



Строительные материалы и изделия
Construction Materials and Products

ISSN
2618-7183

journal homepage: <https://bstu-journals.ru>

DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-43-59



Складчатые конструкции в архитектуре – забытое прошлое или мода возвращается?

Шамаева Т.В.*¹ , Пирогова П.В.¹ 

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия

**Ответственный автор E-mail: ShamaevaTV@yandex.ru*

Аннотация: в статье рассмотрены современные тенденции развития складчатых конструкций в архитектуре. Изучены периоды возникновения, развития складчатых конструкций в зарубежной и отечественной практике проектирования. В процессе написания статьи применялись различные методики для изучения и анализа складчатых конструкций (СК): комплексный анализ проектных материалов, фотофиксации, обзор профессиональной литературы, публикаций. Для анализа выбраны объекты советского и российского опыта проектирования и объекты зарубежной практики. Общее количество объектов анализа более 40; объектов, представленных в статье 26. На основе данного исследования поставлена задача: определить направления в развитии СК в архитектуре на ближайшее будущее.

В настоящее время интерес к складчатым конструкциям возродился. В результате исследований СК в разные временные периоды, от начала их появления до сегодняшних дней, можно сказать, что на складчатые конструкции «мода возвращается». Существует два направления в современном проектировании с применением СК. Первое направление: новый виток в развитии СК большепролетных покрытий и стен, и теперь есть мощная основа в виде программирования сложных конструкций для воплощения творческого потенциала СК в архитектуре, появились инновационные строительные материалы и технологии для реализации объекта. Второе направление связано с использованием складчатых конструкций, как фасадных складчатых элементов, работающих исключительно на создание неповторимого облика здания. Здания с использованием складчатых конструкций и элементов становятся примерами для различных современных стилей в архитектуре. Можно с уверенностью сказать, что складчатые конструкции актуальны в современной архитектуре. Применение складчатых конструкций и архитектурных складчатых элементов дает большой простор для воплощения смелых архитектурных идей и создания неповторимых, индивидуальных архитектурных форм, объемов зданий и сооружений для зданий различных функций.

Ключевые слова: складчатые конструкции общественных зданий, формирование архитектурного облика, направления развития складчатых конструкций

Для цитирования: Шамаева Т.В., Пирогова П.В. Складчатые конструкции в архитектуре – забытое прошлое или мода возвращается? // Строительные материалы и изделия. 2023. Том 6. № 1. С. 43 – 59. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-43-59

Folded Structures in Architecture – The Forgotten Past or the Fashion Returns?

Shamaeva T.V.*¹ , Pirogova P.V.¹ 

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

*Corresponding author E-mail: ShamaevaTV@yandex.ru

Abstract: the article deals with modern trends in the development of folded structures in architecture. The periods of emergence and development of folded structures in foreign and domestic design practice have been studied. In the process of writing the article various methods were used to study and analyze folded structures (FR): a comprehensive analysis of design materials, photofixation, review of professional literature, publications. The objects of Soviet and Russian design experience and objects of foreign practice were selected for the analysis. The total number of objects of analysis is more than 40; the objects presented in the article are 26. On the basis of this study the task was set: to determine the directions in the development of SC in architecture for the near future.

At present, the interest in the folded structures has been revived. As a result of studies of SC in different time periods, from the beginning of their appearance to the present day, we can say that the folded structures "fashion returns". There are two trends in modern design with the use of SC. The first trend: a new round in the development of SC of long-span roofs and walls, and now there is a powerful basis in the form of programming complex structures to implement the creative potential of SC in the architecture, there are innovative building materials and technologies for the implementation of the object. The second direction is related to the use of folded structures as façade folding elements, working exclusively to create a unique appearance of the building. Buildings using folded structures and elements become examples for a variety of contemporary styles in architecture. It is safe to say that folded structures are relevant in contemporary architecture. The use of folded structures and architectural folding elements provides great scope for the implementation of bold architectural ideas and the creation of unique, individual architectural forms, volumes of buildings and structures for buildings of different functions.

Keywords: folded structures of public buildings, formation of architectural appearance, directions of development of folded structures

Please cite this article as: Shamaeva T.V., Pirogova P.V. Folded Structures in Architecture – The Forgotten Past or the Fashion Returns? Construction Materials and Products. 2023. 6 (1). P. 43-59. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-43-59

ВВЕДЕНИЕ

Цель статьи – проанализировать применение складчатых конструкций в архитектуре современных зданий, определить тенденции развития складчатых конструкций. Ответить на вопросы: есть ли будущее у складчатых конструкций? Вернется ли мода на складки в архитектуре?

В данной статье *объектом исследования* становятся складчатые конструкции в архитектуре. В статье смещение главных акцентов приходится на архитектурный облик зданий с применением складчатых конструкций и их влияние на объемно-планировочные решения. *Предметом исследования* являются складчатые конструкции, их особенности, а также их влияние на архитектурное формообразование общественных зданий.

Мода, как утверждают историки моды и модельеры, циклична и имеет свойство возвращаться. Многие предпринимают попытки посчитать период или «цикл возвращения», но у всех по-

лучаются разные значения. В архитектуре складчатые конструкции имели период яркой востребованности и активного использования за рубежом 1950-1990-е гг. и в отечественной практике 1965 -1980-е гг., но потом их применение фактически сошло на нет. В настоящее время интерес к складчатым конструкциям возродился, и мы можем увидеть интересные примеры с использованием складчатых конструкций в архитектуре общественных зданий. Рассмотрим, какие предпосылки предшествовали прошлому всплеску в применении и какие условия для их использования формируются сейчас. На основе анализа и исследования сделаем выводы, – наступил ли период нового качественного витка развития и использования складчатых конструкций в современной архитектуре? Смогут ли складчатые конструкции занять нишу в архитектуре будущего или они безвозвратно канули в прошлое?

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В процессе написания статьи применялись различные методики для изучения и анализа складчатых конструкций (СК) в архитектуре: комплексный анализ проектных материалов, фотофиксации, а также обзор профессиональной литературы, публикаций по данной теме. Анализ и исследование велись поэтапно. В начале был проведен обзор статей и литературы по данной теме. Изучена история возникновения СК и их развитие в архитектуре. Проведены анализ и исследование складчатых конструкций, особенности их работы, преимущества перед другими конструкциями, недостатки СК. Изучение СК как элемента формообразования в архитектуре зданий и сооружений. Следующий этап исследования – рассмотрение и анализ архитектуры зданий с применением СК. Для анализа выбраны объекты советского и российского опыта проектирования, а также объекты из зарубежной практики. Общее количество проанализированных объектов более 40; объектов, представленных в статье 26. На основе данного исследования поставлена задача – определить направления в развитии СК в архитектуре ближайшего будущего.

На тему складчатых конструкций написано достаточное количество статей и профессиональной литературы. Практически все авторы отмечают, что складчатым конструкциям присуща архитектурная выразительность [1-5]. Достоинством складок является их регулярность, повышенные эстетические качества, а также возможность не применять подвесной потолок [1]. Авторы сходятся во мнении, что целесообразно использовать СК в большепролетных покрытиях для производственных и общественных зданий [1, 2]. Формируются тенденции развития складчатого формообразования в современной мировой архитектуре, направленные на уход от утилитарности к эффективности, к увлечению архитекторами эстетикой складчатых форм [2]. Складчатое формообразование отличается оригинальностью, экспрессивностью, пластичностью, несомненно, индивидуальностью, поэтому существует к нему внимание со стороны архитекторов и инвесторов. Многие современные исследователи сходятся во мнении, что художественно-эстетический потенциал складчатых форм раскрыт не в полной мере и заслуживает более пристального внимания специалистов в этом направлении [2, 3].

Из всех возможных путей моделирования складчатых форм наиболее практически значимым и продуктивным является экспериментальный подход [3, 5-7], в том числе, с помощью складывания из бумаги, а также компьютерного моделирования и программирования [8]. Дальнейшая разработка формообразований складчатых структур послужит толчком к созданию новых архитектурных образов, сможет определить перспективные направления использования складчатых структур. Выявление художественного потенциала складчатых оболочек – главный вектор развития архитектурного формообразования: моделирование исходной формы, имеющей характерный и динамичный силуэт, кристаллический рисунок и выразительный контраст света и тени [3]. Здания и сооружения со СК прочны и долговечны благодаря своим структурным особенностям и эффектно смотрятся в любой городской ситуации [3]. Поиск целесообразной формы, стремление к максимальному снижению их веса, поиск оптимальных условий распределения нагрузок привели к проектированию и разработкам складчатых систем [4].

Многие авторы предлагают свою интерпретацию определения складчатых конструкций (складок) и описывают варианты форм складок и складчатых структур [4-6, 9-10]. В одном авторы сходятся, что СК (складка) – это пространственная конструкция (структура), образована

пересекающимися элементами складки. Основной отличительной особенностью складчатых конструкций является наличие складчатой поверхности. Например, отмечено следующее, что «складки состоят из ряда повторяющихся в определенном порядке элементов» [4] или, «элементов, которые образуют складчатую структуру путем их взаимного расположения в пространстве» [10], «покрытие, образованное плоскими взаимно пересекающимися элементами» [11].

Большепролетные конструкции покрытий появились в древние времена. Это были каменные купола и своды. Складчатые конструкции изначально применялись в покрытии, при чем, в различных вариантах: перекрывая купола, своды, могут иметь цилиндрическую форму, в виде оболочковых покрытий и т.д. (рис. 1 а, б).

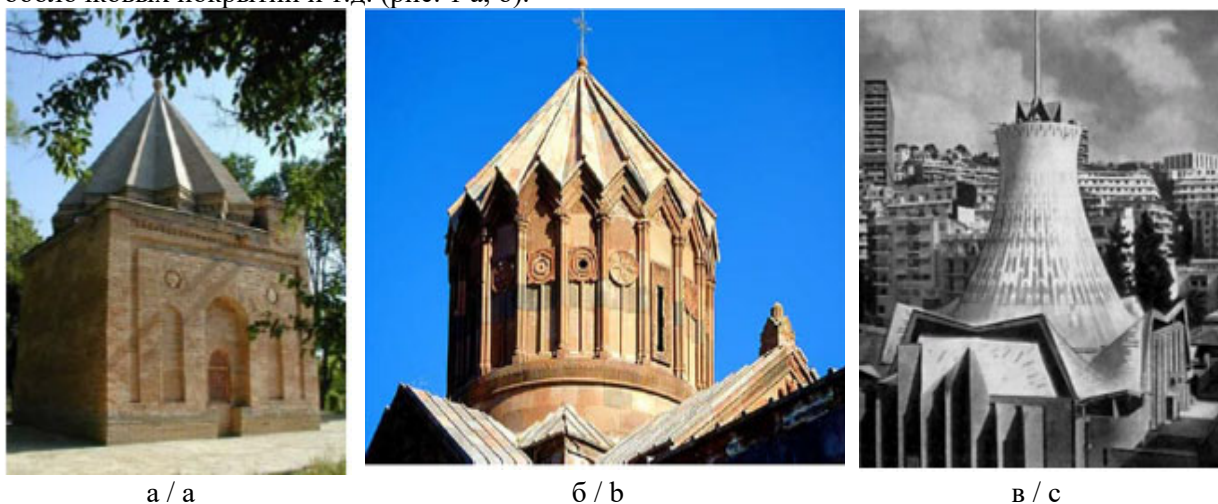


Рис. 1. а – Мавзолей Бабаджа Хатун, XI-XII век; б – Купол церкви Святой Божьей Матери, Нагорный Карабах, 1201г.; в – Собор в Алжире, Рене Саржер, 1963 г.

Fig. 1. a – Babaji Khatun Mausoleum, XI-XII c.; b – Dome of the Cathedral of the Holy Mother of God, Nagorno-Karabakh, 1201; c – Sacred Heart Cathedral of Algeria, 1963

Рис. 1 а. *Источник:* <https://architectureguru.ru/wp-content/uploads/2018/11/xatyn.jpg>

Fig. 1 a. *Source:* <https://architectureguru.ru/wp-content/uploads/2018/11/xatyn.jpg>

Рис. 1 б. *Источник:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ac/Harichavank-Harich_-_Copy.JPG/640px-Harichavank-Harich_-_Copy.JPG

Fig. 1 b. *Source:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ac/Harichavank-Harich_-_Copy.JPG/640px-Harichavank-Harich_-_Copy.JPG

Рис. 1 в. *Источник:* <https://arxipedia.ru/wp-content/uploads/2013/05/image309.jpg>

Fig. 1 c. *Source:* <https://arxipedia.ru/wp-content/uploads/2013/05/image309.jpg>

Складчатые конструкции могли быть использованы и для стен. Складчатые стены применяют в объектах, чтобы обеспечить устойчивость высоких, не раскрепленных перекрытиями стен (Рис.1 в). Существует множество комбинированных вариантов (см. далее табл. 1-6).

Складки состоят из элементов, опирающихся по краям и в пролете на диафрагмы жесткости. Складки могут быть выпущены за пределы крайних опор, образуя консольные свесы. Толщину плоского элемента складки принимают около $1/200$ пролета, высоту элемента не менее $1/10$, а ширину грани – не менее $1/5$ пролета. Складками обычно покрывают пролеты до 50-60 м, а шатрами до 24 м. Масса железобетонного ребристого покрытия при сравнительно небольших пролетах составляет $400-500 \text{ кг/м}^2$ перекрываемой площади; масса железобетонных оболочек при пролетах 40-50м составляет около 300 кг/м^2 ; масса облегченных покрытий по металлическим конструкциям при тех же пролетах снижается до $50-100 \text{ кг/м}^2$ [4, 11]. Развитие складчатых конструкций связано с разработками в области применяемых материалов и методов соединения [10].

Складчатые железобетонные конструкции впервые были разработаны и применены в 1898 году профессором Ф.С. Ясинским для перекрытия Александровских мастерских Николаевской железной дороги. В отечественном проектировании разработками складчатых конструкций за-




нялись примерно с 1931 года для покрытий производственных зданий пролетом до 45м, с 1934 года появились ребристые своды-оболочки покрытий промышленных зданий пролетом до 100м. В нашей стране первое авторское свидетельство по складчатым конструкциям было выдано после войны в 1945 году на складчатый свод из листового металла. Покрытия складками и оболочками нулевой гауссовой кривизны применяют для перекрытия пролетов от 12 до 60 м. Наиболее распространены конструкции пролетами от 12 до 36 м, в сборном варианте – до 24-30 м. При пролетах 24 м и более для повышения жесткости и трещиностойкости покрытия проектируют предварительно напряженными. Есть три вида статических схем складчатых конструкций, такие как балочная, арочная и рамная. Они могут быть однопролетными или многопролетными. Складчатые покрытия бывают одноволновыми или многоволновыми. При проектировании ширину граней рекомендуется не более 3-3,5 метра, а длину волны до 10-12 метров.

За рубежом первый патент на складчатое покрытие был выдан в 1937 году в США. В 1940-1950 годах в США был выдан ряд патентов на бескаркасные складчатые здания арочного или сводчатого очертания. С 1950 по 1965 год в различных странах – США, Великобритании, Австрии, Франции и ФРГ – на складчатые элементы и сооружения, собираемые из них, было получено около 20 патентов. В это время стали появляться системы, собираемые из элементов со сложной структурой, – пространственные элементы сложной конфигурации. В отечественной практике в начале получили распространение сборные и сборно-монолитные конструкции из железобетона, в зарубежной – монолитные. В период с 1965 по 1974 год на складчатые конструкции в нашей стране выдано уже более 30 патентов и авторских свидетельств. В чистом виде складчатые конструкции были распространены в 60-80 годах XX века. С 80 годов складчатые конструкции практически не использовались из-за дороговизны и сложности проектирования. К 2000 году выявлено более 60 патентов и авторских свидетельств на складчатые здания [4, 11].

Складки могут иметь разнообразную форму пилообразные, трапецеидальные, из однотипных треугольных плоскостей, шатровые (четырёхугольные и многогранные) и другие. Одна из главных задач, стоящих перед использованием СК в покрытии больших зальных помещений, освободить от колонн и стен план. Пространство, освобожденное от опор, перекрытое большепролетной конструкцией, придает зданию эмоциональную и пластическую выразительность [11].

Складчатые конструкции появились в противовес тяжелым каркасным конструкциям, в которых масса нетто очень велика и рентабельны только для пролетов до 25 м. СК относятся к наиболее экономичным, в них используется меньше материала из-за их высокой жесткости в плоскости максимального изгиба в направлении диапазона. СК дают возможность проектирования большепролетных зданий без промежуточных опор в пролете Основным началом развития СК стало использование именно железобетонных конструкций. В 1940-х годах техническое развитие пошло дальше, и некоторые из первоначальных проблем, например, проблемы с жесткими соединениями, были решены. Начались эксперименты с новыми типами конструкций из складчатых пластин, и были исследованы другие материалы. Складчатые конструкции выполняют, в основном, из жестких материалов таких как железобетон, металлические профили и дерево (табл. 1).

Таблица 1. Материал складчатых конструкций
Table 1. Material of folded structures

Железобетон	Металл	Дерево
 <p>а. Церковь Нотр-Дам в Руайане, Франция. 1958 г.</p>	 <p>б. Кадетская часовня Академии ВВС, США. 1962 г.</p>	 <p>в. Цирк «шляпа Кни», Швейцария. 2021 г.</p>
а. Notre-Dame Church at Royan, 1958	б. United States Air Force Academy Cadet Chapel, 1962	с. Knie's Magician's Hat, Switzerland, 2021

а. Источник / *a. Source:* <https://hestia-locathermes.fr/wp-content/uploads/2020/06/eglise-notre-dame-royan.jpg>

б. Источник / *b. Source:*

<https://i.pinimg.com/originals/bd/d7/96/bdd7961d7e7266127ec715abf2dd0de6.jpg>

в. Источник / *c. Source:* [https://www.dlupal.com/-/media/Images/website/img/020001-030000/026901-](https://www.dlupal.com/-/media/Images/website/img/020001-030000/026901-027000/026937.jpg?la=en&mlid=D3DBEE2BF9154BD4B3B89EF1FA290B23&hash=DD5DD9FD8629EE1A22A628ABF73C8CE8E4CE317B)

[027000/026937.jpg?la=en&mlid=D3DBEE2BF9154BD4B3B89EF1FA290B23&hash=DD5DD9FD8629EE1A22A628ABF73C8CE8E4CE317B](https://www.dlupal.com/-/media/Images/website/img/020001-030000/026937.jpg?la=en&mlid=D3DBEE2BF9154BD4B3B89EF1FA290B23&hash=DD5DD9FD8629EE1A22A628ABF73C8CE8E4CE317B)

Применение материала для СК в исследуемых объектах: железобетонные – 72%, металл – 22%, дерево – 6%. Первоначально фальцевые конструкции относились к железобетонным конструкциям, и долгое время существовало предубеждение, что этот тип строительства может быть выполнен только из железобетона. Во второй половине XX века СК изготавливались из стали, дерева, полиэфирной смолы, стекла, а также их комбинации.

Для расчета складчатых конструкций (в том числе, складчатых пластинчатых конструкций, стального настила) были усовершенствованы известные способы расчета конструкций, а также были выведены новые способы и методы расчета [12-16]. Материалами могли служить композиты с многослойной структурой. Применение неагрессивного армирования, например, полимера, армированного углеродным волокном (CFRP), позволяет создавать филигранные бетонные элементы с тонким бетонным покрытием только для выполнения требований по сцеплению [17-18]. Совместная работа инженерной информатики, автоматизированного проектирования над формообразованием СК повысили уровень знаний в области цифровой архитектуры [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На основе проведенного анализа и изучения истории возникновения, развития складчатых конструкций и их использования в архитектуре, предлагаем выделить этапы развития складчатых конструкций (табл. 2).

Таблица 2. Этапы развития складчатых конструкций в архитектуре
Table 2. Stages of development of folded structures in architecture

Зарубежный опыт	Отечественный опыт
1 этап – развитие складок (1920-1949гг.);	1 этап – развитие складок (1930-1940, 1945-1950е гг.);
2 этап – пик использования (1950-1990е гг.);	2 этап – активное применение складок (1960-1980гг.)
3 этап – угасание использования (2000-2010гг.);	3 этап – угасание использования (1981-2014гг.)
4 этап – возобновление применения (2011 – по настоящее время).	4 этап – возобновление применения (2015 – по настоящее время).

Как мы видим, периоды развития складчатых конструкций в архитектуре в зарубежной и отечественной практике по своему прохождению пути развития похожи, но различны во временных границах. Рассмотрим схожие черты различных периодов, характерные для обеих практик.

Первый этап «развитие складок». Изначально фальцованные плиты использовались в основном в конструкциях с большими пролетами, таких как промышленные и складские здания, поскольку они предлагали наиболее эффективный и экономичный вариант без необходимости использования колонн. Появились новые формы со складками, первые своды-оболочки. Железобетон и металл, – основные материалы СК.

Второй этап: «пик использования». Развитие складчатых конструкций полностью зависело от разработки бетона, композитов и армирования. Первые складчатые бетонные конструкции имели простой однонаправленный гофр, состоящий из повторяющихся элементов. Многоскладчатые покрытия, часто выполняли с консольным свесом, который использовался, как и активный профиль, так и солнцезащитный козырек. Пик использования складок в отечественной практике в крупных общественных зданиях из железобетона и металла пришелся на период с 1960-х годов. В отечественной практике, как и в зарубежной, использовали купольные композиции их железобетона. В своих исследованиях эффективности материалов и конструкций в 60-х годах Пьер Луиджи Нерви усовершенствовал *принцип гофрирования сводов в виде складчатых поверхностей*. Большинство конструкций из фальцованного плитного бетона, которые он создал, были основаны на простой геометрии параллельных или обратно косых складок. По местоположению в архитектуре зданий этот тип конструкции стали использовать как *кровельные, напольные и стеновые конструкции, комбинированное сочетание*. В инженерных сооружениях применяются в мостах и подпорных стенах.

Инженеры и архитекторы стали ценить СК за их преимущества по сравнению с другими конструкциями, например, за их двойные функции (ограждающей и несущей структуры), повышенные архитектурно-эстетические качества, большая конструктивная высота, жесткость, меньший вес нетто, меньшая толщина и размеры элементов. СК дают возможность проектирования большепролетных зданий без промежуточных опор в пролете. Список функций зданий с применением СК расширился. Формы, габариты СК стали интереснее. Рассмотрим разнообразие форм СК на примере зарубежного опыта проектирования (табл. 3) и отечественного (табл. 4).



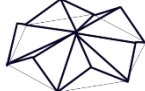





Таблица 3. Анализ общественных зданий с применением СК зарубежного опыта проектирования до 2000-х гг.

Table 3. Analysis of public buildings using folded structures of foreign design experience up to the 2000 s.

Фотография. Функция, Место и год постройки		Характеристики
Конгресс-холл ЮНЕСКО	 <p>Конференц зал. Административное. Париж, 1958г.</p>	<p>Складки – стены, покрытие. Визуальное восприятие – вблизи здания. Сочетание стекла, ритма окон и складчатости «деревянных» стен, различной фактуры материалов. Восточная и западная стены - из гофрированного бетона с текстурой деревянных опалубочных досок и контрастирующей с гладким травертином и гранитом более длинных сторон. Здание покрыто ребристой железобетонной крышей в форме бабочки, покрытие – медь. Площадь зала – 526 кв.м.</p>
<p>Conference hall, Paris, 1958 Источник / Source: https://files.structurae.net/files/photos/1/804776/0025.jpg</p>		
Актный зал	 <p>Спортивный зал. Спортивное. Иллинойс, 1963г.</p>	<p>Складки – купол. Массивный объем, ассоциация – летающая тарелка. Визуальное восприятие – с расстояния. Актный зал представляет собой большую крытую арену куполообразной складчатой формы в виде двух чаш. Площадь зала под куполом – около 1600 кв.м.</p>
<p>Sports Hall, Illinois, 1963 Источник / Source: https://sumacinc.com/wp-content/uploads/elementor/thumbs/SUMAC-Sustainability-UniversityofIllinois-AssemblyHall-pkuyyk6afo7ea6fr5do8bu4ovv4l1vag41r9n0qli0.jpg</p>		

Железобетонные складки могут быть изготовлены в виде монолитной конструкции, сборно-монолитной, сборной конструкции. Для монолитных конструкций лучше принимать складки прямоугольного или трапециевидного сечения, так как повышает жесткость оболочки. Существуют балочные складки (фермы шириной не менее 3 м, ширина больше 3 м – опирание на колонны) и призматические складки или складчатые оболочки. При стержневой системе уменьшается вес конструкции. В это же время СК использовались не только в сводах, но еще и в стеновых конструкциях.

Таблица 4. Формы складчатых конструкций на примере отечественного опыта проектирования
Table 4. Forms of folded structures on the example of domestic design experience


<p>Кровельные (линейные)</p> 		<p>Курский вокзал, г. Москва, 1972 г. Kursky railway station, Moscow, 1972</p> <p><i>Источник / Source:</i> https://turproezdka.ru/wp-content/uploads/2018/07/2-kurskij-vokzal.jpg</p>
<p>Кровельные (радиальные)</p> 		<p>Цирк на ул. Вернадского, г. Москва, 1971 г. Circus on the st. Vernadsky, Moscow, 1971</p> <p><i>Источник / Source:</i> https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Moscow_Circus_at_Vernadskogo_asv2018-08.jpg/6944px-Mapcarta.jpg</p>
<p>Оболочковые</p> 		<p>Даниловский рынок, г. Москва, 1963 г. Danilovsky market, Moscow, 1963</p> <p><i>Источник / Source:</i> https://cdn.the-village.ru/the-village.ru/post_image-image/CGzf8vKBIUCk-6gA7AN14w.jpg</p>
<p>Стеновые, комбинированные</p> 		<p>Павильон СССР на экспо-70, Япония, 1970 г. USSR Pavilion at Expo-70, Japan, 1970</p> <p><i>Источник / Source:</i> https://p.potaufeu.asahi.com/ca0b-p/picture/26229351/7650e9866d6849ff94b014b306bc7f26.jpg</p>

Разнообразие форм СК проявлялось не только в отдельном архитектурно-конструктивном элементе, как например, в покрытии, а стало влиять на формообразование всего объема здания. Складчатые конструкции формируют не только объем здания, но и играют роль и в интерьере здания, в которое включены.

Третий этап «угасание использования». В нашей стране после 80-х годов прекратили использовать данные конструкции из-за дороговизны и сложности реализации. Произошло «забвение» данных конструкций. За 30 лет построено малое количество зданий и сооружений с использованием складчатых конструкций. Провал в применении складчатых конструкций пришелся примерно в те же годы, что и в зарубежной практике. Причина одна и та же – сложность в расчетах, сложность в проектировании. Но, как выше уже было сказано, на сегодняшний день появились технологии, которые способны решить те или иные проблемы.

Четвертый этап «возобновление применения». Развитие новых технологий, особенно параметрическое моделирование, позволяют не только рассчитывать конструкции, но и совершенствовать облик здания. В отечественной практике пока не так много современных примеров с применением складчатых конструкций, как в зарубежной (табл. 5).

Таблица 5. Анализ современных общественных зданий с применением СК с 2011 по настоящее время
Table 5. Analysis of modern public buildings with SC from 2011 to the present

	Фотография. Функция, Место и год постройки	Характеристики
1. Отечественные здания		
Аэропорт Пулково	 <p>1. Аэропорт Пулково. г. Санкт-Петербург, 2015 г. Pulkovo Airport, St. Petersburg, 2015 Источник / Source: https://1.bp.blogspot.com/-Tt19I3oheOU/VLZPsRMBHNI/AAAAAAAAAB2s/xhs7epvHMWs/s1600/xhr%2B007.jpg</p>	<p>Складка – кровельное покрытие. Материал складок – алюминиевые пластины. Опирается на ж/б колонны. Пролет – 18м. Сочетание стекла, позолоченных пластин. Площадь здания – 104 846 кв. м</p>
2. Зарубежные здания		
Baku Crystal Hall	 <p>2. Зрелищное. г. Баку, 2012 г. Baku Crystal Hall, Baku, 2012 Источник / Source: https://static.dezeen.com/uploads/2013/10/dezeen_Baku-Crystal-Hall_3.jpg</p>	<p>Складки – стены, покрытие. Массивный объем здания, кристаллической формы. Визуальное восприятие – с расстояния. Стальная конструкция с 180 панелями. Площадь арены – 10964 кв. м</p>
Дворец бракосочетаний	 <p>3. Общественное здание, Япония, 2012 г. Wedding Palace, Japan, 2012 Источник / Source: https://images.adsttc.com/media/images/512f/b58f/b3fc/4ba0/ee00/020d/slideshow/pltm_005.jpg?1362081163</p>	<p>Складки – «Плиссированные стены». Треугольные складки на фасаде и в интерьере имитируют фактуру ткани для свадебных платьев plissé. Визуальное восприятие – с расстояния и вблизи.</p>

Продолжение таблицы 5
Continuation of Table 5

Большой театр Сунак	 <p>4. Театр, зрелищное. Гуанчжоу, 2020г. Sunac Guangzhou Grand Theatre, Guangzhou, 2020</p> <p><i>Источник / Source: https://archello.s3.eu-central-1.amazonaws.com/images/2020/12/30/sca---steven-chilton-architects-sunac-guangzhou-grand-theatre-theaters-archello.1609350519.6804.jpg</i></p>	<p>Складки – оболочковая. Массивный объем здания, напоминающие крупные складки шелка. Визуальное восприятие – с расстояния. Стальная конструкция с треугольными алюминиевыми панелями.</p>
Концертный зал Тайбэйского музыкального центра	 <p>5. Музыкальный центр. Тайбэй, 2020г. Taipei Music Center, Taipei, 2020</p> <p><i>Источник / Source: https://images.adsttc.com/media/images/5f5a/9aba/63c0/178e/ee00/02d5/slideshow/DJI_0081_1800.jpg?1599773363</i></p>	<p>Складки – оболочковая. Массивный объем здания в виде крупного кристалла. Визуальное восприятие – с расстояния. Стальная конструкция с алюминиевыми панелями. Площадь здания – 70200кв. м</p>

Первое направление современного использования СК

Большепролетные конструктивные системы с использованием СК в покрытии и/или в стенах в разные временные периоды имеют ряд общих признаков, схожих целей:

- перекрыть большие пространства, залы;
- малый вес и толщина конструкции по сравнению с перекрываемым пролетом;
- формообразование носит функционально-конструктивный характер.

Данное направление продолжает развиваться в настоящее время. Конструктивное и архитектурное программирование, новые строительные материалы, технологии возведения зданий позволяют проектировать и возводить необычные формы, объемы для большепролетных общественных зданий. Стены-складки увеличивают жесткость вертикальных конструкций – стен. Данные здания и сооружения, как правило, имеют массивный объем, воспринимаемый с расстояния (табл. 4). Как и раньше, СК подчиняют и организуют весь объем здания. Определяющее значение приобретает конструкция покрытия главного зала и наружных стен. Габариты и форма складок моделируют весь объем здания. СК формируют архитектурно-градостроительный облик здания, чаще всего такие здания становятся доминантными в застройке. По функции, как правило: общественные, зрелищные, спортивные. Продолжается технический прогресс в историческом развитии СК для большепролетных общественных зданий.

По данному направлению от начала развития СК и до сегодняшних дней можно проследить, в объектах с какими функциями применялись СК (табл. 6.).

Таблица 6. Функциональное назначение исследуемых объектов с применением СК
Table 6. Functional purpose of the investigated objects with the use of folded structures

<i>Отечественные объекты</i>	<i>Зарубежные объекты</i>
Культурно-просветительские/зрелищные – 37,5% Транспортные – 37,5% Спортивные – 12,5% Торговые – 12,5%	Культурно-просветительские/зрелищные – 39% Транспортные – 5,5% Спортивные – 5,5% Религиозные – 17% Многофункциональные – 5,5% Промышленные – 11% Образовательные – 5,5% Общественного питания – 5,5% Административные – 5,5%


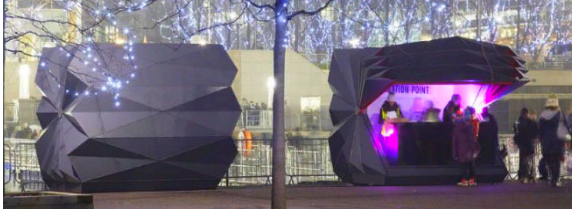



Второе направление современного использования СК

Данное направление отличается от традиционного развития СК для покрытий и стен. В одном объекте применяются складки разного габарита и формы, разного сочетания, ритма. В объеме здания для формообразования используются скорее складчатые формы, чем складчатые конструкции (табл. 7). В современных зданиях происходит создание неповторимого облика за счет применения фасадных складчатых элементов. Данные складчатые элементы могут быть несущими, самонесущими, навесными, декоративными. Могут быть частью стены, покрытия, а могут формировать весь объем здания. Рельефные фасады с «ребрами», углами, веерными складками, здания-кристаллы, архитектура-«оригами» и т.д., – создают динамику фасадов, индивидуальный и удивительный облик, архитектура на грани искусства. Архитектурная форма «живая», создана, как скульптурный объект. Форма здания собрана из элементов, как мозаика, где каждый элемент несет визуальный посыл в создании неповторимого облика. Складчатые элементы «разрушают» тектонику стен, покрытий в привычном понимании. Материал для складчатых элементов применяется разнообразный, это и бетон, дерево, металлические и композитные панели, стекло.

Функции зданий и сооружений, масштабы и габариты зданий с применением фасадных складчатых элементов различны; начиная от музеев, выставочных залов, продолжая офисными зданиями, завершая торговыми центрами и торговыми киосками (табл. 7).

Таблица 7. Примеры современных общественных зданий с применением СК
Table 7. Examples of modern public buildings using folded structures

Фотография. Функция, место и год постройки	
	<p>Образовательный и культурный центр, посвящен изучению современного искусства. Арх. Заха Хадид.</p>
<p>1. Музей искусств Эли и Эдит Брод (Eli and Edythe Broad Art Museum). На территории Мичиганского университета. США, г. Мичеган. 2012 г. Eli and Edythe Broad Art Museum, Michigan State University, 2012 <i>Источник / Source:</i> https://www.lord.ca/de/cache/projects/115/hero_detail_5076_2_12-34B-68A%20CAP.jpg</p>	
	<p>Здание выполняет три функции – как зал для проведения публичных мероприятий и симпозиумов, народный музей для демонстрации японской культуры и образа жизни, и туристический информационный центр</p>
<p>2. Музей для показа местных ремесел и общественный центр. Kengo Kuma & Associates. Япония г. Каватана. 2009г. Shimonoseki-Shi Kawatana Onsen Koryu Center, Kawatana, 2009 <i>Источник / Source:</i> https://kkaa.co.jp/img/2009/11/08-1.jpg</p>	
	
<p>3. Выставочный зал компании Emporio. архитектурной фирмы NU.DE. Индия, Каннур. 2014 г. Emporio Showroom, India, 2014 <i>Источник / Source:</i> https://static.designboom.com/wp-content/uploads/2014/06/nude-emporio-designboom-02.jpg</p>	<p>4. Павильон 21 MINI Opera Space. Германия, г. Мюнхен. 2010 г. Pavilion 21 MINI Opera Space, Germany, 2010 <i>Источник / Source:</i> https://www.muenchenarchitektur.com/images/16017/_thumb1/15597.jpg</p>

	<p>5. Галерея Starhill, фирма Spark Architects. Малайзия, г. Куала-Лампур. 2011 г. Starhill Gallery, Kuala Lumpur, Malaysia, 2011 Источник / Source: https://images.adsttc.com/media/images/5138/e22c/b3fc/4b17/6f00/004f/large_jpg/5309001_2011_08_08_SH03_Lin_Ho.jpg?1432645233</p>
	<p>6. Киоск, фирма Make Architects. Великобритания, г. Лондон. 2014 г. Kiosk by Make Architects, London, 2014 Источник / Source: https://archello.s3.eu-central-1.amazonaws.com/images/2014/02/19/Make-Architects-Copyright-29.1506072721.9128.jpg</p>
	<p>7. Культурно-спортивный центр. Словакия, г. Кошице. 2013 г. Архитектурное бюро Atrium Studio. Стена для скалолазания. Пять этажей с выставочными пространствами, эксплуатируемая кровля. Cultural and sports center. Slovakia, Kosice, 2013 Источник / Source: https://images.adsttc.com/media/images/550b/bc85/e58e/ceb2/7000/018b/newsletter/BUR_VM_001.jpg?1426832499</p>
 <p>8. Здание PIT3 Technology Park, арх. компания Grupo ARKHOS, Мексика. 2013 г. PIT3 Technology Park, Mexico, 2013 Источник / Source: https://images.adsttc.com/media/images/546c/c0c1/e58e/ce78/db00/00a6/large_jpg/PIT3_51.jpg?1416413342</p>	 <p>9. Офисное здание Ginza в Токио, Япония. 2013 г. Арх. студия «Amano design office» Ginza office building in Tokyo, Japan, 2013 Источник / Source: https://images.adsttc.com/media/images/522f/e4f5/e8e4/4e33/3b00/0122/slideshow/Portada.jpg?1378870509 https://images.adsttc.com/media/images/522f/e3b3/e8e4/4e33/3b00/0119/slideshow/dear_ginza_003.jpg?1378870186</p>

Функциональное назначение объектов с применением складчатых конструкций:

- церкви, храмы, часовни;
- зрелищные здания: цирки, концертные залы;
- спортивные, физкультурно-оздоровительные здания и сооружения, в том числе, стадионы.
- торговые здания и сооружения, в том числе, рынки;
- транспортные сооружения и здания: аэропорты, вокзалы
- многофункциональные здания.

Функциональное назначение объектов с применением складчатых элементов в современной архитектуре зданий расширяет спектр функционального применения, это и офисные здания, и торговые павильоны и киоски, небольшие по габаритам и объемам общественные здания.

Материал для складчатых конструкций и элементов разнообразен. Формы, габариты складок, их расположение играют первостепенную роль в формообразовании объема зданий и визуального восприятия облика здания. Позволяют сегодня создавать архитектуру будущего.

ВЫВОДЫ

В результате исследований применения складчатых конструкций в разные временные периоды, от начала их появления до сегодняшних дней, можно с уверенностью сказать, что на складчатые конструкции «мода возвращается». Сегодня существует два направления в современном проектировании с применением СК. Первое направление, – это новый виток в развитии СК для большепролетных покрытий и стен, но только теперь есть мощная основа в виде программирования сложных конструкций для воплощения творческого потенциала СК в архитектуре, появились инновационные строительные материалы и технологии, позволяющие реализовать объект. Второе направление связано с использованием складчатых конструкций не по прямому первоначальному назначению в виде несущих конструкций, а как фасадные складчатые элементы, работающие исключительно на создание неповторимого облика здания. Здания с использованием складчатых конструкций и складчатых элементов становятся примерами для разных новых, современных стилей в архитектуре, таких как, кинетическая архитектура, параметрическая архитектура, полигональная архитектура и т.д. Можно с уверенностью сказать, что складчатые конструкции актуальны в современной архитектуре. Применение складчатых конструкций и архитектурных складчатых элементов в архитектуре современных зданий дает большой простор для воплощения смелых архитектурных идей и создания неповторимых, индивидуальных архитектурных форм, объемов зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции: учеб. пособие. М.: «Архитектура-С», 2006. 120 с.
- [2] Киричков И.В. Тенденции развития складчатого формообразования в современной архитектуре // Архитектура и дизайн. 2019. № 2. С. 7 – 16. DOI: 10.7256/2585-7789.2019.2.30833
- [3] Ярмош Т.С., Храбатина Н.В., Мирошниченко В.В. Складчатые конструкции. Перспективы развития новых форм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 71 – 75.
- [4] Свинцова А.С. Пространственные большепролетные складчатые конструкции покрытия (складки) // Вестник магистратуры. 2016. № 8 (59). С. 24 – 26.
- [5] Энгель Х. Несущие системы / Предисл. Ральфа Рапсона; пер. с нем. Л.А. Андреевой. М.: АСТ: Астраль, 2007. 344 с.
- [6] Moussavi F. The function of form. Actar, 2009. 519 p.
- [7] Vyzoviti S. Folding architecture: Spatial, structural and organizational diagrams. Amsterdam: BIS Publishers, 2003.
- [8] Carpo M. The digital turn in architecture 1992-2012. John Wiley & Sons Limited, 2013.
- [9] Wilby C.B. Concrete folded plate roofs. Elsevier, 2005. 308 p.

- [10] Šekularac N., Ivanović-Šekularac J., Čikić-Tovarović. Folded structures in modern architecture // *Architecture and Civil Engineering*. 2012. Vol. 10. № 1. P. 1 – 16. DOI: 10.2298/FUACE1201001S
- [11] Демина А.В. Здания с большепролетными покрытиями: учеб пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. университета, 2003. 88 с.
- [12] Bar-Yoseph P., Hersckovitz I. Analysis of folded plate structures // *Thin-Walled Structures*. 1989. Vol. 7. № 2. P. 139 – 158. DOI: 10.1016/0263-8231(89)90016-5
- [13] Song M.-K., Kim K.-H., Kim S.-H. Adaptive finite element buckling analysis of folded plate structures // *Structural Engineering and Mechanics*. 2006. Vol. 24. № 2. P. 269 – 273. DOI: 10.12989/sem.2006.24.2.269
- [14] Danial A.N., Doyle J.F., Rizzi S.A. Dynamic analysis of folded plate structures // *Journal of Vibration and Acoustics*. 1996. Vol. 118. № 4. P. 591 – 598. DOI: 10.1115/1.2888339
- [15] Ohga M., Shigematsu T., Kohigashi S. Analysis of folded plate structures by a combined boundary element-transfer matrix method // *Computers & Structures*. 1991. Vol. 41. № 4. P. 739 – 744. DOI: 10.1016/0045-7949(91)90183-m
- [16] Iffland J.S.B. Folded plate structures // *Journal of the Structural Division*. 1979. Vol. 105. № 1. P. 111 – 123. DOI: 10.1061/JSDEAG.0005070
- [17] Sidharta Muljadinata A., Subakti Darmawan A.M. Redefining folded plate structure as a form-resistant structure // *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11. № 7. P. 4782 – 4792.
- [18] Stark A., Classen M., Knorrek C., Camps B., Hegger J. Sandwich panels with folded plate and doubly curved UHPFRC facings // *Structural Concrete*. 2018. Vol. 19. № 6. P. 1851 – 1861. DOI: 10.1002/suco.201700288
- [19] Rezaei Rad A., Burton H., Rogeua N., Vestartasa P., Weinand Y. A framework to automate the design of digitally-fabricated timber plate structures // *Computers & Structures*. 2021. Vol. 244. Art. № 106456. DOI: 10.1016/j.compstruc.2020.106456

REFERENCES

- [1] Lebedeva N.V. Trusses, arches, thin-walled spatial structures: textbook. M.: "Architecture-S", 2006. 120 p. (rus.)
- [2] Kirichkov I.V. Trends in the development of folded shaping in modern architecture. *Architecture and Design*. 2019. 2. P. 7 – 16. DOI: 10.7256/2585-7789.2019.2.30833 (rus.)
- [3] Yarmosh T.S., Khrabatina N.V., Miroshnichenko V.V. Folded structures. Prospects for the development of new forms. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. 12. P. 71 – 75. (rus.)
- [4] Svintsova A.S. Spatial large-span folded structures of the coating (folds). *Bulletin of Magistracy*. 2016. 8 (59). P. 24 – 26. (rus.)
- [5] Engel H. Carrier systems / Preface. Ralph Rapson; translated from German by L.A. Andreeva. M.: AST: Astrel, 2007. 344 p. (rus.)
- [6] Moussavi F. The function of form. Actar, 2009. 519 p.
- [7] Vyzoviti S. Folding architecture: Spatial, structural and organizational diagrams. Amsterdam: BIS Publishers, 2003.
- [8] Carpo M. The digital turn in architecture 1992-2012. John Wiley & Sons Limited, 2013.
- [9] Wilby C.B. Concrete folded plate roofs. Elsevier, 2005. 308 p.
- [10] Šekularac N., Ivanović-Šekularac J., Čikić-Tovarović. Folded structures in modern architecture. *Architecture and Civil Engineering*. 2012. 10 (1). P. 1 – 16. DOI: 10.2298/FUACE1201001S
- [11] Demina A.V. Buildings with large-span coverings: textbook. Tambov: Publishing House of the Tambov State Technical University, 2003. 88 s.
- [12] Bar-Yoseph P., Hersckovitz I. Analysis of folded plate structures. *Thin-Walled Structures*. 1989. 7 (2). P. 139 – 158. DOI: 10.1016/0263-8231(89)90016-5

- [13] Song M.-K., Kim K.-H., Kim S.-H. Adaptive finite element buckling analysis of folded plate structures. *Structural Engineering and Mechanics*. 2006. 24 (2). R. 269 – 273. DOI: 10.12989/sem.2006.24.2.269
- [14] Danial A.N., Doyle J.F., Rizzi S.A. Dynamic analysis of folded plate structures. *Journal of Vibration and Acoustics*. 1996. 118 (4). R. 591 – 598. DOI: 10.1115/1.2888339
- [15] Ohga M., Shigematsu T., Kohigashi S. Analysis of folded plate structures by a com-bined boundary element-transfer matrix method. *Computers & Structures*. 1991. 41 (4). R. 739 – 744. DOI: 10.1016/0045-7949(91)90183-m
- [16] Iffland J.S.B. Folded plate structures. *Journal of the Structural Division*. 1979. 105 (1). P. 111 – 123. DOI: 10.1061/JSDEAG.0005070
- [17] Sidharta Muljadinata A., Subakti Darmawan A.M. Redefining folded plate structure as a form-resistant structure. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. 11 (7). P. 4782 – 4792.
- [18] Stark A., Classen M., Knorrek C., Camps B., Hegger J. Sandwich panels with folded plate and doubly curved UHPFRC facings. *Structural Concretethis link is disabled*. 2018. 19 (6). P. 1851 – 1861. DOI: 10.1002/suco.201700288
- [19] Rezaei Rad A., Burton H., Rogeoua N., Vestartasa P., Weinand Y. A framework to automate the design of digitally-fabricated timber plate structures. *Computers & Structures*. 2021. 244 (106456). DOI: 10.1016/j.compstruc.2020.106456

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Шамаева Т.В., e-mail: ShamaevaTV@yandex.ru, тел. +7(915)309-80-04, ORCID ID: 0000-0001-5107-5457
SCOPUS ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208010058>, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра Архитектуры, кандидат архитектуры, доцент

Shamaeva T.V., e-mail: ShamaevaTV@yandex.ru, tel.: +7(915)309-80-04, ORCID ID: 0000-0001-5107-5457, SCOPUS ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208010058>, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Department of Architecture, Candidate of Architecture (Ph.D.), Associate Professor

Пирогова П.В., e-mail: polapir@mail.ru, тел. +7(925)420-18-64, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6995-0168>, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кафедры Архитектуры, магистрант

Pirogova P.V., e-mail: polapir@mail.ru, tel.: +7(925)420-18-64, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6995-0168>, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Department of Architecture, Master Student of Architecture Department

Поступила в редакцию 25 декабря 2022 г.
Принята в доработанном виде 19 января 2023 г.
Одобрена для публикации 18 февраля 2023 г.

Received: December 25, 2022.
Revised: January 19, 2023.
Accepted: February 18, 2023.