

Л.А. АЛБОРОВА¹, И.А. МАМИЕВА²

¹Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИПромзданий), г. Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия

КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ФОРМЫ В АРХИТЕКТУРЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В НАЧАЛЕ XXI-го ВЕКА

Аннотация. До настоящего времени систематизированы существующие архитектурные стили со своими модификациями, подвидами и стилевыми течениями применительно к тонким оболочкам и оболочечным структурам. Имеются несколько хронологий развития архитектурных стилей. Установлено, что интенсивность и разнообразие применения аналитических и аналитически незадаваемых поверхностей в архитектуре оболочечных структур, тонких оболочек и во внешних формах разнообразных сооружений поддаются разбиению на пять временных периодов. Последний пятый период было решено назвать «Возрождение интереса к оболочкам и сооружениям криволинейной формы, возникновение новых архитектурных стилей». Согласно материалам исследования он начался в начале XXI-го века. В данной статье показано, что до сегодняшнего времени нашли применение 37 аналитических поверхностей из более шести сотен известных поверхностей. Авторы констатируют реальное положение в архитектуре криволинейных форм и показывают возрастающий интерес архитекторов и строителей к таким объектам. Показано, что с 2000-го года использованы 16 основных архитектурных стилей, не считая новейшие стили, заявленные архитекторами, но обозначенные одним-двумя сооружениями. Перечислены с конкретными примерами аналитические и аналитически незадаваемые поверхности нашедшие применение в реальных сооружениях. Указаны архитекторы, участвовавшие в проектировании наиболее значимых зданий и сооружений.

Ключевые слова: архитектура оболочек, аналитические поверхности, этапы строительства оболочек.

L.A. ALBOROVA¹, I.A. MAMIEVA²

¹Central Scientific Research Institute for Industrial Buildings and Structure, Moscow, Russia

²RUDN University, Moscow, Russia

CURVILINEAR FORMS IN ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND ERECTIONS

Abstract. To date, the existing architectural styles have been systematized with their modifications, subspecies and style trends in relation to thin shells and shell structures. There are several chronologies of the development of architectural styles. It has been established that the intensity and variety of the use of analytical and analytically non-assignable surfaces in the architecture of shell structures, thin shells and in the external forms of various structures can be divided into five time periods. The last fifth period was decided to be called "The revival of interest in shells and curvilinear structures, the emergence of new architectural styles." According to the research materials, it began at the beginning of the XXI century. This article shows that up to now 37 analytical surfaces out of more than six hundred known surfaces have been used. The authors constate the real situation in the architecture of curvilinear forms and show the increasing interest of architects and builders in such objects. It is shown that since 2000, 16 main architectural styles have been used, not counting the latest styles declared by architects, but designated by one or two structures. Analytical and analytically undetectable surfaces that have found

© Алборова Л.А., Мамиева И.А., 2023

application in real structures are listed with specific examples. The architects who participated in the design of the most significant buildings and structures of curvilinear forms at the beginning of the XXI century are indicated. The literature used contains 32 titles.

Keywords: shell architecture, analytical surfaces, shell construction stages.

Введение

Согласно ранее проведенным исследованиям авторов хронологию применения криволинейных поверхностей в архитектуре и строительстве пространственных структур, тонких оболочек и новаторских сооружений можно разделить на пять периодов:

1. Начальный этап строительства оболочек (I – XVIII вв.),
2. Стремление к уменьшению толщин пространственных конструкций, возникновение теории расчета тонких оболочек (начало XIX века – 1920-е годы),
3. Эпоха «Золотого века тонких оболочек» (1922 – 1965 гг.),
4. Эпоха затухания интереса к строительству оболочек (1966 г. – конец XX века),
5. Возрождение интереса к оболочкам и сооружениям криволинейной формы, возникновение новых архитектурных стилей (начало XXI в.).

Первые четыре периода освещены в научно-технической литературе [1, 2, 3, 4], а вот пятому, на данный момент времени, уделено недостаточно внимания [5, 6].

Современные архитекторы, инженеры-строители, ученые-механики и геометры стараются осмыслить достигнутые ранее результаты в различных отраслях науки и практики проектирования и строительства зданий и сооружений оболочечного типа или в форме криволинейных поверхностей ввиду увеличения интереса к таким сооружениям с начала XXI века после предыдущей эпохи затухания интереса к строительству оболочек.

Систематизированы существующие архитектурные стили, их модификации, подвиды, стилевые течения [7] и составлена хронология их появления [8].

Е.В. Сысоева [9] определила 4 этапа создания и развития теории тонких оболочек, где выделила четвертый этап с начала XXI века – до наших дней. Он характеризуется уточнением математического прикладного аппарата в проектировании конструкций, новыми вычислительными комплексами для персональных ЭВМ, расчетами с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейностей. Как видно, этот этап совпадает с пятым периодом предложенной авторами хронологии развития и строительства криволинейных большепролетных структур, тонких оболочек и сооружений криволинейных форм.

Цель исследования

В исследовании сделана попытка объяснить выделение отдельного периода в проектировании и строительстве криволинейных большепролетных структур, тонких оболочек и сооружений криволинейных форм, названного «Возрождение интереса к оболочкам и сооружениям криволинейной формы, возникновение новых архитектурных стилей», и показать, что эпоха затухания интереса к строительству оболочек закончилась в конце XX-го века.

Одной из целей статьи является выяснение количества канонических и неканонических алгебраических поверхностей, нашедших применение в формах зданий и сооружений, а также установление архитектурных стилей, их подвидов и архитектурных течений, использованных архитекторами в рассматриваемый период.

Возрождение интереса к оболочкам и сооружениям криволинейной формы, возникновение новых архитектурных стилей (начало XXI в.)

Теоретические исследования, практика строительства и новые конструкционные материалы [10] способствовали появлению разнообразных форм тонкостенных пространственных конструкций для организации необходимого пространства. Архитектор Мис ван дер Роз утверждал, что архитектура зависит от своего времени. На основе уже

познанных или вновь открытых законов природы архитектура через конструкции посредством техники материализует свои формы.

В начале рассматриваемого периода возможностями тонких оболочек применительно к архитектуре и строительству заинтересовались молодые студенты-архитекторы и строители. На ВДНХ (Москва), на различных выставочных площадках, например на МАКСе (г. Жуковский), на вузовских студенческих научных конференциях практически ежегодно проводились всероссийские и городские конкурсы инновационных проектов, например УМНИК, где молодежь могла продемонстрировать свои разработки, посвященные тонкостенным структурам и оболочкам (рисунок 1). В возрождении интереса к оболочечным структурам молодежь внесла весомый вклад [11].

Самое широкое применение продолжают находить сферические поверхности, на основе которых появились геодезические купола Фулера, послужившие прообразами новых стержневых структур (рисунок 2). В 2012 г. был построен самый большой деревянный купол в С.-Петербурге.



Рисунок 1 – Студенты РУДН демонстрируют своё видение перспектив расширения применения оболочек на конкурсе молодежных инновационных проектов «Лидер в области высоких технологий», МАКС-2007, г. Жуковский.

Автор фото Кривошапко С.Н.



Рисунок 2 – Трамвайное депо, Москва (сферическая поверхность).

Автор фото Мамиева И.А.

В настоящее время *торсовые поверхности* применяют в рамках архитектуры свободных форм. Эти формы получают методом параболического изгибания тонких плоских металлических листов. Полученные изделия используют в качестве составной части покрытий общественных зданий, как это сделано арх. Фр. Гери (Frank Gehry) для отеля Marques de Riscal, Испания [12]. *Торсовые поверхности одинакового ската* обладают целым рядом полезных для строителей свойств, однако реальных объектов в форме этих поверхностей не найдено. Существуют только наброски и эскизы [13].

Имеется много образцов применения полных и усеченных *коноидных поверхностей* в промышленных зданиях (шедовые покрытия), в храмовых сооружениях и в мечетях, в качестве стен складов и церкви, навесов перед входом, для перекрытия сцен летних театров, в скульптурных композициях и для украшения художественного музея и др. Их используют для крыш элитных коттеджей. Следовательно, можно заявить, что рассматриваемая линейчатая форма пользуется популярностью в настоящее время благодаря архитектурной выразительности и с точки зрения заявленной функциональности [14].

Появляются здания и сооружения в форме поверхностей, ранее неиспользовавшихся. *Бочкообразная или яйцевидная поверхность* стала привлекать внимание инженеров и архитекторов [15]. В Москве в 2000-2002 годах был построен «Дом-яйцо» на ул. Машкова (арх. С. Ткаченко).



Рисунок 3 – Дворец спорта И. Винер-Усмановой в Лужниках, г. Москва (волнообразная поверхность).
Автор фото Алборова Л.А.



Рисунок 4 – Офисное здание, Москва-Сити (винтовая коробчатая поверхность). Автор фото Иванов В.Н.

Находят применение поверхности из класса «Волнообразные, волнистые и гофрированные поверхности». Можно указать на покрытие Дворца спорта И. Винер-Усмановой в Лужниках, Москва (рисунок 3). Неоднократно повторяется форма винтовой поверхности коробчатого поперечного сечения (рисунок 4) [16]. Винтовые циклические и винтовые линейчатые поверхности применяются, в основном, в машиностроении в качестве змеевиков, закрученных пластинок и лопастей судов [17]. Их можно видеть в формах трубчатых спусков горок на детских площадках и в аттракционах. В больших сооружениях общественного назначения они пока не использовались, кроме ленточного винтового ограждения автомобильных геликоидальных пандусов.

Не угасает интерес архитекторов к цилиндрическим формам различных поперечных сечений (рисунок 5). Например, самая высокая в Европе светопрозрачная фондовая оранжерея в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН (Москва) высотой 33,6 м выполнена в форме цилиндрической поверхности с образующей кривой знакопеременной кривизны. Музей азербайджанского ковра имеет форму цилиндрической поверхности в виде свернутого ковра с горизонтальной осью. Построен в Баку (Азербайджан) по проекту арх. Франца Янца.

Часто используется круговая коническая поверхность (рисунок 6), благодаря ее способности разворачиваться на плоскость без разрывов и складок.

В архитектуре малых форм, в садовой архитектуре, в образовательных целях для объяснения принципов формообразования поверхностей часто используются *псевдосферические и минимальные* [18, 19] *поверхности, поверхности Клейна* [20], *Боя, кольцо Мебиуса, катеноиды* [21]. Однако эти привлекательные поверхности не находят применения в архитектуре и строительстве объектов промышленного и культурно-бытового назначения. Из минимальных поверхностей часто используется только *прямой геликоид* (рисунок 7). Павильон в г. Queretaro (Мексика) и катеноиды Национального театра Тайваня - первые примеры реального применения катеноидов в архитектуре.

Трубчатые спиралевидные и винтообразные поверхности широко используются при проектировании спусков в водных аттракционах. Есть несколько примеров применения спиралевидной поверхности для крыш одноэтажных экологических домов [22].



Рисунок 5 – Фондовая оранжерея Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН, Москва.
Автор фото Мамиева И.А.



Рисунок 6 – Ледовый дворец «Синяя птица», Отрадное, Москва, 2006 г. (усеченная круговая коническая поверхность). Автор фото Кривошапко С.Н.



Рисунок 7 – Винтовая лестница, гостиница Seven Visions the Dvin, Ереван, Армения, 2022 г. (прямой геликоид). Автор фото Кривошапко Н.С.

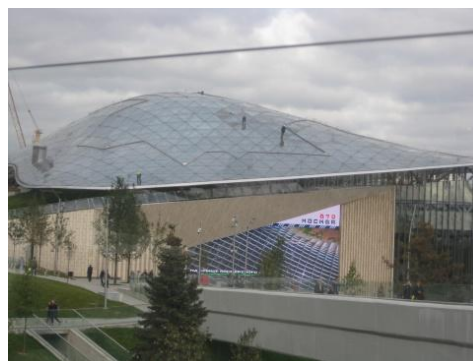


Рисунок 8 – «Стеклянная кора», Зарядье, Москва (аналитически не задаваемая поверхность). Автор фото Мамиева И.А.

Но именно в этот период широкое применение получили *аналитически не задаваемые поверхности*. Это связывают с появлением компьютерного моделирования, развитием числовых методов расчета на прочность, появлением типовых компьютерных программных комплексов. В конце XX-го – начале XXI-го века были построены покрытие из стекла и стали над двумя зданиями гостиницы Yas Marina в Абу-Даби, ОАЭ; торговый центр «Золотые террасы» (1998 г.), Варшава, Польша; «Стеклянная кора», Москва (рисунок 8), музей современного искусства в Казлиари, Италия; покрытие ликероводочного завода Massalan (Англия, 2018 г.) с использованием природного ландшафта; покрытие Московского молодёжного театра «Планета КВН» (2013 г.) и др.

Применение аналитически не задаваемых поверхностей в качестве геометрических моделей внешней формы сооружений можно продемонстрировать на примере трех высотных офисных Пламенных башен (Flame Towers) высотой 182, 165 и 161 м, построенных в 2007 – 2012 гг. в Баку (Азербайджан). Все три небоскреба напоминают факелы из огня.

Практически все аналитические поверхности, которые были использованы до 2000-го года, воплощены в формах реальных строительных конструкций и сооружений в начале XXI-го века. За последние четверть века были использованы прямые и наклонные цилиндрические [22] конические, торсовые [12], обыкновенные винтовые коробчатые (рисунок 4), сферические (ТРЦ «PITERLAND», С.-Петербург, 2012 г.), зонтичные, каплевидные, трубчатые [23], ротативные (покрытие водно-спортивного комплекса в Ростове-на-Дону), велароидальные, волнообразные и волнистые (Дворец спорта И. Винер-Усмановой в Лужниках, Москва) поверхности, спиральные и спиралевидные поверхности [22], цилиндрическая винтовая полоса (ограждение автомобильного винтового пандуса, ТЦ «Калужский», Москва), коноиды и цилиндриды [14], прямые геликоиды (винтовые

автомобильные пандусы), нодоиды, гипары [22], поверхности прямого переноса [24], поверхности вращения, в том числе, эллипсоиды (чайхана, г. Гиссар, Таджикистан), параболоиды, однополостные гиперболоиды (градирни) вращения, поверхность вращения «Яйцо» [15], круговой тор (проект «Ковчег» - биоклиматическое здание с автономной системой жизнеобеспечения, 2010 г.), винтообразные поверхности [22], трехосные эллипсоиды (смотровая площадка «Живописного моста», Москва, 2007 г.) и эллиптические параболоиды (стержневое покрытие стадиона «Шахтер», До нецк, Украина, 2009 г.). Очевидно, что криволинейная архитектура стремительно развивается во многих странах мира [5].

Именно в этот период применительно к сооружениям криволинейной формы возникло несколько архитектурных стилей и архитектурных течений. Например, стиль «Деконструктивизм» дал предпосылки к возникновению архитектурного стиля «Архитектура свободных форм» (с 2002 г.), который положил начало архитектурному направлению «В.Л.О.В.» (пузырьковая архитектура, с 2003 г., рисунок 9). Из «Деконструктивизма» в 2010 г. отделился архитектурный стиль «Параметризм» [25].

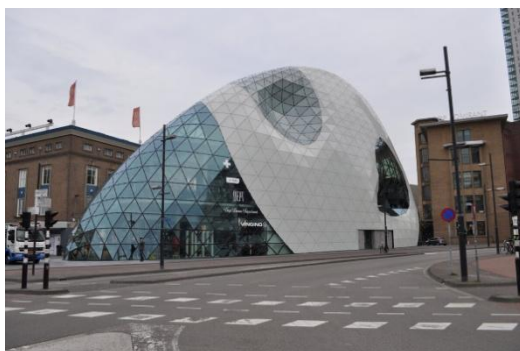


Рисунок 9 – Вход в торговый центр, Эйндховен, Нидерланды, арх. М. Фуксас

На основе «Промышленной архитектуры» возникло архитектурное направление «Продуктивизм» (с 2015 г.).

Архитектурное направление «Цифровая архитектура» стало иметь самостоятельное отдельное ответвление (архитектурное течение) – «Архитектура минимальных форм» (с 2005 г.).

В XXI-ом веке в рамках архитектурной группы «Новейшие стили» появилась «Параметрическая архитектура» (с 2008 г.) [22], которая дала начало стилю «Генеративная архитектура» (с 2008 г.). Из «Нелинейной архитектуры» возникло архитектурное направление «Фрактальная архитектура» (1995–2002 гг.) [13, 26], рисунок 10.

Хронология становления этих новейших стилей в архитектуре с соответствующими иллюстрациями приведена в работе [27].



*Рисунок 10 – Жилой комплекс Вайле, Дания, 2006-2018 гг.
(фрактальная архитектура), арх. бюро "Henning Larsen Architects"*

Результаты исследования

Авторы соглашаются с теми исследователями, которые утверждают, что в XXI веке интерес к проектированию и строительству тонких оболочек и оболочечных структур возрождается, особенно у молодых архитекторов и инженеров. Ведутся исследования по изучению положительного эмоционального воздействия криволинейных форм сооружений, что стимулирует отход от прямолинейности и способствует развитию криволинейности в архитектуре [28] (рисунок 11).



Рисунок 11 – Часовня Bosjes Capony, Western Cape, ЮАР, из литого бетона, 2016 г., (волнистая поверхность), арх. К. Стейн



Рисунок 12 – Концертный зал «Sage Gateshead», Гейтсхед, Англия; стекло, нержавеющая сталь, 2004 г., (аналитически не задаваемая поверхность), арх. Н. Фостер

На данный момент остались невостребованными в строительстве и архитектуре такие интересные с архитектурной и функциональной точки зрения поверхности как поверхности зонтичного типа, поверхности диагонального переноса велагоидального типа, поверхности плоскопараллельного переноса конгруэнтных кривых [24], циклические поверхности [29], в частности, циклиды Дюпена [30]. Не в полной мере используются спиралевидные и винтообразные поверхности.

Установлено, что наиболее интересные реализованные в натуре проекты предоставили Подгорнов Е.В. (ТРЦ «PITERLAND», РФ, 2012 г., сфера), финская фирма «Фексима» с главным архитектором проекта Л.А. Ильчик (Фондовая оранжерея ГБС РАН, 2016, цилиндрическая поверхность), Гельмут Ян (один из символов Берлина - центр SONY, ФРГ, 2000 г.), С. Калатрава (Дворец искусства королевы Софии и планетарий комплекса «Город искусства и науки», Валенсия, Испания, 2005 г., сфера), Н. Фостер (центр музыкального образования, концертов и конференций «Sage Gateshead», Англия, выполненный из стекла и нержавеющей стали, 2004 г., аналитически не задаваемая поверхность, рисунок 12), Поль Андре (Большой Народный театр, Китай, 2007 г.; Osaka Maritime Museum, Япония, 2000 г.), Заха Хадид (культурный центр Г. Алиева в Баку, Азербайджан, 2012 г.), F.O. Gehry (Marques De Riscal Hotel, Elciego, 2006 г.), Pei I.M. (Немецкий исторический музей, Берлин, 2001 г.), Хироши Накамура (Hiroshi Nakamura, футуристическая свадебная часовня в виде двух спиральных лестниц со стальным каркасом, обшитом деревянными панелями, Ономити, Япония, 2013 г.), О. Нимейри (Museu Nacional Honestino Guimarães By Oscar Niemeyer, 2006, сфера), Су Фудзимото (дом венгерской музыки в Будапеште с отверстиями в покрытии для деревьев, образцовая экология по стандартам BREEAM, 2021 г.), Халили Надер («Эко купол» из глины и соломы, экологически чистое жилье для Африки), Крамаренко В. (стеклянный купол зала Победы музея Истории ВОВ, Минск, 2014 г. сфера), Видечник Ш. («Борисов-Арена» - стадион змея, 70 км от Минска, Белоруссия, 2014 г.), Саймон Велес (Simon Vélez, бамбуковая архитектура оболочечных структур, Колумбия).

В 21-м веке архитекторами были использованы 16 архитектурных стилей, а именно [5]:

Промышленная архитектура, Архитектурный конструктивизм, Деконструктивизм (культурный центр Г. Алиева в Баку, Азербайджан, 2012 г.), *Бионическая архитектура* (дом «Яйцо», Москва, 2002 г.), *Органическая архитектура* (вилла «Shell», Kuruizawa, Япония, 2008 г.), *Экспрессионизм* (Художественный Музей в Милуоки, Висконсин, США, 2001 г.), *Американский модернизм* (терминал № 5 аэропорта им. Дж. Кеннеди, 2008 г., рисунок 13), *Хай-тек* (сетчатые оболочки; купол центра SONY, Берлин, 2000 г.), *Геометрический хайтек* (ботанический сад «Эдем» в Корнуолле, Англия, 2001 г.), *Экологический хайтек* (сооружения экологической деревни Дитикан, Швейцария, 2009 г.), *Архитектура многогранников* (2018 г.), *Брутализм* [31] (рисунок 14), *Ноосферная архитектура* (купола В.И. Грибнева), *Параметрическая архитектура, Архитектура свободных форм* (числовая архитектура), *Продуктивизм* [5].



Рисунок 13 - Терминал № 5 аэропорта им. Дж. Кеннеди, 2008 г.
(американский модернизм, зонтичная поверхность),
арх. Э. Сааринен [avia.wikisort.org]

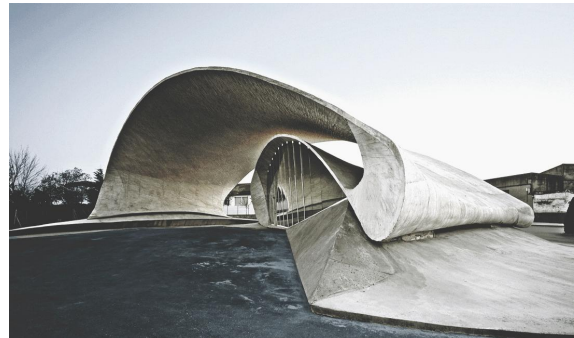


Рисунок 14 - Автостанция Касар-де-Касерес, Испания, 2003 г.
(новый брутализм, аналитически задаваемая поверхность, бетон), арх. Х.Г. Рубио

Заключение

Появление новых архитектурных стилей и направлений в рамках архитектурной группы «Новейшие стили», возникшей в 1995 году, и архитектурных подгрупп и течений в рамках уже существовавших стилей показывает большую заинтересованность архитекторов в создании новых криволинейных сооружений, проектировании оболочечных структур, жестких тонких оболочек со срединными аналитическими поверхностями, тентовых покрытий, пневматических сооружений, вантовых и висячих структур. Но И.А. Бондаренко [32] предупреждает, «что при этом нельзя скатываться к популизму. Необходимо во всём соблюдать чувство меры. К сожалению, сегодня все успехи и неудачи архитекторов основаны, главным образом, на их персональных деловых и человеческих качествах. Слишком поощряется индивидуализм и гипертрофированная – «прорывная» – творческая креативность. ... Это приводит к тому, что за профессиональное достижение может выдаваться нечто несостоятельное, за архитектурную новацию – бессмысленное дизайнерское оригинальничание».

Таким образом, последнее слово остаётся за архитектором, работающим непосредственно над конкретным проектом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krivoschapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. 2014. Vol. 18. Iss. 2. Pp. 95-108.
2. Krsić S. Geometrijske površi u arhitekturi. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu. Štampa Galaksija, Niš. 2012. 238 p.
3. Butelski K. The Architecture of Curved Shapes // Nexus Network Journal. January. 2000. Vol. 2. No. 1. Pp. 19-23. doi:10.1007/s00004-999-0004-x.

4. Encyclopedia of 20-th Century Architecture. R. Stephen Sennot, Editor. Taylor & Francis Group. NY. 2003. doi:4324/9780203483886
5. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the 21st century // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2021. Vol. 17. No. 6. Pp. 553-561. doi:10.22363/1815-5235-2021-17-6-553-561
6. Adnan F., Yunus R.M. The influence of curvilinear architectural forms on environment behaviour // Procedia - Social and Behavioral Sciences. December 2012. Vol. 49. Pp. 341-349. doi:10.1016/j.sbspro.2012.07.032
7. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Gil-oulbe Mathieu. Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures // Building and Reconstruction. 2022. № 4(102). С. 112-131. doi:10.33979/2073-7416-2022-102-4-112-131
8. Кривошапко С.Н., Алборова Л.А., Мамиева И.А. Оболочечные структуры: генезис, материалы и подвиды. Часть 1: Подвиды и направления // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 3. С. 125-134. doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134
9. Сысоева Е.В. Научные подходы к расчету и проектированию большепролетных конструкций // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 2(101). С. 131-141. doi:10.22227/1997-0935.2017.2.131-141
10. Братухин А.Г., Сироткин О.С., Сабодаш П.Ф., Егоров В.Н. Материалы будущего и их удивительные свойства. М. : Машиностроение, 1995. 128 с.
11. Киселева И.А. Применение кривых поверхностей в строительстве и инженерной практике / В сб.: Дни студенческой науки. Сб. докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры. Министерство образования и науки Российской Федерации. МГСУ. 2018. С. 319-321.
12. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction // Building and Reconstruction. 2021. No. 6 (98). Pp. 63-72. doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72
13. Zhou F.-X. A constant slope surface and its application / 3rd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS), 2022. Pp. 78-81. doi:10.1109/ICGMRS55602.2022.9849334
14. Иванов В.Н., Алешина О.О. Геометрия прямых коноидов с ортогональной системой координат // Строительная механика и расчет сооружений. 2023. № 2 (307). С. 53-62. doi:10.37538/0039-2383.2023.2.53.62
15. Zhang J., Wang M., Wang W., Tang W. Buckling of egg-shaped shells subjected to external pressure // Thin-Walled Structures. 2017. Vol. 113. Pp. 122-128
16. Иванов В.Н. Геометрия и формообразование многогранных коробчатых криволинейных поверхностей на базовой циклической поверхности // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 2. С. 3-10.
17. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells // Applied Mechanics Reviews. May 1999. Vol. 52. No. 5. Pp. 161-175. doi:10.1115/1.3098932
18. Velimirović L.S., Radivojević G., Stanković M.S., Kostić D. Minimal surfaces for architectural constructions // Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering. 2008. Vol. 6. No 1. Pp. 89-96. doi:10.2298/FUACE0801089V
19. Алборова Л.А. Минимальные поверхности в строительстве и архитектуре // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 1. С. 3-11. doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11
20. Чешкова М.А. Тор Клиффорда и бутылка Клейна // Известия Алтайского государственного университета. 2017. № 1 (93). С. 144-14. doi:10.14258/izvasu(2017)1-29
21. Ганеева М.С., Скворцова З.В. Напряженно-деформированное состояние катеноидной оболочки вращения из ортотропного материала // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 20-летию ИММ КазНЦ РАН: сб. статей. Том II. Казань: ИММ КазНЦ РАН, 2011. С. 153-160.
22. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 150-165 <http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201>.
23. Иванов В.Н., Рынкoвская М.И. Применение циклических поверхностей в архитектуре зданий, конструкций и изделий // Вестник РУДН. Инженерные исследования. 2015. № 3. С. 111-119.
24. Гринько Е.А. Поверхности плоскопараллельного переноса конгруэнтных кривых // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 3. С. 71-77. doi:10.37538/0039-2383.2021.3.71.77
25. Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // Архитектура и современные информационные технологии. 2013. № 4(25). 4 с. EDN: RRETSJ
26. Маяцкая И.А., Беловолов М.Г. Применение фрактальных поверхностей при проектировании сооружений // Актуальные проблемы науки и техники: Материалы Национ. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, Дон. гос. техн. ун-т (ДГТУ). Ростов-на-Дону, 2020. С. 1695-1697.
27. Кривошапко С.Н. К вопросу об основных архитектурных стилях, направлениях и стилевых течениях для оболочек и оболочечных структур // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 3. С. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268
28. Марченко Л.А., Негай Г.А. Анализ криволинейности в архитектуре // Новые идеи нового века: Материалы Международной научной конференции. ФАД ТОГУ. 2013. Т. 1. С. 191-197. [EDN: PZAIAB].

29. Hyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics // *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2. No. 3. Pp. 799-806.
30. Бойков И.К. Геометрия циклид Дюпена и их применение в строительных объектах // *Расчет оболочек строительных конструкций*. М.: УДН. 1982. С. 116-129.
31. Иващенко Н.А. Архитектура брутализма в зарубежном и российском искусствознании после Рейнера Бэнэма // *Артикульт*. 2022. №4(48). С. 6-16. doi:10.28995/2227-6165-2022-4-6-16
32. Бондаренко И.А. Об уместности и умеренности архитектурных новаций // *Academia // Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 13-18. <http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185>. (дата обращения: 24.03.2023).

REFERENCES

1. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2014. Vol. 18. No. 2. Pp. 95-108.
2. Krsić Sonja. Geometrijske površi u arhitekturi. *Gradevinsko- arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu. Štampa Galaksija, Niš*, 2012. 238 p.
3. Butelski K. The Architecture of Curved Shapes. *Nexus Network Journal*. January 2000. Vol. 2(1). Pp. 19-23. doi:10.1007/s00004-999-0004-x.
4. Encyclopedia of 20-th Century Architecture. R. Stephen Sennot, Editor. Taylor & Francis Group. NY. 2003. doi:4324/9780203483886
5. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the 21st century. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021. Vol. 17. No. 6. Pp. 553-561. doi:10.22363/1815-5235-2021-17-6-553-561
6. Adnan F., Yunus R.M. The influence of curvilinear architectural forms on environment behavior. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. December 2012. No. 49. Pp. 341-349. doi:10.1016/j.sbspro.2012.07.032
7. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Gil-oulbe Mathieu. Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures. *Building and Reconstruction*. 2022. No. 4 (102). Pp. 112-131. doi:10.33979/2073-7416-2022-102-4-112-131
8. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. No. 3. Pp. 125-134. doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134. (rus)
9. Sysoeva E.V. Nauchnye podkhody k raschetu i proektirovaniyu bol'sheproletnykh konstruksiy [Scientific Approaches to Calculation and Design of Large-Span Structures]. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2017. Vol. 12. No. 2(101). Pp. 131-141. doi:10.22227/1997-0935.2017.2.131-141 (rus.)
10. Bratukhin A.G., Sirotkin O.S., Sabodash P.F., Egorov V.N. Materials of Future and their Wonderful Properties. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1995. 128 p. (rus)
11. Kiseleva I.A. The application of curvilinear surfaces in building and engineering practice. In book: Dni Studencheskoy Nauki [Days of Student Science]. Proc.: Reports of Scientific-and-Technical Conference under the Final Results of Scientific-and-Research Works of Students of Institute of Building and Architecture of MONRF, MGSU, 2018. Pp. 319-321.
12. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction // *Building and Reconstruction*. 2021. No. 6 (98). Pp. 63-72. doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72
13. Zhou F.-X. A constant slope surface and its application. *2022 3rd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS)*. 2022. Pp. 78-81. doi:10.1109/ICGMRS55602.2022.9849334
14. Ivanov V.N., Aleshina O.O. Geometry of right conoids with an orthogonal coordinate system. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2023. No. 2(307). Pp. 53-62. doi:10.37538/0039-2383.2023.2. 53.62 (rus)
15. Zhang J., Wang M., Wang W., Tang W. Buckling of egg-shaped shells subjected to external pressure. *Thin-Walled Structures*. 2017. Vol. 113. Pp. 122-128.
16. Ivanov V.N. Geometry and forming of the polyhedral box type surfaces on base cyclic surface. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2012. No. 2. Pp. 3-10. (rus)
17. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells. *Applied Mechanics Reviews*. May 1999. Vol. 52. No. 5. Pp. 161-175. doi:10.1115/1.3098932
18. Velimirović L.S., Radivojević G., Stanković M.S., Kostić D. Minimal surfaces for architectural constructions. *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2008. Vol. 6. No 1. Pp. 89-96. doi:10.2298/FUACE0801089V
19. Alborova L.A. Minimal surfaces in building and architecture. *Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: human, region, technologies]*. 2021. No. 1. Pp. 3-11. doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11 (rus)

20. Cheshkova M.A. Clifford torus and Klein bottle. *Izvestiya Altaiskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2017. No. 1 (93). Pp. 144-147. doi:10.14258/izvasu(2017)1-29 (rus)
21. Ganeyeva M.S., Skvortzova Z.V. Stress-strain state of catenoid shell of revolution from orthotropic material. *Aktualnie Problemi Mehaniki Sploshnoy Sredy [Actual Problems of Mechanics of Solid Body]*. IMM KazNTz RAN. Vol. II. Kazan, 2011. Pp. 153-160. (rus)
22. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametrical architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 150-165. <http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201> (date of application: 24.03.2023). (rus)
23. Ivanov V.N., Rynkovskaya M.I. Application of circular surfaces to the architecture of the buildings, structures and products. *RUDN journal of engineering research*. 2015. No. 3. Pp. 111-119. (rus)
24. Grinko E.A. Surfaces of plane-parallel transfer of congruent curves. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2021. No. 3. Pp. 71-77. doi:10.37538/0039-2383.2021.3.71.77 (rus)
25. Barchugova E.V. Parametrisation as direction of the modern project. *Architecture and modern information technologies*. 2013. No. 4(25). 4 p. EDN: RRETSJ. (rus)
26. Mayatzkaya I.A., Belovolov M.G. Application of fractal surfaces in design of erections. *Aktualnie Problemi Nauki i Tekhniki [Actual Problems of Science and Engineering]*. DGTU, Rostov-na-Donu. 2020. Pp. 1695-1697. (rus)
27. Krivoshepko S.N. On the basic architectural styles, directions, and style flows for shells and shell structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. Vol. 18. No. 3. Pp. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268. (rus)
28. Marchenko L.A., Negay G.A. Curvilinear analysis in architecture. *Novie Idei Novogo Veka [New Ideas of New Century]*. Proc. of International Scientific Conference FAD TOGU. 2013. Vol. 1. Pp. 191-197. (rus)
29. Hyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics. *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2. No. 3. Pp. 799-806.
30. Boikov I.K. Geometry of Dupin cyclides and their application for building structures. *Raschet Obolochek Stroitel'nykh Konstruktsiy [Analysis of Shells of Building Structures]*. Moscow: UDN, 1982. Pp. 116-129. (rus)
31. Ivaschenko N.A. Brutalist architecture in Russian and foreign art history after Reyner Banham. *Articult*. 2022. No. 4(48). Pp. 6-16. doi:10.28995/2227-6165-2022-4-6-16. (rus)
32. Bondarenko I.A. On the appropriateness and moderation of architectural innovation. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo. Academia. Architecture and Construction*. 2020. Vol. 1. Pp. 13-18. <http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185>. (date of application: 24.03.2023). (rus)

Информация об авторах:

Алборова Лана Анатольевна

Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИПромзданий), г. Москва, Россия, архитектор отдела архитектурно-строительной мастерской -1.

E-mail: dikko@yandex.ru

Мамиева Ираида Ахсарбеговна

Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия, ведущий специалист инженерной академии РУДН.

E-mail: i_mamieva@mail.ru

Information about authors:

Alborova Lana A.

Central Scientific Research Institute for Industrial Buildings and Structure, Moscow, Russia, architect of the department of architectural and construction workshop -1.

E-mail: dikko@yandex.ru

Mamieva Iraida A.

RUDN University, Moscow, Russia, lead specialist at the Engineering Academy.

E-mail: i_mamieva@mail.ru