

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 69.024.4

DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.1

**В.Ю. АЛПАТОВ**  
**А.В. СОЛОВЬЁВ**

### ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РЕШЕТЧАТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

EXPERIMENTAL DESIGN OF A SPATIAL LATTICE METAL STRUCTURE FOR COVERING  
AN INDUSTRIAL BUILDING

*Представлена информация о разработке пространственно-стержневой конструкции покрытия. Предложена металлическая пространственная решетчатая конструкция, собираемая из уголковых профилей с применением листовых фасонки в узлах. Были выполнены опытно-конструкторские и опытно-экспериментальные работы для доказательства её надежности и безопасности. Предложенная конструкция покрытия была запроектирована, изготовлена и применена в качестве покрытия производственного здания. После монтажа кровли были выполнены экспериментальные испытания конструкции расчетной нагрузкой. Нагрузка моделировалась путем загрузки покрытия мешками с песком. При проведении испытаний проводились измерения прогиба конструкции и напряжений в наиболее ответственных стержнях. Результаты измерений показали соответствие расчетным прогнозам.*

**Ключевые слова:** эксперимент, проект, пространственная конструкция, решетчатая конструкция, металлическая конструкция, опытно-конструкторская разработка, опытно-экспериментальное проектирование

*The article presents information on the development of a new technical solution for the spatially-barrel construction of the covering. The authors propose a metal three-dimensional lattice construction, assembled from corner sections using sheet shapes in knots. On the proposed solution the authors obtained a patent. To prove the validity of the previously stated assumptions about the properties of the future design, namely its reliability and safety, the authors carried out experimental design work. The proposed coating design was designed, manufactured and applied as a covering for a production building. After the installation of the roof experimental design tests were carried out by design load. The load was simulated by loading the cover with sandbags. During the tests the stresses were measured in the most important rods. The results of the measurements showed compliance with the calculated forecasts.*

**Keywords:** experiment, project, spatial structure, lattice structure, metal structure, design and experimental work, experimental design

Новые технические решения в области строительных конструкций – от стадии идеи до стадии внедрения в массовое строительство – проходят несколько этапов:

1. Разработка идеи. На данном этапе, как правило, прорабатывается идея, т.е. это стадия осознания «*noу хау*», изобретения, полезной модели и т.п.
2. Защита нового технического решения. Это этап доказательства новизны, доказательства преимуществ предложенного решения по отношению к известным аналогам. На данном этапе важно закрепить свое право на предложенное техническое решение, т.е. произвести защиту интеллектуальной собственности.

3. Моделирование и оптимизация предложенного технического решения. На этом этапе следует уделить внимание таким вопросам, как: надежность, безопасность, долговечность, технологичность, экономичность и техническая реализуемость предложенного решения. Это этап глубокой теоретической проработки, этап экспериментального моделирования (натурного и виртуального), этап поиска наилучших параметров объекта по заранее принятым критериям. В результате прохождения данного этапа рождается понимание о всех важных особенностях будущей строительной конструкции, о требуемых технологии и оборудовании для ее изготовления, о ее технико-экономических показателях.

4. Опытнo-экспериментальное проектирование или опытнo-конструкторская разработка. Это важный этап для доказательства верности ранее высказанных предположений о свойствах будущей конструкции. На данном этапе идея и модель превращаются сначала в проектную документацию, а затем в реальный физический объект. Для массового внедрения полученная конструкция должна быть проверена на надежность и безопасность в реальных условиях эксплуатации. При условии положительного прохождения этого этапа предложенная разработка может быть рекомендована к массовому применению.

Представленный алгоритм разработки новой строительной конструкции может дополняться другими этапами, например, разработкой типовой проектной документации, серийным изготовлением и пр. С другой стороны, какие-то этапы могут быть пропущены или частично сокращены, например, оптимизация технического решения или защита интеллектуальной собственности. Однако этап опытнo-экспериментальной проработки нового технического решения строительной конструкции, как правило, присутствует всегда.

Авторами ранее были проведены работы по получению патента на новое техническое решение металлической пространственной решетчатой конструкции покрытия, собираемой из уголкового профиля с применением листовых фасонок в узлах [1]. Позже были выполнены работы по моделированию [2, 3] и оптимизации запатентованного решения [4]. В настоящей статье авторы представляют информацию о дальнейшем развитии своей идеи – о выполнении опытнo-экспериментальных и конструкторских работ.

Запатентованное конструктивное решение пространственного металлического покрытия было применено авторами на производственном корпусе одного из промышленных предприятий Самарской области. Авторами был разработан проект нового цеха для расширения существующих производственных мощностей предприятия (рис. 1). Новое здание было запроектировано с металлическим несущим каркасом, а в качестве покрытия была применена авторская пространственная конструкция (рис. 2, 3).

По заданию новое здание нужно было разместить близко к существующему (цех №4 на рис. 1, 2).

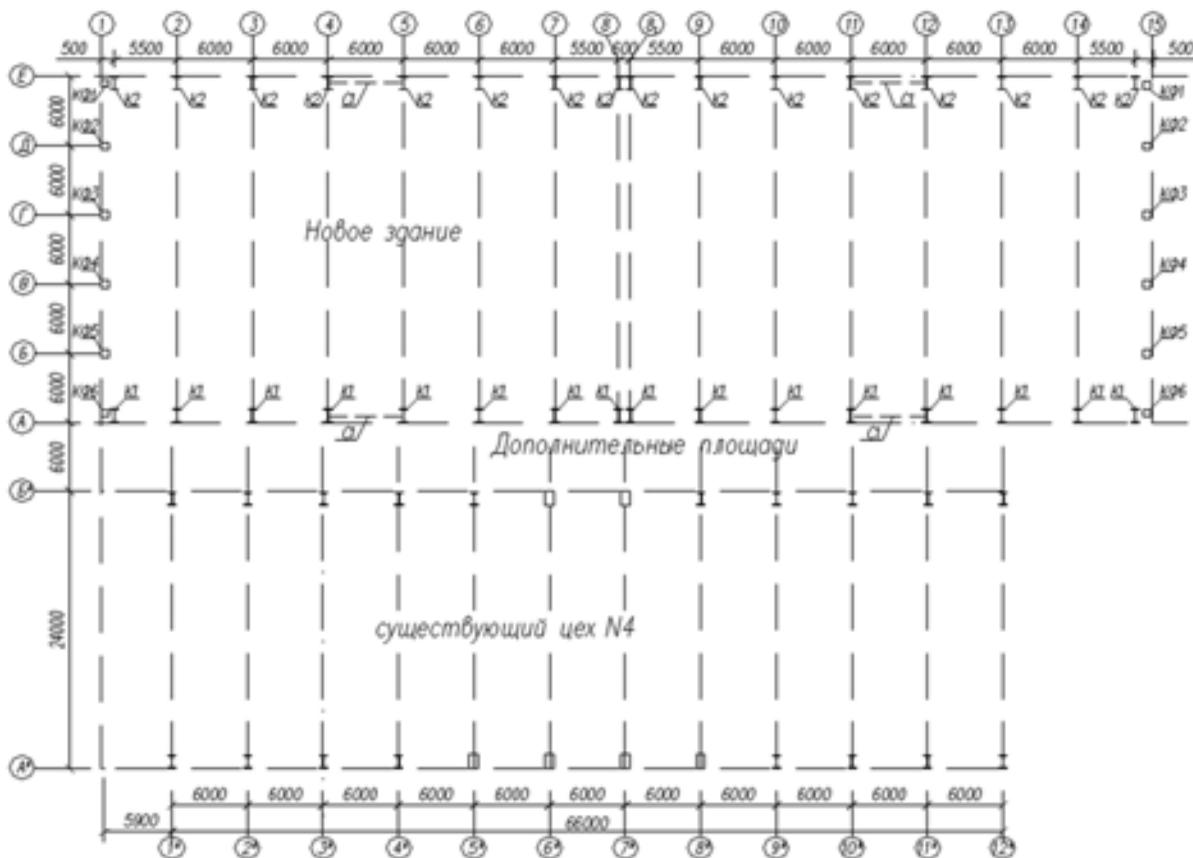


Рис. 1. План здания

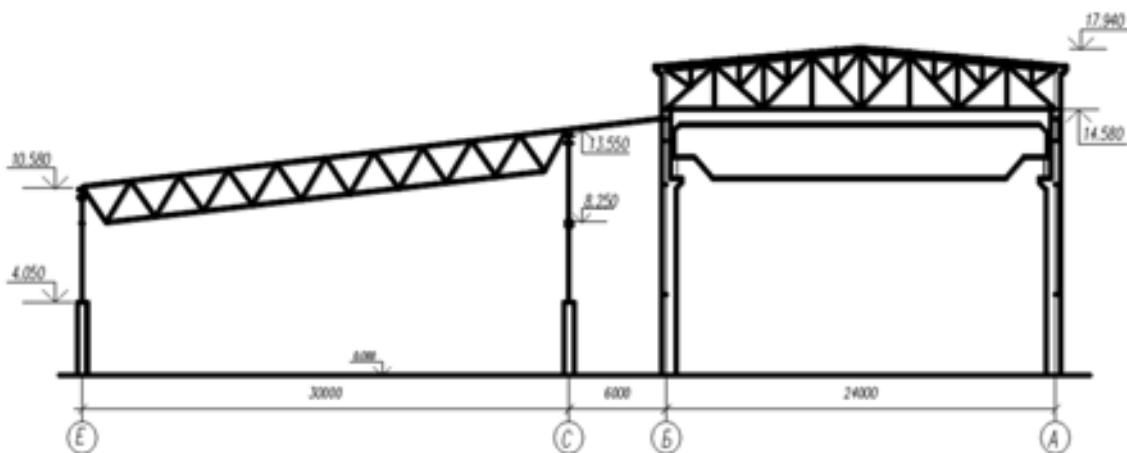


Рис. 2. Поперечный разрез здания



Рис. 3. Монтаж пространственной конструкции покрытия

Вновь возводимое здание должно быть построено на расстоянии 6 м от существующего производственного цеха.

Во избежание периодического подтопления межцехового пространства в осенне-весенний период, образования значительных снеговых заносов в зимний период и получения дополнительных производственных площадей было принято решение перекрыть вновь образуемое межцеховое пространство. Такое решение, вследствие наличия разности высот существующего и возводимого здания (см. рис. 2), потребовало учесть возможность образования снегового мешка на покрытии в зимний период.

Для уменьшения снегового мешка покрытие вновь возводимого здания выполнено односкатным с уклоном в сторону от существующего здания.

Авторами были проведены опытно-конструкторские работы, в результате которых был представлен проект марок КМ (конструкции металлические) и КМД (конструкции металлические деталированные); запроектировано здание размерами 30×84 м<sup>2</sup> с металлическим каркасом, состоящим из колонн, связей между колоннами и пространственного структурного покрытия; осуществлен проект реконструкции покрытия и стенового ограждения здания производственного цеха размерами 24×66 м<sup>2</sup>, име-

ющего высоту 17,94 м; выполнено перекрытие пространства между указанными зданиями (см. рис. 1).

Покрытие нового цеха запроектировано в виде плоской структурной плиты из прокатных уголков. Согласно проекту, покрытие собирается из крупноразмерных пространственных блоков, которые, в свою очередь, собираются путем объединения плоских наклонных ферм. Сборка блоков осуществляется на земле, после чего блоки устанавливают в проектное положение при помощи крана.

Одной из отличительных особенностей проектирования покрытия нового здания явилось применение методов оптимального проектирования конструкций. Структурная конструкция покрытия была оптимизирована при помощи созданного авторами программного комплекса «Поиск оптимальной формы структурных конструкций». Этот комплекс объединяет в единый расчетный аппарат проектирования программу поиска оптимальной формы структурных конструкций, разработанную на ка-

федре металлических и деревянных конструкций Самарского государственного технического университета (МДК СамГТУ), известный расчетный комплекс «Мираж» (НИИАСС, Киев) и разработанный ранее на кафедре МДК СамГТУ комплекс по оптимальному подбору сечений.

Другой отличительной особенностью проектирования конструкций нового здания явилось применение современных программных средств структурного анализа систем методом конечного элемента при проектировании узлового соединения структурной конструкции. Анализ напряженно-деформированного состояния узлового соединения произведен при помощи известных расчетных комплексов: «Лира» (НИИАСС, Киев), Cosmos/Works (Structural Research & Analysis Corp., Los Angeles), ANSYS Design Space 6.0.1 (ANSYS, USA). Расчетная модель узла, геометрия которого создана средствами известного комплекса твердотельного моделирования Solid Works (Solid Works Corp. U.S.), представлена на рис. 4.

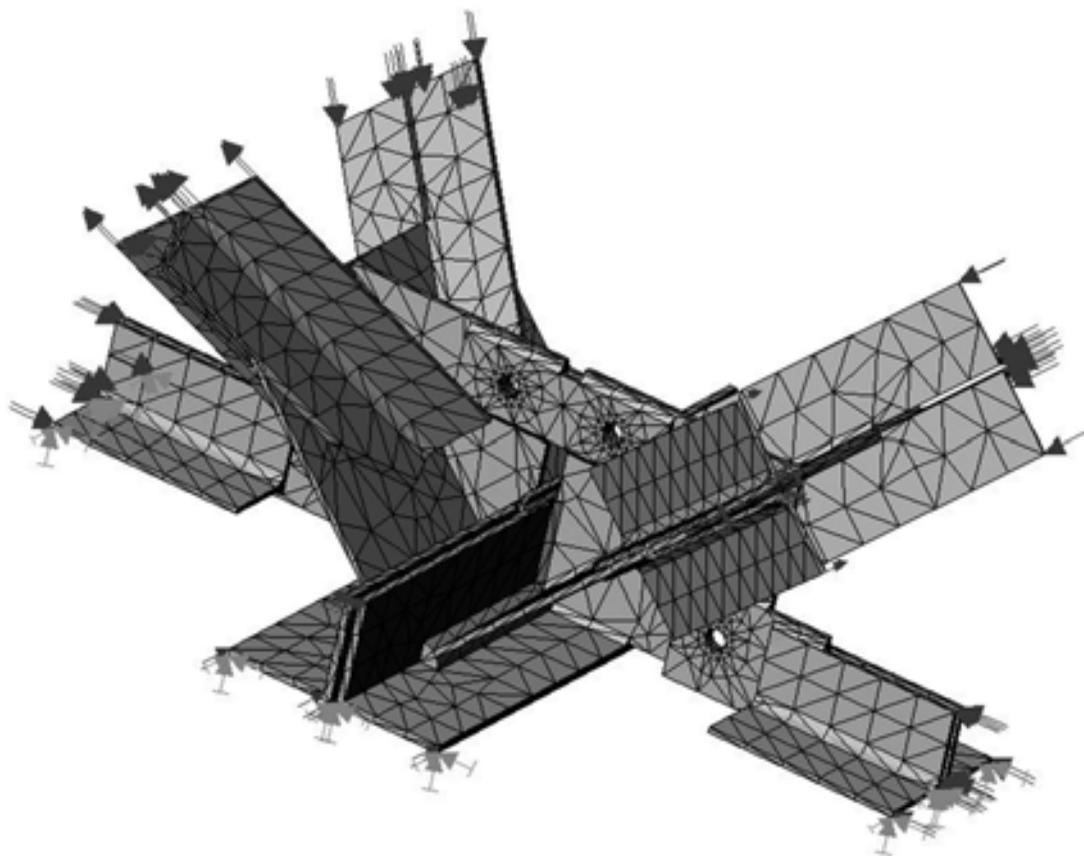


Рис. 4. Расчетная модель узла пространственной конструкции

Запроектированная конструкция покрытия была изготовлена и смонтирована на указанном объекте. Авторы вели наблюдения за ее поведением в течение двух лет. Изначально надзор осуществлялся постоянно в течение двух месяцев, затем периодически

ски. После монтажа кровли по рекомендации авторов было выполнено экспериментальное испытание конструкции расчетной нагрузкой. Нагрузка моделировалась путем загрузки покрытия мешками с песком. Во время испытаний проводились измере-

ния прогиба конструкции и напряжений в наиболее ответственных стержнях. Результаты измерений показали соответствие расчетным прогнозам.

**Выводы.** Применение пространственных стержневых систем для покрытия большепролетных зданий промышленного и общественного назначения имеет множество преимуществ перед традиционными решениями покрытий [5–9]. Пространственная работа такого покрытия при условии его рационального (оптимального) проектирования позволяет снизить общий расход материала на конструкции покрытия. Монтаж такой конструкции происходит значительно быстрее, чем покрытия с применением плоских ферм, что позволяет сократить общий срок строительства здания или сооружения. Жесткость несущего каркаса здания обеспечивается пространственной работой всего покрытия и не требует установки дополнительных связей жесткости в покрытии. Опыт применения пространственных решетчатых конструкций в качестве покрытий зданий больших пролетов говорит об их надежности и рациональности их применения [10].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент на полезную модель 7 Е 04 В 7/00. Патент на полезную модель №33381 / Алпатов В.Ю., Холопов И.С. М., 2003. Бюл. №29.
2. Алпатов В.Ю., Холопов И.С. Использование различных САПР при моделировании работы узлового соединения пространственной решетчатой конструкции // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции / СамГАСА. Самара, 2002. С. 186–192.
3. Алпатов В.Ю. Стержневая структурная конструкция из крупноразмерных элементов // Строй-инфо. Информационный бюллетень. 2003. №4 (196). С. 16–19.
4. Алпатов В.Ю., Холопов И.С. Численно-экспериментальные исследования узлов пространственной структурной конструкции // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство» Российской инженерной академии. Вып.6 / Изд-во Российской инженерной академии. М., 2005. С. 184–186.
5. Клячин А.З. Пространственные стержневые металлические конструкции регулярной структуры. Екатеринбург: Диамант, 1995. 276 с.
6. Клячин А.З. Исследование структурных конструкций из пирамид с фланцевыми узловыми сопряжениями // Строительство и архитектура. 1991. № 7. С. 14–18.
7. Беляев В.Ф. Стальные каркасные конструкции одноэтажных производственных зданий. М.: ВНИИТПИ, 1989. 82 с.
8. Проектирование металлических конструкций / В.В. Бирюлев [и др]. Л.: Стройиздат, 1990. 432 с.
9. Металлические конструкции: в 3 т. Т. 2 / В. В. Горев [и др.]. М.: Высш. шк., 2002. 424 с.
10. Холопов И.С., Алпатов В.Ю., Мочальников В.Н., Моисеев Н.Н., Вещин В.Ю. Опыт применения пространственных стержневых металлических конструкций типа структур в строительстве // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции / СамГАСА. Самара, 2002. С. 199–206.

Об авторах:

#### АЛПАТОВ Вадим Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: avu75@mail.ru

#### ALPATOV Vadim Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Technology and Building Organization Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: avu75@mail.ru

#### СОЛОВЬЁВ Алексей Витальевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: savsmr@rambler.ru

#### SOLOVYOV Alexey V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Metal and Wooden Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: savsmr@rambler.ru

Для цитирования: Алпатов В.Ю., Соловьёв А.В. Опыт экспериментального проектирования пространственной решетчатой металлической конструкции для покрытия промышленного здания // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №4. С. 4–8. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.1.

For citation: Alpatov V.Yu., Soloviyov A.V. Experimental design of a spatial lattice metal structure for covering an industrial building // Urban construction and architecture. 2017. V.7, 4. Pp. 4–8. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.1.