

**И.Б. Лузенина, Ю.В. Чистякова**

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## **Оптимизированная модель пространственной рамы здания вокзала**

Проектирование объектов транспортной инфраструктуры, в частности вокзального комплекса, предполагает одновременное решение сложных архитектурных, технологических и технических задач. На этапах проработки объемно планировочных и конструктивных решений здания вокзала был сформирован конструктивный модуль центральной части здания, в виде пространственной рамы. Уточнение конструктивной схемы и оптимизация сечений элементов модуля произведены в процессе конструктивного расчета рамы, выполненного с помощью программного комплекса «ЛИРА-САПР». В этой научной статье проанализированы как результаты этапов моделирования системы, так и, соответствующие конструктивным моделям, результаты подбора сечений элементов. На основании оптимизированного пространственного модуля сформирована модульная конструкция древовидной колонны. Предполагается, что в дальнейшей проектной работе, получится адаптировать схемы универсального пространственного модуля и «древовидной» колонны для множества объектов транспортной инфраструктуры. Например, таких как сооружения перрона, пешеходных переходов и т.п., объединения их со зданием вокзала в единый транспортный комплекс.

**Ключевые слова:** древовидная колонна, пространственная рама, статический расчет, оптимизация

**I.B. Luzenina, Y.V. Chistyakova**

Ural State University of Railway Transport

## **Formation and constructive system of the central part of the station building**

The design of transport infrastructure facilities, in particular, the station complex, involves the simultaneous solution of complex architectural, technological and technical problems. At the stages of development of space-planning and design solutions for the station building, a constructive module of the central part of the building was formed, in the form of a spatial frame. Refinement of the design scheme and optimization of sections of the module elements were made in the process of constructive calculation of the frame, made using the LIRA-SAPR software package. This scientific article analyzes both the results of the system modeling stages and, corresponding to the constructive models, the results of the selection of sections of elements. Based on the optimized spatial module, the modular construction of the tree column is formed. It is assumed that in the further project work, it will be possible to adapt the schemes of the universal spatial module and the "tree-like" column for a variety of transport infrastructure objects. For example, such as apron facilities, pedestrian crossings, etc., combining them with the station building into a single transport complex.

**Keywords:** column in tree view, spatial frame, static calculation, optimization

### **1. Введение**

Проектирование объектов транспортной инфраструктуры, в частности вокзального комплекса, предполагает одновременное решение сложных технологических и архитектурных задач [1]. На этапах разработки объемно-планировочного и конструктивного решений здания вокзала было уделено внимание анализу и выбору конструктивной формы, которая гарантирует выполнение не только технических, технологических и эксплуатационных требований к объекту, но и поддерживает уверенное состояние людей, находящихся в «транспортном потоке». На этих этапах

проектирования учтены основные принципы формообразования объекта для создания его внутренней среды. Пошаговое моделирование конструкций здания вокзала позволило аналитически обосновать конструктивный модуль, который, при дальнейшем проектировании, может быть принят базовым для объединения зданий и сооружений в единый транспортный комплекс [2].

## 2. Расчет пространственной рамы

Итак, в результате работы над разделом объемно-планировочных решений общественного транспортного центра - здания вокзала, был выявлен модуль (рис. 1) для дальнейшего исследования (параметры границ исследования объекта), в частности для решения следующей задачи проектирования - задачи оптимизации конструктивной схемы.

Параметры границ исследования объекта (исходные данные):

шаг колонн в радиальном направлении,  $L = 27\text{м}$ ;

то же, в поперечном направлении, по малому диаметру,  $B = 4,65\text{м}$ ;

то же, в поперечном направлении, по внешнему диаметру,  $B = 18,6\text{м}$ ;

высота колонны,  $h = 15,2\text{м}$ ;

высота арочного элемента,  $h_a = 8,8\text{м}$ .

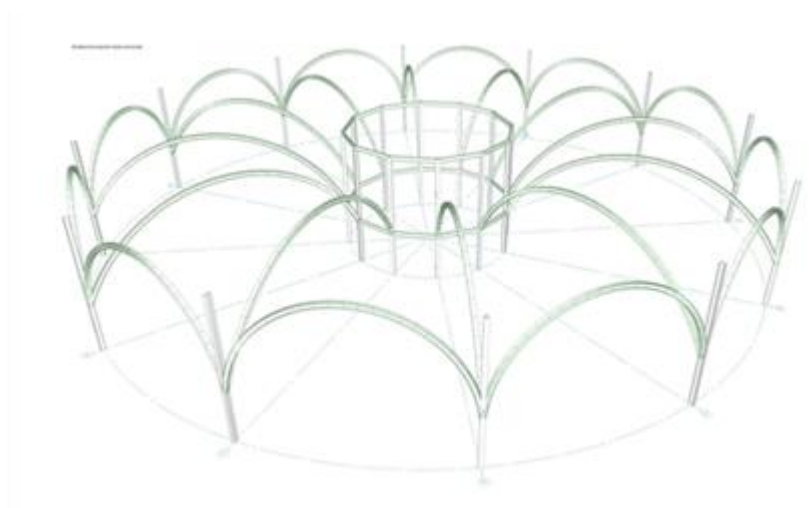


Рис.1. Пространственный модуль

Модуль представляет собой пространственную, геометрически неизменяемую раму, состоящую из несущих колонн и арочных элементов (древовидные колонны), радиально размещенных от центра. Несущая конструкция покрытия центральной зоны атриума – купол, прилегающее покрытие выполнено в виде легкой структурной плиты, с узловым опиранием на ветви древовидной колонны [3].

Для анализа «работоспособности» конструктивной схемы пространственной рамы был произведен импорт чертежей созданной модели из программного комплекса «AUTOCAD» в программный комплекс «САПФИР» (рис. 2). На основе конструктивной схемы пространственной рамы создана расчетная схема, в которой конструктивные элементы заменены стержнями: арочный элемент [4] и колонна – по центру тяжести сечения. Колонна защемлена внизу, сопряжение арочного элемента с колонной – жесткое.

В результате предварительного расчета на единичные нагрузки были выявлены геометрические погрешности формирования арочных стержней, а также неточности

узловых сопряжений элементов и конструкций. Неточности устранялись в процессе последовательных пересчетов пространственной рамы.

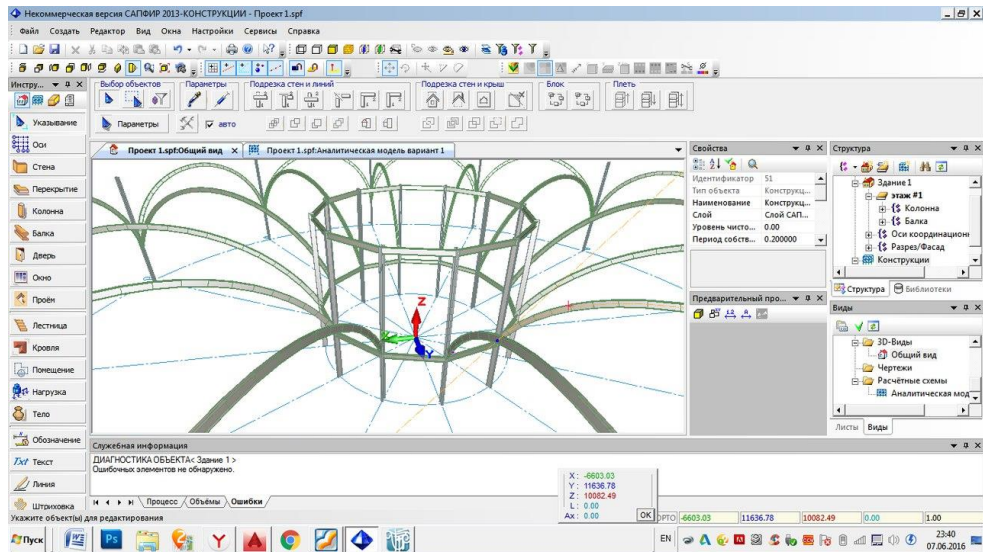


Рис. 2. Схема пространственной рамы в программном комплексе «САПФИР»

Доработка конструктивной модели была выполнена в программном комплексе «ЛИРА-САПР». В частности, произведено уточнение жесткостных характеристик элементов конструкций (рис. 3). На начальном этапе расчетов жесткости элементов были заданы в соответствии с указанными ниже типами поперечных сечений элементов:

- колонны – сварные составные короба квадратного сечения из стального листового профиля;
- балки продольные (арочные элементы) – составные сварные двутавры;
- балки поперечные (арочные элементы) – составные сварные двутавры;
- балки обвязочные – составные сварные двутавры;
- ветви – составные сварные двутавры.

ВЕДОМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА







Марка	Сечение		Усилие			Группа констр.	Сталь	Прим.	
	Эскиз	Поз	Состав	Mz, кН/м	N, кН				Qz, кН
K1	1 	2	1 - 250x10	0,019	8,325	0,000	I	C255	Колонна
		2	2 - 300x10						
A31 A32	3 	4	3 - 280x10	-0,219	-14,770	0,000	I	C255	Эл. K1 Эл. K2
		4	4 - 200x10						
A33 A34	5 	6	5 - 280x10	-0,003	-12,291	0,783	I	C255	Элемент K2
		6	6 - 200x10						
B1 B2	7 	8	7 - 200x10	-	-	-	I	C255	Балка
		8	8 - 200x10	-	-	-	I	C255	Балка
K2	9 	10	9 - 250x10	0,096	11,512	-0,014	I	C255	Колонна
		10	10 - 300x10						
B	11 	12							
		12							

Рис. 3. Ведомость элементов модуля

Статический расчет пространственной рамы выполнен в программном комплексе "ЛИРА-САПР" (рис. 4). В качестве основных неизвестных приняты следующие перемещения узлов:

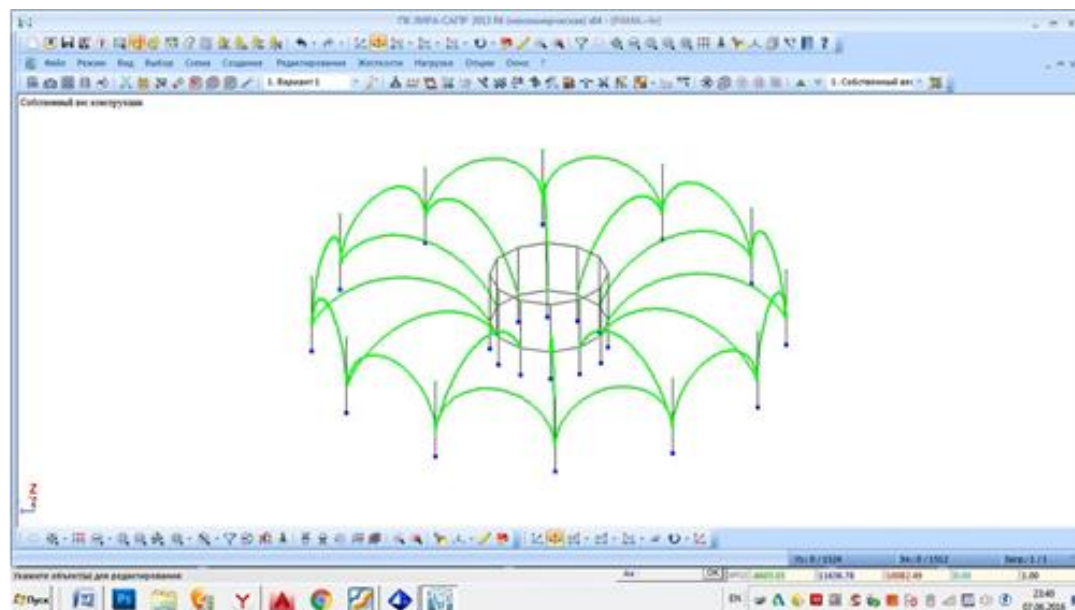


Рис. 4. Схема пространственной рамы в программном комплексе «ЛИРА-САПР»

- X - линейное по оси X;
- Y - линейное по оси Y; Z - линейное по оси Z;
- UX – угловое вокруг оси X; UY - угловое вокруг оси Y;
- UZ - угловое вокруг оси Z.

При расчете реализованы положения СП (с учетом изменений): СП 2.01.07-85\*, “Нагрузки и воздействия”; СП II-23-88\*, “Стальные конструкции”. В расчете учитывались следующие загрузки: загрузка 1 - собственный вес стальных конструкций (постоянная нагрузка); загрузка 2 - нагрузка от покрытия (постоянная нагрузка); загрузка 3 – снеговая (кратковременная нагрузка); загрузка 4 – полезная нагрузка (кратковременная нагрузка). Расчетные сочетания усилий для стержней выбраны по критерию экстремальных нормальных и сдвиговых напряжений в периферийных зонах сечения.

В результате расчетов пространственной рамы и последующего анализа работы системы был сделан вывод о необходимости ввода дополнительных элементов (веток) в конструкцию оголовка колонны (рис 5). Дополнительные «ветки» послужили дополнительными опорами для структурной плиты покрытия и позволили наиболее равномерно распределять нагрузки и, соответственно, напряжения, в элементах пространственной системы.

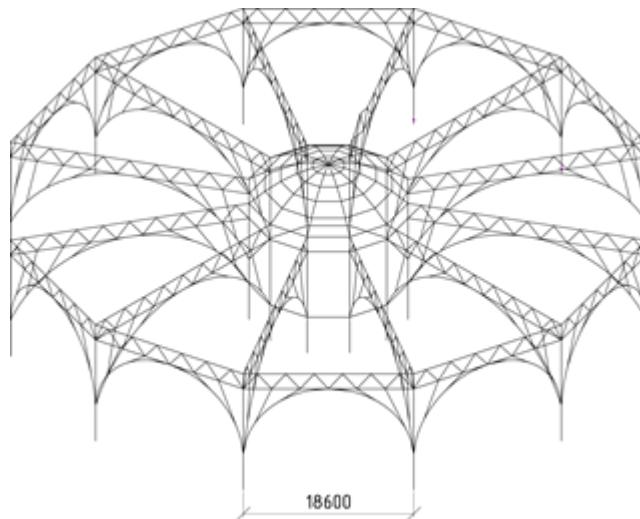


Рис.5. Расчетная схема рамы для ПК “ЛИРА-САПР”

Структурная плита покрытия в расчетную систему была условно введена в виде плоских ферм, опирающихся на «ветви» древовидной колонны [5]. На начальном этапе нагрузка назначена распределенной по поясам фермы (рис.6), с последующим уточнением по месту приложения.

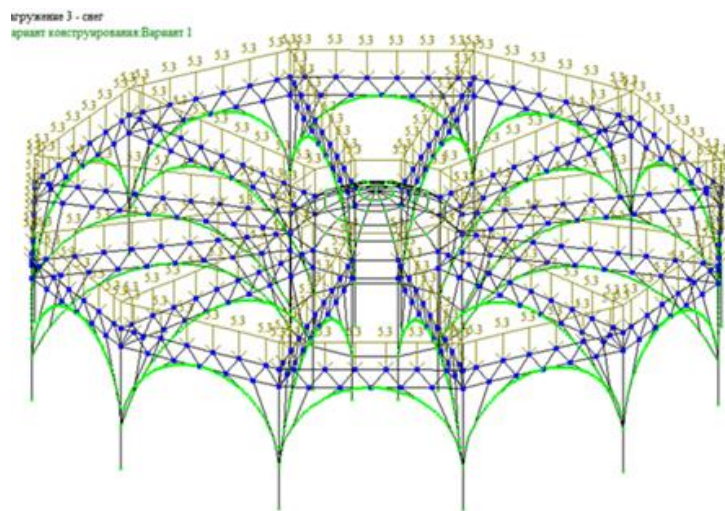


Рис. 6. Вариант расчетной схемы пространственной рамы для ПК “ЛИРА-САПР”

### 3. Расчет древовидной колонны

Создание конструктивной системы (в границах исследования) проводилось путем: от общего к частному. Так, после анализа работы пространственной рамы, было принято решение “расчленив” конструкцию на отправочные марки (рис.7), вычленив конструкцию колонны типа “дерево” (древовидную колонну).

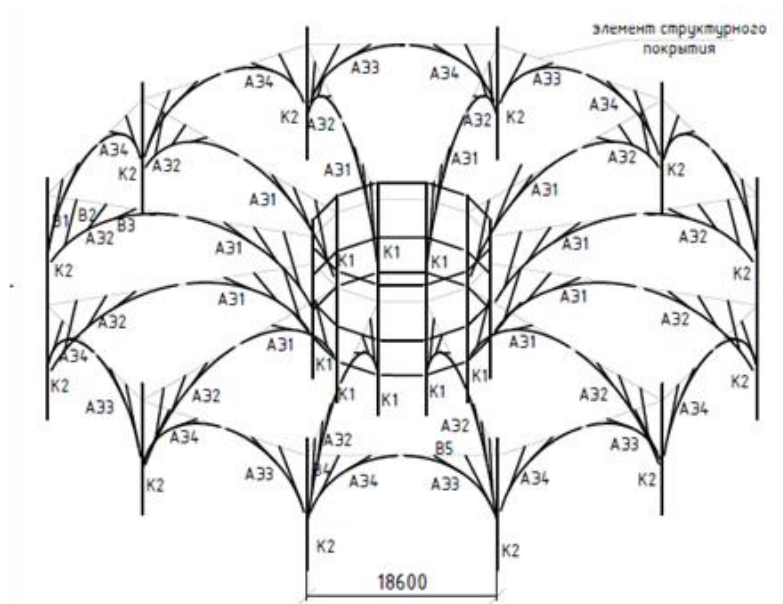


Рис.7. Отправочные марки рамы

Следующим этапом расчетов стал конструктивный расчет несущей древовидной колонны (подбор сечения), выполняемый в программном комплексе “ЛИРА-САПР”. Древовидная колонна, рассчитывалась, как элемент пространственной рамы, на расчетные усилия, по первой и второй группам предельных состояний. Материал несущих конструкций – сталь С255 по ГОСТ 27772-88\*. Результаты подбора сечений сведены в таблице (рис. 8). Сборку элементов (деталей) колонны рекомендуется выполнять стыковым швом с зачисткой кромок.

СПЕЦИФИКАЦИЯ СТАЛИ С255 ПО ГОСТ 27772-88

Марка	Эскиз	Сечение, мм	Длина, мм	Кол-во, шт	Вес, кг			Примечание
					ед.	Всего	Марки	
K1.1		1 - 280x10	15800	12	345,1	414,2		
K1.2	1 2 3	2 - 280x10	15800	12	345,1	414,2	17155,7	отб.
K1.3		3 - 300x10	15800	24	369,7	8873,3		отб.
K2.1		4 - 280x10	15800	12	345,1	414,2		
K2.2	4 5 6	5 - 280x10	15800	12	345,1	414,2	17155,7	отб.
K2.3		6 - 300x10	15800	24	369,7	8873,3		отб.
		7 - 280x10	5000	24	109,2	2620,8		вальц.
A31.1 A32.1	7 8 9	8 - 200x10	5330	24	83,1	1994,4	6600,0	вальц.
		9 - 200x10	5300	24	82,7	1984,8		вальц.
A31.2 A32.2	10 11	10 - 280x10	4000	24	109,2	2620,8		вальц.
		11 - 200x10	4000	48	83,1	3988,8	6609,6	вальц.
A31.3 A32.3	12 13	12 - 280x10	4000	24	87,4	2097,6		вальц.
		13 - 200x10	4000	48	87,4	4195,2	6292,8	вальц.
		14 - 100x10	6065	24	47,3	1135,2		
B1	14 15 16	15 - 200x10	6065	24	94,6	2270,4	5584,8	вальц.
		16 - 200x10	5820	24	90,8	2179,2		
		17 - 100x10	3180	24	24,8	595,2		
B2	17 18 19	18 - 200x10	3180	24	49,6	1190,4	2913,6	вальц.
		19 - 200x10	3010	24	47,0	1128,0		
		17 - 100x10	1985	24	15,5	372,0		
B3	17 18 19	18 - 200x10	1985	24	31,0	744,0	1740,0	вальц.
		19 - 200x10	1665	24	26,0	624,0		

Рис. 8. Спецификация на сталь элементов древовидной колонны



#### 4. Заключение

Транспортный вокзальный комплекс, на основе древовидной несущей колонны - это качественно инновационный объект (рис. 9), позволяющий сохранять должный уровень эмоционального состояния человека в «тревожной» транспортной среде. Проектируя здание вокзала, внимание уделялось не только вопросам взаимодействия среды и человека, но и рациональному подбору конструктивных элементов.

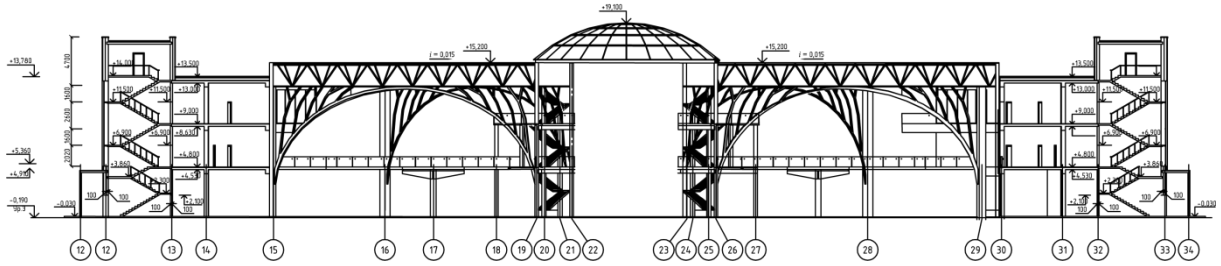


Рис. 9. Здание вокзала

Произведена оптимизация пространственной рамы - модуля (рис. 10), подобраны экономичные сечения элементов. В результате, удалось сформировать и выделить модульную конструкцию древовидной колонны.

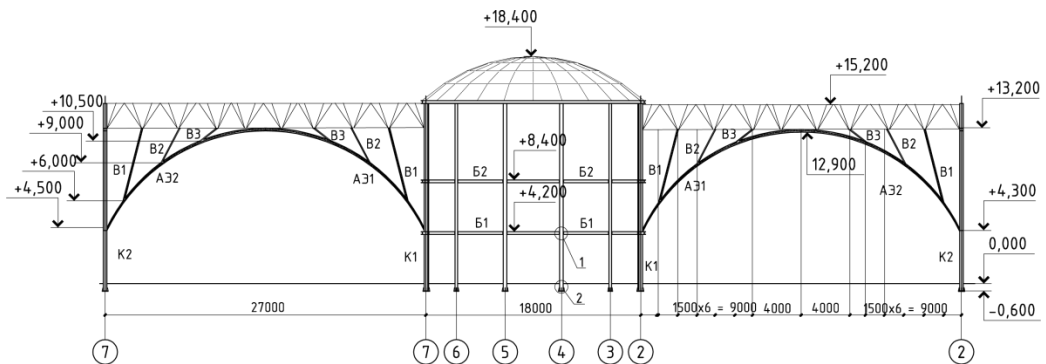


Рис. 10. Центральная часть здания вокзала - модуль

Предполагается, что в дальнейшей проектной работе, получится адаптировать схемы универсального модуля и «древовидной» колонны для множества объектов транспортной инфраструктуры, таких как сооружения перрона, пешеходные переходы и т. п., в единый транспортный комплекс.

## Библиографический список

1. Серебров Б. Ф. Формирование архитектуры автовокзальных комплексов в России: дис. ...канд. арх-ры. Новосибирск – 2003. 250 стр.
2. Мельников Н.П. Металлические конструкции: современное состояние и перспективы развития. – М.: Стройиздат, 2002. – 543 с.
3. Киселев Д.Б. Работа комбинированной арочной системы с учетом геометрической нелинейности и последовательности монтажа: дис. ... канд. техн. наук. М. – 2009. – 183 с.
4. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. - 3-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2004. - 551 с.
5. Хисамов Р.И. Расчет и конструирование структурных покрытий. К.: Будівельник, 2011, 48 с.

## References

1. Serebrov B. F. Formirovaniye arkhitektury avtovokzal'nykh kompleksov v Rossii: dis. ...kand. arkh-ry. [Formation of architecture of bus terminal complexes in Russia: dis. ... Cand. arch-ry]. Novosibirsk – 2003. 250 str.
2. Mel'nikov N.P. Metallicheskiye konstruksii: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Metal constructions: current state and development prospects]. – М.: Stroyizdat, 2002. – 543 s.
3. Kiselev D.B. Rabota kombinirovannoy arochnoy sistemy s uchetom geometricheskoj nelineynosti i posledovatel'nosti montazha: dis. ... kand. tekhn. nauk. [The work of the combined arch system with regard to geometric nonlinearity and the sequence of installation: dis. ... Cand. tech. sciences]. М. – 2009. – 183 s.
4. Metallicheskiye konstruksii. V 3 t. T. 1. Elementy konstruksiy: Ucheb. dlya stroit. Vuzov [Metal structures. In 3 t. T. 1. Elements of structures: Proc. for builds universities]. V.V. Gorev, B.YU. Uvarov, V.V. Filippov i dr.; Pod red. V.V. Goreva. - 3-ye izd., ster. - М.: Vyssh. shk., 2004. - 551 s.
5. Khisamov R.I. Raschet i konstruirovaniye strukturnykh pokrytiy [Calculation and design of structural coatings]. К.: Budível'nik, 2011, 48 s.

## Об авторах

**Лузенина Ирина Борисовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры “Строительные конструкции и строительное производство”, e-mail: [ibluzenina@mail.ru](mailto:ibluzenina@mail.ru)  
**Чистякова Юлия Владимировна** – магистрант Строительного факультета, e-mail: [lilu\\_202@mail.ru](mailto:lilu_202@mail.ru)

## About the authors

**Irina B. Luzenina** – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Building Structures and Building Industry, e-mail: [ibluzenina@mail.ru](mailto:ibluzenina@mail.ru)  
**Yuliua V. Chistyakova** – Undergraduate student (master) at the Building Faculty, e-mail: [lilu\\_202@mail.ru](mailto:lilu_202@mail.ru)