9–7.]
7. А. с. 613042 СССР, МКИ Е 04 В 1/58. Узловое соединение однотипных элементов арки / И.Л. Кузнецов, Р.К. Сафин. – заявл. 7.02.78; опубл. 30.06.78, Бюл. № 24.

- [Kuznetsov I.L., Safin R.K. Nodal connection of similar arch elements. Patent USSR. No. 613042; 30.06.78.]
8. А. с. 608895 СССР, МКИ Е 04 В 1/32. Элемент арки / И.Л. Кузнецов. – заявл. 14.02.77; опубл. 28.02.78, Бюл. № 20. [Kuznetsov I.L. Arch element. Patent USSR. No. 608895; 28.02.78.]
  9. А. с. 746058 СССР, МКИ Е 04 В 1/58. Узловое соединение однотипных элементов арки / И.Л. Кузнецов. – заявл. 13.03.81; опубл. 30.07.82, Бюл. № 25. [Kuznetsov I.L. Nodal connection of similar arch elements. Patent USSR. No.746058; 30.07.82.]
  10. А. с. 676702 СССР, МКИ Е 04 В 1/58. Узловое соединение элементов арки / И.Л. Кузнецов. – заявл. 24.03.78; опубл. 30.07.79, Бюл. № 28. [Kuznetsov I.L. Nodal connection of arch elements. Patent USSR. No.676702; 30.07.79.]
  11. Пеньковцев, С.А. Несущие металлические конструкции облегченных зданий из унифицированных элементов: дисс. канд. техн. наук / С.А. Пеньковцев. – Казань, 1990. – 222 с. [Penkovtsev S.A. Load-bearing metal structures of lightweight buildings made from standardized elements: diss. Ph.D. tech. sciences. Kazan, 1990 (In Russian).]
  12. Пат. 2273702 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/58. Узловое соединение элементов арки / Кузнецов И.Л., Яруллин Р.М. – заявл. 28.10.2004; опубл. 10.04.2006, Бюл. № 10. [Kuznetsov I.L., Yarulkin R.M. Nodal connection of arch elements. Patent RF. No. 2273702; 10.04.2006.]
  13. И.Л. Кузнецов, Р.Г. Гайнетдинов, Л.Р. Хайруллин. Полигональная арка из двух типов унифицированных элементов // Строительство и архитектура. Строительные науки. – 2021. – №50 – С. 65-69. [Kuznetsov I.L., Gainetdinov R.G., Khayrullin L.R. Polygonal arch of two types of unified elements // Construction and architecture. Building Sciences. – 2021. – No. 50 – pp. 65-69 (In Russian)]
  14. Пат. 2750773 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/32. Полигональная арка / Кузнецов И.Л., Гайнетдинов Р.Г., Судариков В.А.. – заявл. 28.10.2020; опубл. 02.07.2021, Бюл. № [Kuznetsov I.L., Gainetdinov R.G., Sudarikov V.A. Polygonal arch. Patent RF. No. 2750773; 02. 07.2021]
  15. Стрелецкий Н.С. Металлические конструкции. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. Москва. 1961. [Streletsky N.S. Metal constructions. State publishing house of literature on construction, architecture and building materials. Moscow. 1961 (In Russian)]

#### Информация об авторах

**Ришат Габдулхаевич Гайнетдинов**, ассистент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: rishat.gajnetdinov@bk.ru

**Линур Рафаилович Гимранов**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: leenur@mail.ru

**Марат Тафкилович Сибгатуллин**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: maratts@mail.ru.

#### Information about the authors

**Rishat G. Gainetdinov**, assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: rishat.gajnetdinov@bk.ru

**Linur R. Gimranov**, PhD, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: leenur@mail.ru

**Marat T. Sibgatullin**, PhD, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: maratts@mail.ru.