

DOI: 10.12737/article\_5c73fc224c5338.00189018

<sup>1</sup>Тумасов А.А., <sup>1,\*</sup>Царитова Н.Г.<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова  
Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

\*E-mail: ncaritova@yandex.ru

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ В АРХИТЕКТУРЕ ИЗ ПЛОСКИХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

**Аннотация.** Вопросы процесса формирования новых технологических приемов возведения зданий и сооружений, отличающихся высокой степенью индустриализации строительства и унификации элементов, приводят к изучению различных принципов образования объемно-пространственной структуры объекта из плоских разверток. Авторами рассмотрены вопросы образования объемно-пространственных объектов из плоских кинематических структур (ПКС). Выполнен анализ и систематизация объемно-пространственной формы из ПКС: трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур, трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок, трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру. Авторами приведены основные конструктивные схемы ПКС: панельная – где основными элементами являются несущие панели; стержневая – которая состоит из стержней, шарнирно соединенных концами; панельно-стержневая – комбинация несущих панелей и стержней и звездчато-стержневая – модульным элементом является трехлучевая звездчатая конструкция. Все рассмотренные схемы ПКС имеют различие в конструктивном решении, что приводит к особенностям изготовления, транспортировки, сборки и монтажа конструкций на строительной площадке. Рассматриваемые вопросы дают широкий выбор средств в решении архитектурных, конструктивных и технологических факторов формообразования, что способствует развитию творческой деятельности. Разработкой одной из стержневых конструктивных систем занимаются авторы данной статьи. Выбранный тип стержневых конструкций на основе плоской и пространственной триангуляционной сетки дает формообразующие возможности для организаций различных форм и очертаний. Показан новый вид узлового шарнирного соединения. На основе получаемой арочной трансформируемой стержневой системы можно формировать пространства близкие к цилиндрической и сферической форме.

**Ключевые слова:** плоские кинематические структуры (ПКС), объемно-пространственные формы, трансформация, поверхности, геометрическая закономерность, стержневая конструкция.

**Введение.** Вопросы развития новых технологических приемов возведения зданий и сооружений, отличающихся высокой степенью индустриализации строительства и унификации элементов, приводят к исследованию различных принципов образования объемно-пространственной структуры объекта из плоских разверток. В область исследований включены различные геометрические поверхности, способные развертываться на плоскости, то есть имеющие плоский раскрой на основе паркетирования. При этом под «паркетированием» следует понимать разбивку плоскости или поверхности на правильные или полуправильные плоские фигуры, между которыми необходима шарнирная связь, чтобы вся плоскость представляла гибкую систему [1].

**Методология.** Большое значение для получения различных пространственных форм из плоских кинематических структур (ПКС) имеет выбор опорной решетки [2]. Чем больше осей симметрии имеет решетка, тем больше ее комбинаторные возможности, связанные с получением объемных форм на основе преобразований симметрии (отражение, перенос, поворот).

При анализе закономерностей образования объемно-пространственной формы из ПКС, в работе приведена их систематизация на три основных вида:

1. Трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур.
2. Трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок.
3. Трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру.

Следует отметить, что на основе одной геометрической разрезки плоскости возможны два основных решения конструктивных схем – панельная и стержневая. Панельная предполагает, что ПКС состоит из плоских панелей шарнирно соединенных по сторонам, а форма панели соответствует многоугольной фигуре, получаемой в результате разрезки плоскости. Стержневая – ПКС состоит из стержней, шарнирно соединенных концами, длина которых соответствует длине сторон многоугольника плоской фигуры, а шарниры располагаются в вершинах этих фигур.

**Основная часть.** Рассмотрим первый вид – трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур (рис. 1).

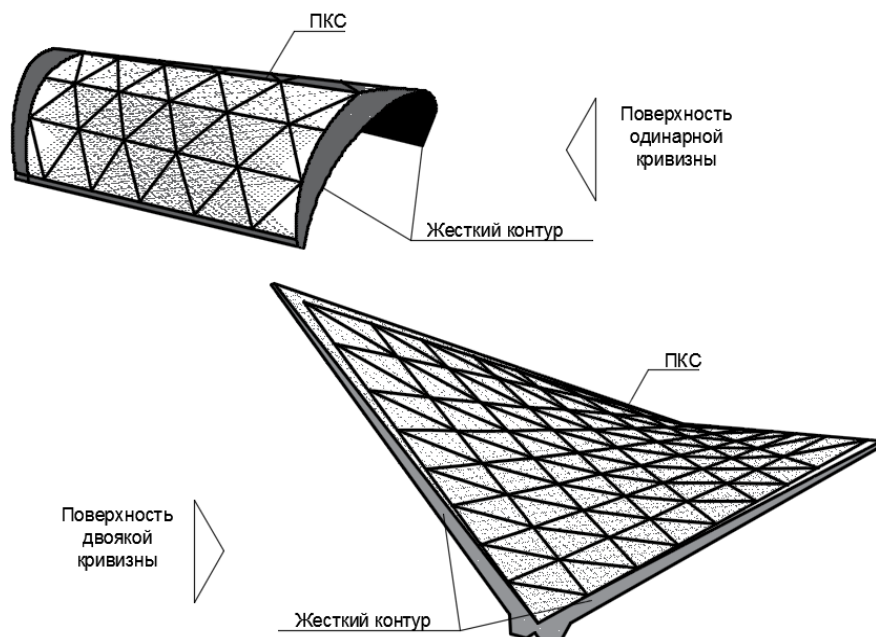


Рис. 1. Трансформация ПКС изгибом поверхности с закреплением на жесткий контур

Трансформацию изгиба в одном направлении технологически возможно производить за счет собственного веса конструкций (гравитационная трансформация). Стабилизация получаемых поверхностей возможна лишь закреплением ПКС на жесткий контур, геометрия которого соответствует направляющим кривым и прямым образующим поверхность.

С опиранием на жесткий контур из ПКС возможно получение поверхностей двойкой кривизны, способных разворачиваться на плоскости [3, 4]. К таким поверхностям относятся гиперболический параболоид.

Второй вид – трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок (рис. 2), преследует две цели:

а) за счет образования складок добиться необходимой геометрии пространственной поверхности;

б) за счет складок создать пространственную жесткость поверхности. В пространственных складчатых поверхностях ярко проявляется тектоническая связь формы и характера статической работы конструкции, имеющая многочисленные аналоги в природе.

Складчатые поверхности одинарной кривизны представляют собой изогнутую ПКС с вершинами, выведенными из плоскости аппроксимированной кривой. Это различные торсовые поверхности (цилиндрическая, коническая), ис-

пользующие для разрезки ПКС правильные и полуправильные плоские триангуляционные решетки [5, 6].

Изгибом поверхности ПКС и образованием складок возможно получить различные геометрические поверхности двойкой кривизны. Большой интерес представляет образование складчатой сферической поверхности из плоской развертки. При этом за исходные используются известные кристаллографические разрезки сферы [7]. Для создания складчатой оболочки из ПКС, имеющей шарнирные связи, необходимо решать вопросы геометрической стабилизации поверхности фиксацией положения граней относительно друг друга. Эти вопросы решаются на основе анализа геометрической неизменяемости трансформируемой системы.

Третий вид – трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру, особенность оболочек, получаемых таким способом заключается в том, что ее пространственная жесткость обеспечивается созданием криволинейной поверхности при замыкании развертки по контуру. При этом, необходимым условием замыкания является равенство элементов (сторон многоугольных фигур паркета), соединяемых в местах замыкания развертки.

Наиболее изучены оболочки в виде правильных и полуправильных многогранников, образование которых возможно из разверток ПКС [8].

Выше были рассмотрены геометрические закономерности образования пространственной формы из ПКС; связанные с ее изгибом и образованием складок на контуре. Далее рассмотрим конструктивные схемы ПКС, позволяющие осуществлять технологические операции трансформации и обеспечить эксплуатационную надежность образованной пространственной формы.

Возможно применение многих известных конструктивных схем, характеризующихся основными модульными конструктивными элементами и принципами их соединения (панельная, стержневая, панельно-стержневая, звездчато-стержневая и т.д.). Рассмотрим основные конструктивные схемы, на принципах которых возможно конструирование и других.

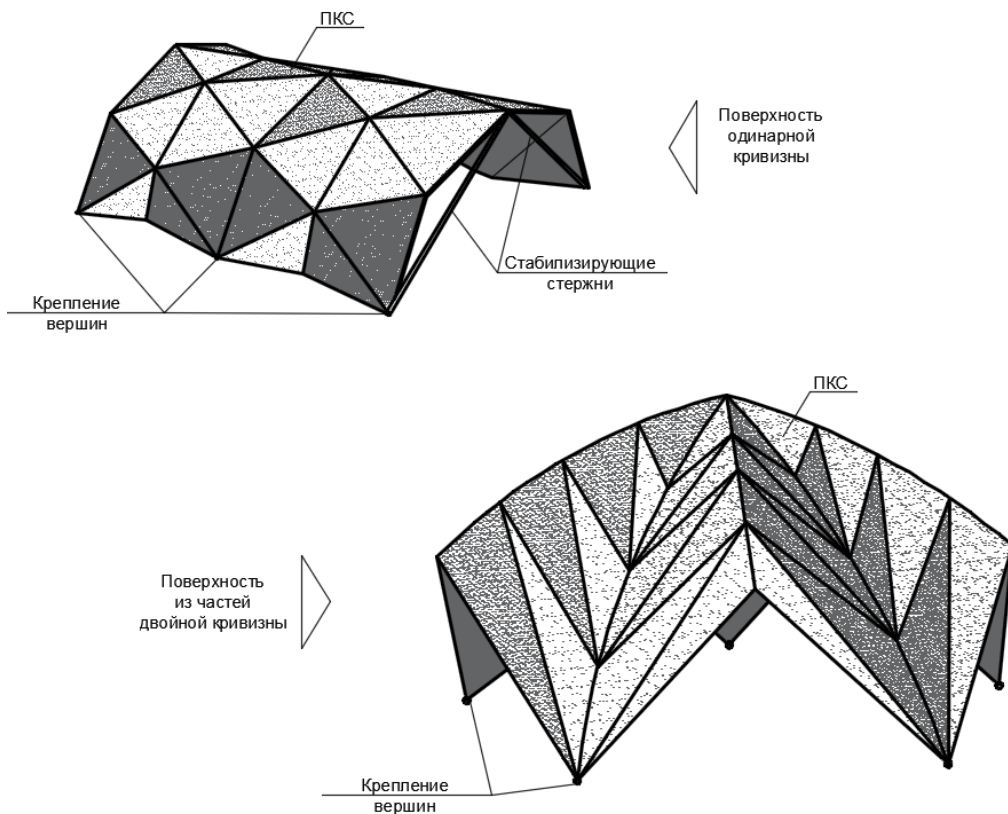


Рис. 2. Трансформация ПКС изгибом поверхности с образованием складок

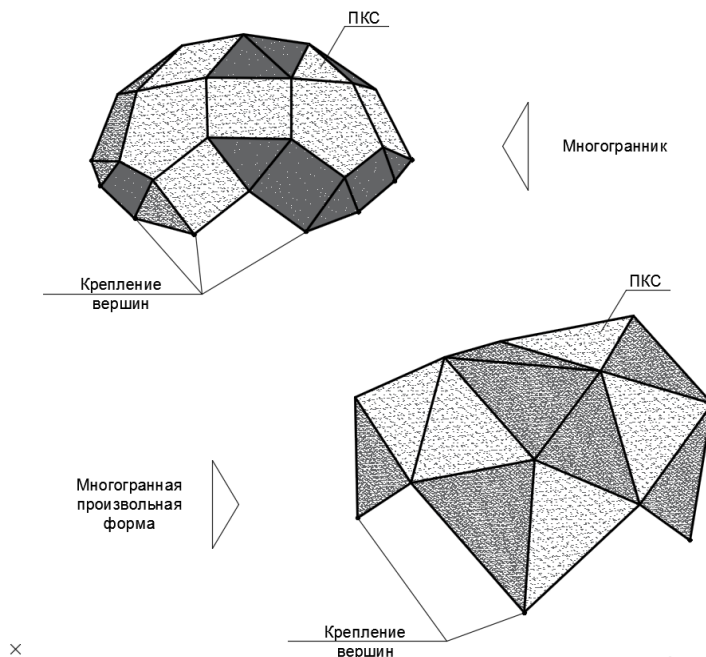


Рис. 3. Трансформация ПКС изгибом поверхности с замыканием развертки по контуру

Первая – это панельная, основными элементами которой являются несущие панели в виде равносторонних треугольников одного типоразмера. ПКС данного вида состоит из треугольных равносторонних панелей, гибкая связь между которыми осуществляется по сторонам с помощью цилиндрических шарниров (рис. 4).

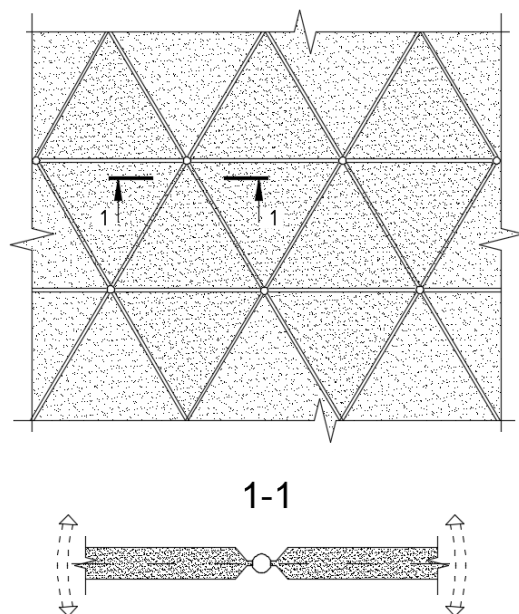


Рис. 4. Панельная конструктивная схема

В процессе трансформации такой системы происходят лишь взаимные повороты панелей относительно общей оси, при этом вся ПКС получает возможность более сложных технологических преобразований (повороты, переносы). Конгруэнтность сборных элементов, унификация их соединения, позволяет собирать различные развертки, а, следовательно, возводить различные по размерам и форме пространственные образования. В полученной оболочке панели одновременно выполняют и несущую и ограждающую функцию. Комбинаторные возможности предлагаемого метода образования пространственной формы на основе номенклатуры панелей одного типоразмера, дает достаточные возможности гибкого решения композиционно-пластических задач в пространственно-временной организации функциональной среды.

Вторая – это стержневая конструктивная система [9]. Геометрическим элементом структурирования является отрезок прямой, который в конструкции ПКС представляет собой стержневой элемент одной длины (рис. 5). Связи конструктивных элементов осуществляется шарнирным соединением по концам. В силу того, что все стержневые элементы и шарниры, соединяющие их, выполняются унифицированными, возможен

монтаж разверток различных очертаний и размеров, а, следовательно, и соответствующим им пространственных форм. Все это дает большие комбинационные возможности в решении функциональных и эстетических задач формирования архитектурной среды.

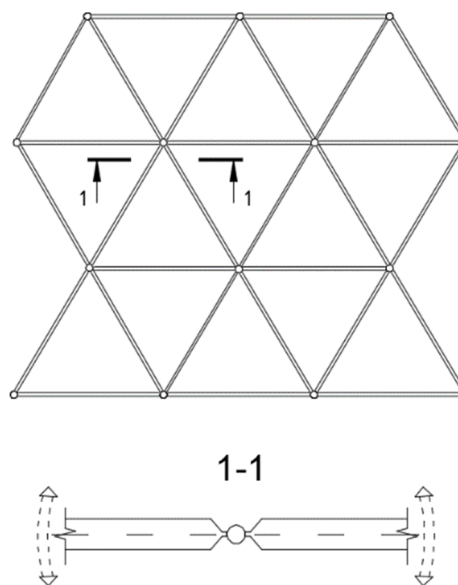


Рис. 5. Стержневая конструктивная схема

Процесс трансформации ПКС происходит за счет поворотов стержней относительно оси, проходящей через центр соединения и лежащей в одной плоскости со стержнями. В местах вырезов на контуре, узле сходятся не шесть, как везде, а пять стержней. На плоскости ориентация стержней в этом узле соответствует триангуляционной решетке. Поэтому четыре плоских угла между стержнями по  $60^\circ$ , а один сдвоенный –  $120^\circ$ . При трансформации ПКС этот узел становится вершиной пятигранной пирамиды, проекция углов при вершине которой на плоскость основания пирамиды по  $72^\circ$ . Следовательно, все стержни в этом узле должны совершать еще поворот в плоскости ПКС относительно оси нормальной этой плоскости и проходящей через центр соединения.

В стержневой конструктивной схеме дифференцируются функции несущего остова и ограждения. Рассмотренная нами трансформируемая система из стержней с шарнирами по концам, образует остов или каркас пространственной формы. Ограждение может быть выполнено из навесных панелей в форме равностороннего треугольника или гибких рулонных материалов. Технологическая возможность осуществлять процесс архитектурного формообразования и конструирования жесткой системы одновременно, использование для получения различных

форм одних и тех же унифицированных элементов, позволяет считать данную конструктивную схему функционально гибкой и высокоиндустриальной.

Третья конструктивная схема – это панельно-стержневая, состоит комбинации несущих панелей и стержней, шарнирное соединение которых осуществляется в узлах структуры (рис. 6).

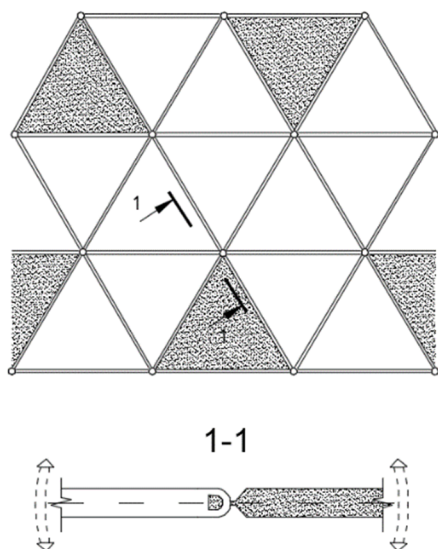


Рис. 6. Панельно-стержневая конструктивная схема

Данная конструктивно-тектоническая интерпретация ПКС триангуляционного вида дает дополнительные возможности пластического развития пространственной формы [10], основанного на использовании таких композиционных средств, как метр и ритм, контраст и нюанс, масштабность членений.

Четвертая конструктивная схема – это звездчато-стержневая, использует известные принципы соединения стержневой схемы, только вместо стержней, модульным элементом является трехлучевая звездчатая конструкция (рис. 7). Шарнирным соединением звездчатых элементов по концам, образуется ПСК, служащая каркасом будущей пространственной формы.

Получаемая форма имеет новое пластическое решение ввиду того, что элементами ее членения являются панели в форме равнобедренных треугольников с углами  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $120^\circ$  и попарно соединенных шарнирами по длинным сторонам.

Разработкой одной из таких стержневых конструктивных систем занимаются авторы данной статьи. Выбранный тип стержневых конструкций на основе плоской и пространственной триангуляционной сетки дает формообразующие возможности для организаций зальных пространств от малых до больших пролетов, различных форм и очертаний [1]. Стержни соединенные

между собой шарниром (рис. 8), выполненным как продуктивный аналог бионического подвижного соединения [11], представляют собой в однослойном исполнении гибкую триангуляционную сетку, а в двухслойном пространственном исполнении – жесткую структурную плиту [9]. Изгиб и, таким образом, трансформация двухслойной жесткой структурной плиты возможна за счет изменения длины продольных стержней нижнего пояса.

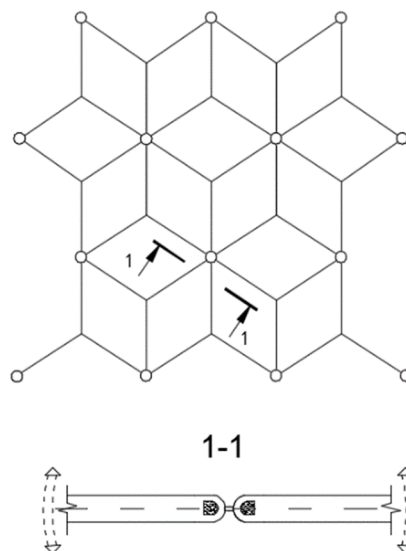


Рис. 7. Звездчато-стержневая конструктивная схема

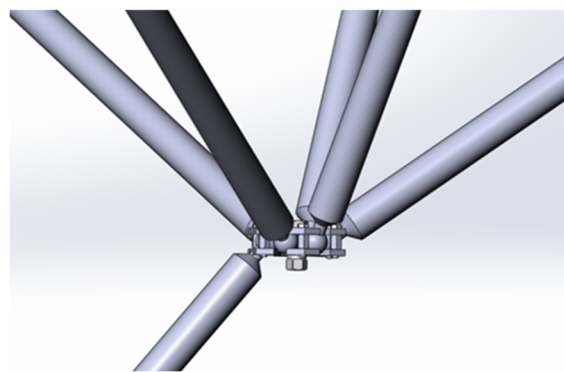


Рис. 8. Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции

В настоящей работе рассматриваются формообразующие возможности продольного линейного фрагмента двухслойной стержневой плиты, представляющего собой арку, полученную в результате трансформации стержневой пространственной балки (рис. 9) за счет уменьшения длины продольных стержней нижнего пояса.

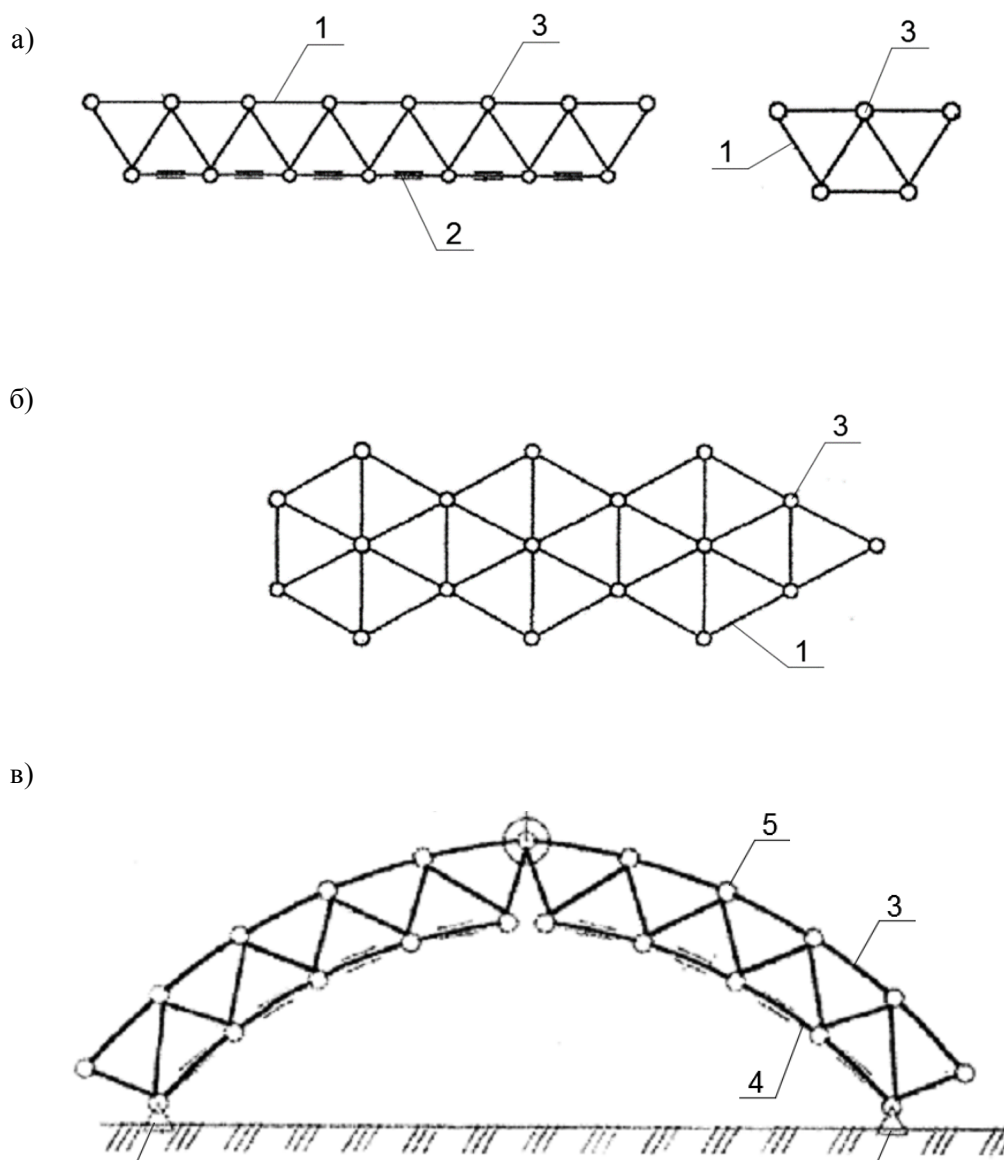


Рис. 9. Линейная стержневая конструкция «БАЛКА-АРКА»: а – вид сбоку балки; б – вид сверху балки; в – вид сбоку полученной в результате изменения длины нижних стержней арки. 1 – стержень, 2 – стержень изменяемой длины, 3 – шарнир

На основе получаемой арочной трансформируемой стержневой системы можно формировать пространства близкие к цилиндрической и сферической форме. Пространственную жесткость каркасов таких зданий помимо самих стержневых арок обеспечивают связи между ними (рис. 10, а). Сама арка формируется из двух полуарок, в соединении представляющие трех-шарнирную или приведенную двух-шарнирную кинематические системы. Формообразующие возможности пространственной трансформируемой АКС использованы для экспериментального проектирования зданий для спортивно-оздоровительной базы «Дон». Цилиндрическая форма использована для организации пространства игрового зала

с универсальной площадкой размерами  $36 \times 18$  м. Здание имеет внутренний пролет размером 30,44 м, длину – 58,4 м, высоту цоколя – 0,5 м, высоту – 14,7 м. Кроме игровой площадки в здании размещается двухэтажная часть; где запроектированы две лестничные клетки, помещения вестибюльной группы, раздевалки с душевыми и туалетами, тренерские помещения, технические помещения. Каркас собран из 7 арочных систем, где использовались стержни длиной 2,8 м как и в здании столовой. В качестве ограждающих конструкций используются треугольные, прямоугольные и трапециевидные сэндвич-панели, а так же окна аналогичных форм (рис. 10, б).

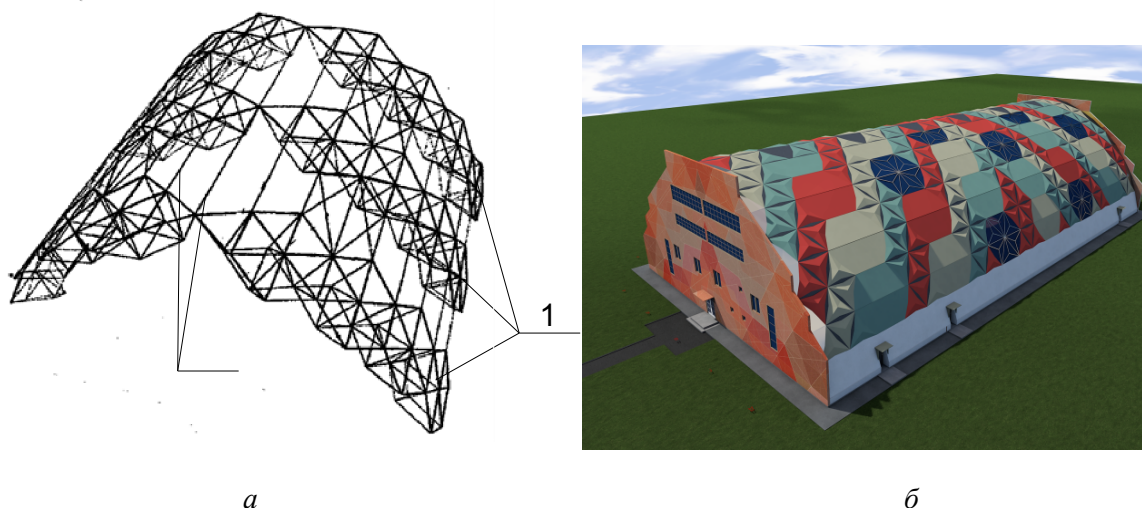


Рис. 10. Каркас здания из стержневых арок:

*а* – цилиндрическая, *б* – проектное предложение спортивного зала с игровой площадкой 36×20 м.;  
1 – стержневая арка, 2 – стержневые связи

**Выводы.** Все описанные основные конструктивные схемы ПСК используют одни и те же закономерности геометрического формообразования. Различие в конструктивном их решении сказывается на особенностях технологических операций сборки и стабилизации формы. Например, стержневая ПКС может, при приведении ее в транспортное положение, трансформироваться в плотно упакованный пакет. Для этого необходимо отсоединение некоторых концов стержней от шарнирного узла.

Возможность конструктивно-тектонических комбинаций в процессе пространственно-временной организации среды дает широкий диапазон средств в решении образных задач, способствует развитию творческой деятельности [10].

Изменяемость геометрических параметров зданий и их форм на основе одного набора конструкций, малотрудоемкий процесс монтажа с использованием принципов самовозведения, дают предпосылки для новых исследований в области совершенствования данного типа трансформируемой архитектурно-конструктивной системы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тумасов А.А. Архитектурно-композиционные возможности плоских кинематических структур. Архитектурная бионика. Проблемы теории и практики: Сб. ст. М., 1986. С. 63–67.
2. Волков А.И. Паркетирование торсового покрытия оболочки. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1963. С.21–24.

3. Волков А.И. Геометрическая классификация покрытий типа оболочек и складок. В сб. науч. тр.: Вопросы начертательной геометрии и ее приложения. Харьков, 1961. С. 189–191.

4. Колейчук В.Ф., Лебедев Ю.С. Новые архитектурно-конструктивные структуры. М.: Стройиздат, 1978. 64 с.

5. Рюле Г. Пространственные покрытия (конструкции и методы возведения). Том II. Металл, пластмассы, керамика, дерево. М.: Стройиздат, 1974

6. Таиров В.Д. Сетчатые пространственные конструкции. И: Будивельник, 1966. 74 с.

7. Волков А.И. Тектоника структурных пространств с направляющими поверхностями. Техническая эстетика. 1979. № 3. С.14–15.

8. Веннинджер М. Модели многогранников. М.: Мир, 1974. 234 с.

9. Тумасов А.А., Царитова Н.Г. Трансформируемые пространственные стержневые конструкции покрытий // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №12-3(54). С. 190–194.

10. Тумасов А.А., Царитова Н.Г., Курбанов А.И., Калинина А.А. Геометрические параметры стержневых трансформируемых арочных систем // Строительство и архитектура. 2017. Т.5. №2(15). С. 135–140.

11. Царитова Н.Г., Бузало Н.А. Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры: пат. 2586351 РФ: МПКЕ4В 1/58/

Информация об авторах

**Тумасов Александр Анатольевич**, кандидат архитектуры, профессор кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение». Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

**Царитова Надежда Геннадьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение». E-mail: ncaritova@yandex.ru. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Поступила в июле 2018 г.

© Тумасов А.А., Царитова Н.Г., 2019

<sup>1</sup>**Tumasov A.A., <sup>1,\*</sup>Tsaritova N.G.**

<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)  
Russia, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, Str. Prosveschenia, 132  
\*E-mail: ncaritova@yandex.ru

## GEOMETRIC PATTERNS OF VOLUMETRIC AND SPATIAL FORMS IN ARCHITECTURE OF FLAT KINEMATIC STRUCTURES

**Abstract.** *Issues of new technological methods formation for the construction of buildings and structures, characterized by a high degree of construction industrialization and unification of elements lead to the study of various principles of formation the volume-spatial structure of an object with flat reamer. Authors consider the formation of volumetric and spatial objects of flat kinematic structures (FKS). The analysis and systematization of the volume-spatial form of FKS is carried out: transformation of FKS by bending the surface with fastening to a rigid contour, transformation of FKS by bending the surface with formation of folds, transformation of FKS by bending the surface with closure of reamer around the contour. Authors present the basic design schemes of the FKS: the panel- the main elements are the bearing panels; the rod- consists of rods pivotally connected with their ends; panel-rod – a combination of bearing panels and rods and star-rod – modular element is a three-beam star structure. All considered schemes of FKS have a difference in the design decision that leads to features of production, transportation, assembly and installation of constructions on a building site. The considered questions give a wide choice of means in the solution of architectural, constructive and technological factors of formation that promotes development of creative activity. Authors are engaged in the development of the core structural system. Selected type of rod structures based on planar and volume-spatial triangulation grid provides form-building capabilities for organizations of various shapes and outlines. A new kind of swivel joint is shown. Spaces close to the cylindrical and spherical form can be formed on the basis of resulting arched transformable rod system.*

**Keywords:** *flat kinematic structure (FKS), volume-spatial forms, transformation, surfaces, geometric pattern, rod structure.*

### REFERENCES

1. Tumasov A.A. Architecturae et scribendi facultates plana kinematic structurae. Architecturae bionics. Quaestiones ex theoria et praxis: SB. St. M., 1986, pp. 63–67.
2. Volkov A.I. Packaging finem operi testa. - Kharkov: Libellorum domus Kharkov Universitatis, 1963, pp. 21–24.
3. Volkov A.I. Geometrica divisio de superficiebus talis ut conchis et caulas.- In collection of scientific operatur. Tr.: Quaestiones de descriptive geometria et eius applications. Kharkov, 1961, pp. 189–191.
4. Koleichuk V.F., Lebedev Y.S. New architecturae-aedificant structura. M.: Stroiizdat, 1978, 64 p.
5. Regula G. Spatii coverage (consilium et ratio constructione). Vol. II. Metallum, plastics, lateramen, lignum. M.: Stroiizdat, 1974.
6. Tairov V.D. Reticulum tres-dimensiva structura. Et: Budivelnik, 1966, 74.
7. Volkov A.I. in Tectonics membrorum spatia cum dux superficiebus. Technica aesthetica, 1979, no. 3, pp. 14–15.
8. Wenninger M. Exemplaria polyhedra. M.:Mir, 1974, 234 p.
9. Tumasov A.A., Zarytova N.G. Transformable spatium-frame constructione coatings. International research acta. 2016, no. 12–3(54), pp. 190–194.
10. Tumasov A.A., Tsaritova N.G., Kurbanov A.I., Kalinina A.A. Geometrica urna virga fornice



transformable ratio. *Aedificium et architectura*, 2107, no. 5, №2(15), p. 135–140.

2586351 OF THE RUSSIAN FEDERATION: MPK E 4 1/58/

11. Tsaritova N. G., Buzalo N.A. Hinge Assembly of spatial rod structure of regular structure: Pat.

*Information about the authors*

**Tumasov, Alexander A.** PhD, Professor. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Russia, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, str. Prosveschenia, 132.

**Tsaritova, Nadezhda G.** PhD, Assistant professor. E-mail: ncaritova@yandex.ru. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Russia, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, str. Prosveschenia, 132.

---

*Received in July 2018*

**Для цитирования:**

Тумасов А.А., Царитова Н.Г. Геометрические закономерности образования объемно-пространственных форм в архитектуре из плоских кинематических структур // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 122–130. DOI: 10.12737/article\_5c73fc224c5338.00189018

**For citation:**

Tumasov A.A., Tsaritova N.G. Geometric patterns of volumetric and spatial forms in architecture of flat kinematic structures. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 122–130. DOI: 10.12737/article\_5c73fc224c5338.00189018