

Д.А. Жегалова¹, С.Ш. Садыкова^{1*}

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Информация об авторах:

Жегалова Дарья Александровна – магистрант кафедры «Архитектура» Евразийского Национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7497-6669>, e-mail: Dasha_7g_95@mail.ru

Садыкова Сара Шангереевна, кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура» Евразийского Национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2777-1556>, e-mail: sara.arch@mail.ru

ЭТАПЫ И ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ В РАЗВИТИИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. *Определение перспективы развития конструктивных систем пространства невозможно без анализа эволюционного развития строительных конструкций с момента их возникновения. В изложенном материале дан анализ развития конструктивных решений в процессе исторического развития общества. Обобщены исторические факты и предпосылки создания конструктивных решений, перекрывающие архитектурные пространства, выделены и конкретизированы основные этапы поступательного развития конструктивных систем в соответствии с развитием научно-технического прогресса.*

Ключевые слова: *арка, конструкции, конструктивные системы, свод, безопорное пространство, стальная сетчатая оболочка.*

Введение

В различные исторические периоды развития человеческого общества применяются конструктивные приемы, существенно влияющие на создание архитектурного облика здания. Первые конструкции, основанные на статике и равновесии, возникли еще в древних цивилизациях мира и были основаны на использовании опор и балок. При дальнейшем развитии инженерной мысли появились арки и своды. Пиком возможностей таких материалов явилась архитектура Древнего Рима и средневековья (Ренессанс и Готика). Кроме того, устройство пространственных конструкций больших размеров стало возможным благодаря изобретению связующих компонентов, прототипов цемента и бетона.

Материалы и методы

В статье проведен анализ развития строительных конструкций, обобщены и выделены основные этапы развития конструктивных систем в соответствии с научно-техническим прогрессом.

Результаты и обсуждение

Развитие большепролетных конструктивных систем можно проследить, начиная с архитектуры Древнего мира. Например, наиболее ярким примером создания пространственной конструкции в виде купола, является Пантеон в Риме

(рис. 1). В том виде, в котором он существует в наше время, он был создан Аполлодором Дамасским в 126 г. н.э. при императоре Андриане. Создание Пантеона было революционным событием для того времени как с точки зрения религии, так и с точки зрения строительных конструкций. В отличие от других храмов, посвященных одному, максимум двум богам, Пантеон вместил в себя алтари всех главных богов римлян. Особое внимание стоит уделить конструкции полусферического купола, покрывающее основное пространство здания. Купол, опираясь на мощные стены, толщиной 6 метров, равномерно распределяет массу в 5 тысяч тонн. Тяжесть конструкций вынуждала к возведению широких несущих стен с опорой на массивный фундамент. С увеличением высоты свода купола, толщина стен уменьшается, с 6 м у основания, до 1,5 м по центру купола. Для уменьшения массы купола зодчий впервые применил облегчение сводов в виде кессонов-углублений в полости перекрытия. Всего 140 углублений, уменьшающих массу крыши. Высота здания и диаметр купола одинаковы – 43,5 м. Места у стен в нишах, занимали статуи богов, и свет через отверстие в куполе поочередно освещал каждую статую, создавая эффект подсветки, передавая божественную сущность происходящего [1].



Рисунок 1 – Пантеон «Храм всех богов». Римская империя.

2 в.н.э. Аполлодор Дамасский [1]

[Источник: <http://www.kannelura.ru/?p=1400>]

Другим уникальным сооружением Древнего мира, передающим представления о развитии и преемственности конструктивных систем тех времен, является Амфитеатр Флавиев (Колизей). И хотя Колизей утратил две трети своей первоначальной массы, оставшиеся руины позволяют иметь представление об этом сооружении и примененных в нем конструктивных приемах (рис. 2). План сооружения имеет форму эллипса (длина большей оси – 524 м, высота – 48-50 м), в середине которого устроена арена (также эллиптической формы – 187,77x155,64 м) и вокруг нее устроены концентрическими кольцами места для зрителей [2].

Внешний фасад сооружения состоит из трех ярусов арок, простенки между которыми обрамлены полуколоннами, тосканского, ионического и коринфского древнегреческих ордоров. Пролеты арок среднего и верхнего ярусов

украшались статуями. Завершал сооружение четвёртый более высокий этаж, представляющий сплошную стену, разделенную коринфскими пилястрами на компартименты.

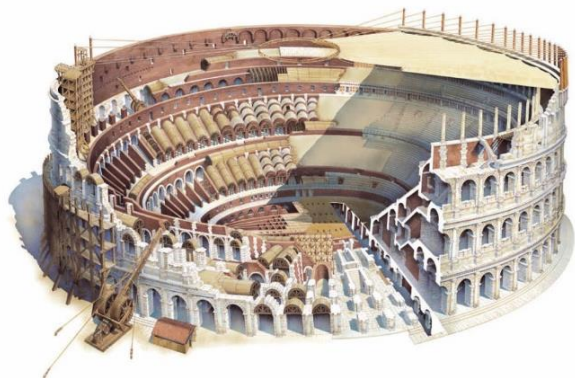


Рисунок 2 – Амфитиатр Флавиев(Коллизей). Римская империя. 1 в.н.э.
[Источник: https://www.tsaritsyn-tours.com/?attachment_id=4933/wp-admin/install]

На большой и малой осях эллипса располагаются четыре главных входа в виде трёхарочных ворот, которые предназначались для торжественных шествий перед началом представлений. Вход зрителей в амфитеатр организован под арками нижнего этажа, они поднимались к своим местам по лестницам, которых было 76. Места располагались равномерно по окружности всей арены в виде рядов каменных скамей, поднимающихся одна над другой. Над третьим ярусом амфитеатра находился портик, опоясывавший всю окружность здания. На его крыше, во время представлений, находились матросы императорского флота, для ручного натягивания над амфитеатром огромного тента, в целях создания благоприятных условий для зрителей. Тент этот прикреплялся с помощью канатов к мачтам, расставленным по верхнему краю стены. Они уцелели до наших времен в местах, где ещё сохранился четвёртый этаж. По всей видимости, тентовое покрытие Колизея, стало прообразом современных натяжных и супернатяжных конструкций, получивших развитие в середине XX в. Места для зрителей подпирались снизу мощной сводчатой конструкцией, заключавшей в себе сеть коридоров и лестниц, для прохождения в верхние ярусы. Инженерная идея амфитеатра проста и рациональна. Каркас сооружения представляет собой связанную конструкцию пересекающихся радиальных (отходящих от арены во все стороны) и концентрических (окружающих арену) стен, которая придает сооружению прочность и жесткость. Всего возведено 80 постепенно повышающихся радиальных и 7 концентрических стен. Колизей демонстрирует, что уже в древние времена зодчие решали сложные архитектурно-конструктивные задачи в создании монументального здания [3].

Отличительной чертой архитектурно-строительных конструкций древних времен была большая массивность, что вынуждало к возведению массивных опорных и несущих колон. Следовательно, древние зодчие помимо композици-

онных и эстетических задач, ставили перед собой цели по равномерному распределению нагрузки в конструкциях, что обусловило применение ими сводчатых конструкций.

С развитием архитектуры, зодчие изобретали новые способы решения задачи равномерного распределения нагрузки в сводчатых конструкциях. Так, в период готической архитектуры, для устойчивости массивных несущих стен культовых сооружений использовались системы аркбутанов с контрфорсами. В результате сечение несущих стен уменьшилось, масса стены облегчилась. Изменения коснулись и приемов устройства сводов. До готического периода кладка свода и купола выполнялась из массивных камней одинаковой величины, что часто приводило к обрушению сводов. Это побудило к изобретению нервюр, которые являлись конструктивными ребрами жесткости, служившими опорой и распределителем усилий в сводчатой системе. При этом, всю нагрузку воспринимали нервюры, а пространство между ними заполнялось облегченной кладкой. Такие приемы позволяли создавать в древности внутренние пространства, необходимых размеров. Сводчатые, купольные и арочные перекрытия применялись исключительно в культовых и общественных сооружениях. В Византийской архитектуре применялись: цилиндрический, парусный и крестовый свод. В архитектуре Средней Азии, Китая, Индии и Ближнего востока применялись стрельчатые своды.

Черты новой архитектуры и дальнейшее преемственное развитие конструктивных систем явились результатом влияния промышленной революции и связаны с зарождением сталепрокатной индустрии в середине XIX в. Габариты новых машин английских мануфактур, требовали просторных производственных помещений и минимумом опор. Чугунные колонны, в качестве опор, заменили деревянные и каменные стойки, они стали первыми элементами строительных конструкций, изготовленные новыми индустриальными методами. Усовершенствование процесса производства чугуна сделало его дешевым материалом даже по сравнению с деревом, а кроме того, он обеспечивал огнестойкость конструкции, чего не скажешь о деревянных балках. Этих преимуществ оказалось достаточно, чтобы обеспечить господствующее положение чугуна в качестве материала для стоек и колонн вплоть до 80-х годов XIX века, когда в Чикаго были впервые применены стальные каркасы.

Следующим этапом развития конструкторской мысли, послужило внедрение балок из стального проката. Примером конструкции такого типа, служит пятиэтажное здание фабрики, построенное в Нью-Йорке в 1848 г. Автор проекта - изобретатель каркаса Джеймс Богард (1800—1874). Применяя сборные элементы, Богард возводил такие здания повсеместно в США. В период между 1850 и 1880 годами прошлого века, американские универмаги, склады и административные здания строились по этой системе. Все эти здания представляют собой историческую ценность, демонстрируя огромный шаг вперед в развитии архитектурной конструкции. Наиболее впечатляющей работой Джеймса Богарда является проект, который был разработан для первой Всемирной выставки в Нью-Йорке в 1853 г. Главным преимуществом данного проекта автор считал

его экономичность – общая стоимость строительства составляла всего 200 тыс. долларов. При этом вся конструкция, могла быть снова разобрана, что представляло для того времени, большую ценность т.к., стандартные элементы конструкции могли быть повторно использованы. Предвидя возможность демонтажа здания, с целью использования его элементов, в будущем, Д. Богард предложил построить огромный круглый амфитеатр диаметром 360 м. Такое огромное здание, в плане в виде кольца, могло быть смонтировано из прямоугольных балок, которые имели возможность после закрытия выставки легко демонтироваться. Наружная обрамляющая стена – высотой 18 м, ряды арок и колонн, расположенные радиально, образовывали отдельные ярусы. В центре кольца, образованного стенами здания, устраивалась башня высотой 90 м, которая служила в качестве опоры для кровли из листового железа. Также проектом предусматривалось установка в башне подъемника, для желающих полюбоваться панорамой города с верхней площадки комплекса. Архитектурные формы сооружения, были выдержаны в традиционном стиле, но применяемая конструкция была смелым предсказанием будущих путей развития конструктивной мысли. В период между 1850 и 1880 гг., стандартные здания с фасадами, образованными чугунными элементами и нередко с чугунным каркасом, выросли по всей территории США. Применения металлических балок и стоек на промышленных мануфактурах приходится на начало XIX в., а уже через 80 лет интенсивного использования конструкций, осуществляется строительство первого небоскреба с использованием металлического каркаса. Начало нового этапа – эпохи строительства небоскребов, ознаменовало 10-этажное здание страховой компании в Чикаго, запроектированное Уильям ле Барон Дженни в 1883 г. [4]. Свободная конкуренция, стремление продемонстрировать дальнейшее развитие промышленности и строительных технологий отчетливо проявляется на Международных выставках второй половины XIX в. Дух конкуренции способствовал, с каждой последующей выставкой демонстрировать передовые достижения не только в области промышленности, но и не в последнюю очередь в архитектуре. На каждой из больших выставок, от первой в Хрустальном дворце в 1851 г. до последней, в конце XIX в., применялись новые, не встречавшиеся ранее конструкции. Самые значимые здания периода больших выставок — Хрустальный дворец, построенный в 1851 г., и Галерея машин, построенная в 1889 г. — не сохранились. Первое сгорело в 1937 г., второе было снесено в 1910 г.

Базой для создания Хрустального дворца послужила высокоразвитая английская индустрия (рис. 3). В основе проекта лежит применение самой рациональной для того времени системы производства сборных элементов — серийное изготовление стандартных частей, с системой соединения «ребень, входящий в паз», автором проекта был Джозеф Пакстон, который впервые использовал этот прием в конструкциях для оранжереи тропических растений в Чатсворте в 1837 г. В проекте Пакстона всё здание было разделено на части, посредством разработки простой системы сборных элементов заводского изготовления. В их составе были деревянные рамы для стекол, железные балки, на которые опирались листы стекла, и опорные чугунные стойки.

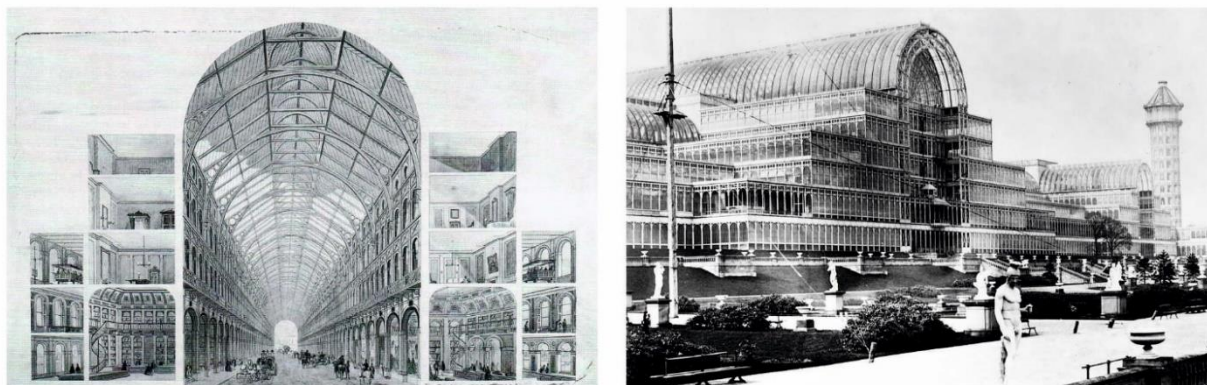


Рисунок 3 – Хрустальный дворец 1850-51гг. Всемирная выставка в Лондоне. Дж.Паксон [Источник: <https://thecharnelhouse.org/2013/05/15/paxtons-crystal-palace-at-hyde-park-1851>]

Все элементы конструкции были изготовлены на разных заводах в Бирмингеме и смонтированы на строительной площадке в Лондоне. Такая технология позволила сократить сроки сооружения здания площадью свыше 74 400 м², всего до шести месяцев. Общая длина здания составила около 563 м. Но при всем своем архитектурном совершенстве и новых конструктивных приемов Хрустальный дворец, не решал проблемы перекрытия сводом. Полуциркулярный свод в поперечном нефе имел деревянный каркас, а перекрытый им пролет в 22 м был меньше, чем у сооружений предыдущего века.

В последующие десятилетия международные промышленные выставки в основном проводились во Франции и каждой из них создавались выставочные павильоны уникальных размеров, образа и пролета между опорами. Если в 1855 г., во Франции на Универсальной выставке промышленной продукции, павильон «Дворец индустрии» имел крупнейший для того времени пролет 48 м. То на Парижской всемирной выставке 1867 года шаг между опорами в павильоне Галереи Машин (рис. 4) достигал 50 м.

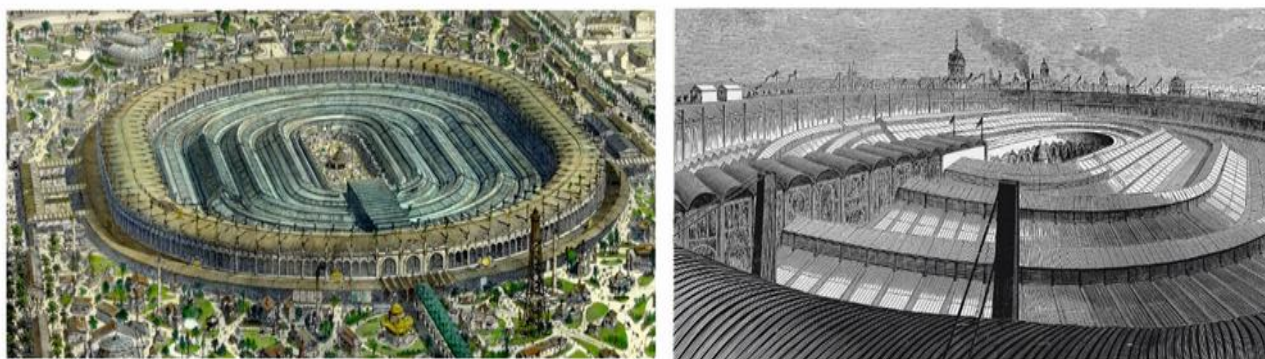


Рисунок 4 – Павильон Парижской выставки 1867г. «Галереи машин» [Источник: <https://www.expo2020dubai.com/ru/understanding-expo/world-expos-history>]

Необычно большая площадь остекления сводов, яркий верхний свет, поражал посетителей выставки, не привыкших к такому уровню освещенности и пространствам [5].

Выставка 1889 г. развернулась вокруг башни Эйфеля, которая была возведена на берегу Сены всего за семь месяцев. Павильоны выставки располагались позади башни, а сама башня служила входной группой выставочной зоны. Грандиозный объем Галереи машин, доминировал над всем комплексом. Трехсотметровая Эйфелева башня, воплотившая в себе весь опыт, Г. Эйфеля в области устройства фундаментов и возведения опор с учетом свойств грунта и величины ветровой нагрузки, стала доминантой всего выставочного комплекса (рис. 5).

Конструкции, чьи размеры были увеличены в разы, вызвали необходимость объединения четырех отдельных опор, сближающиеся друг с другом и перекрывающие огромное пространство. В Эйфелевой башне впервые удалось создать психологический эффект полного взаимного проникновения внутреннего и внешнего пространства. Традиционное статическое восприятие архитектуры нарушено, появляется эффект меняющегося пространства. Архитектурный облик башни оставался неясным в течение примерно двух десятилетий после ее создания.



Рисунок 5 – Парижская выставка 1889г. Панорама выставочного комплекса.
Башня Эйфеля.

[Источник: <https://www.expo2020dubai.com/ru/understanding-expo/world-expos-history> ,
https://www.tripadvisor.ru/LocationPhotoDirectLink-g187147-d188151-i318699523-Eiffel_Tower-Paris_Ile_de_France.html]

В павильонах международных выставок XIX в. решалась проблема перекрытия большого пространства, а их архитектура была тесно связана с достижениями в области промышленного строительства и появлением нового строительного материала – железобетон, влияние которого на архитектуру оказалось значительным и фундаментальным. Строительные конструкции XIX в. возникли не только в результате развития металлургического производства и появления железобетона, но и в результате развития новых технологий и появления методов расчета нагрузки [6].

Следствием многосторонних кризисных ситуаций начала XX вв. во всем мире, явилась принципиальная позиция создавать сооружения без привязки к архитектуре прошлых веков. Архитектурный модернизм начался с отказа от

стилей прошлого и обновлением как конструктивных и планировочных идей, так и внешних форм, которые, диктовались, по мнению архитекторов, появлением новых строительных технологий. Основные принципы архитектурного модернизма, это, прежде всего, рациональный подход к решению конструктивных систем и внутренних пространств, использование самых современных строительных материалов, отсутствие тенденций украшения, принципиальный отказ от исторических воссозданий в облике сооружений, их «интернациональный» характер. Модернизм также имел и социальную установку явного демократизма и социального равноправия – по крайней мере, во многих декларациях его теоретиков [7].

В авангарде архитектуры нового века оказались конструктивисты. Конструктивизм – архитектурный стиль, порожденный революционными событиями 1917 года, на территории Росси, привлек к себе внимание всего мира в качестве основы для создания будущих оригинальных идей. Своими проектами они формировали новый быт, разрабатывали новые типы общественных зданий. Как правило, такие здания четко отражали свое функциональное назначение, что требовало применения новых эстетических приемов и методов строительства, в частности, пространственных конструкций [8].

Идея пространственных систем в области покрытий зданий принадлежит Советскому конструктору, строителю, изобретателю академику В.Г. Шухову. Разработанные им конструкции многообразны и оригинальны своей изобретательской идеей. В.Г. Шухов широко применял всяческие решетчатые покрытия, расчет и конструкция которых основаны на использовании свойств линейчатых поверхностей. Им были созданы гиперболоидные решетчатые башни утилитарного назначения, крайне легкие и простые в изготовлении. В 1922 г. по его проекту была построена радиомачта из стальных элементов, предварившая применение в строительстве гиперболоидов — конструкций двойкой кривизны, образованных движением прямого стержня по гиперболе. Легкая, ажурная радиомачта на Шаболовке высотой 148 м, «башня инженера Шухова», создавала вертикальный акцент в застройке Москвы того времени [9] (рис. 6).



Рисунок 6 – Сетчатая башня-оболочка конструкции В.Т. Шухова 1924г.
[Источник: http://moscowchanges.ru/wp-content/uploads/2017/08/Shukhov_tower_01.jpg]

Это была для начала XX века, новаторская гиперболоидная конструкция, выполненная в виде несущей стальной сетчатой оболочки. В. Г. Шухов первым в мире применил для строительства зданий и башен стальные сетчатые оболочки, которые впоследствии стали использоваться следующими поколениями зодчих, как средства формообразования авангардных зданий. Окончание Второй мировой войны стало началом нового этапа в развитии архитектуры стран Запада. Ведется активное строительство аэропортов, аэровокзалов, выставочных, деловых и торговых центров, вместе с этим интенсивно развиваются теоретические основы типологии общественных зданий и сооружений. В этот период дальнейшее развитие получили большепролетные пространственные конструкции, которые обусловили появление новых архитектурных форм. Ведущим архитектурным направлением 1950-х годов становится новый функционализм, или неофункционализм, также претендующий на звание интернационального стиля. По сравнению с функционализмом 1920-30-х годов, неофункционализм опирается на передовую строительную технику, новые конструкции и материалы.

Прогресс в строительной технике и производстве новых строительных материалов в середине XX века наиболее полно отразил процесс преемственности в развитии большепролетных конструкций. Здесь большую роль сыграли, в первую очередь металлические и железобетонные конструкции, во-вторых, выполненные из новых материалов.

Развитие большепролетных сооружений тех лет связано с творчеством выдающегося итальянского изобретателя, инженера-конструктора П.Л.Нерви. Он проводил экспериментальные исследования со строительными материалами, одновременно выявляя присущие им, средства художественной выразительности. В 1929-32 годах, при строительстве стадиона во Флоренции, Нерви обнажает структуру сооружения (поддерживающие трибуны железобетонные столбы, винтовые лестницы, нависающие консольные козырьки) и за счет этого добивается динамичной выразительности пространственной композиции и архитектуры в целом (рис. 7).



Рисунок 7 – Своды Пьера Луиджи Нерви из сборных бетонных элементов, [Источник: <https://rgnp.ru/biografia-pera-nervi-biografia-nervi-pl-foto-video/>]

В дальнейшем, при разработке ангаров для самолётов, разрабатывает новую конструктивную систему сборных большепролётных сводов из ромбовидных железобетонных звеньев. В 1948-49-х годах П. Нерви впервые использует армоцементные элементы, перекрывая тонкостенным сводом главный зал выставочного павильона в Турине. Ритмически повторяющиеся волнистые детали свода и несущие его оригинальные наклонные опоры зрительно выявляют скрытую работу сил конструкций и образуют строгую и изысканную композицию. Последующее архитектурное творчество П.Л. Нерви связано с совершенствованием армоцементных «скорлуп», поисками их разнообразных архитектурных форм и конструкций. Функциональная целесообразность пространственной организации в сочетании с пластической выразительностью структурных деталей из армоцемента и железобетона характеризует все работы архитектора. Он получил широкую известность как изобретатель армоцемента и стал признанным новатором в области создания пространственных покрытий [5]. К легкости и большой гибкости формы, которая свойственна конструкциям в виде оболочек, добавляется новый фактор, а именно, изогнутая конструкция становится самонесущей. Конструкции в виде оболочки становятся исходным пунктом для решения архитектурных проблем, которые соответствуют нашему времени, но и линейные структурные элементы интенсивно развиваются. Они остаются предметом дальнейшего исследования для крупных инженеров, которые продолжили их разработку [10].

Еще одним примером развития большепролетных конструкций является – геодезический купол системы американского инженера-архитектора Б. Фуллера (павильон США на Экспо – 67 в Монреале) (рис. 7). Геодезические или сетчатые купола – пространственные конструкции, имеющие возможность перекрывать огромные пространства без внутренних опор. Например, одним из ярких примеров является выставочный павильон США на ЭКСПО-57г.



Рисунок 7 – Геодезический купол системы Б. Фуллера.
[Источник: <https://machined.house>]

Инновационные аспекты в развитии конструктивных систем особенно стремительно проявились во второй половине XX века. Это напрямую связано с появлением новых строительных материалов, выполненных из полимеров и прогрессивных методов их изготовления, сборки и монтажа. Например, в 60-е годы получили развитие системы вантовых большепролетных конструкций. В

качестве примера, можно привести комплекс олимпийского стадиона в Токио, построенный по проекту всемирно известного японского архитектора Кензо Танге. В 70-е годы XX века получили развитие супернатяжные и сверхлегкие конструктивные системы, теоретические и практические аспекты, которых, были разработаны немецким инженером-архитектором Фраем Отто. Они представляют собой сверхпрочную конструкцию с использованием натяжных кабелей и стержней. Одним из наглядных примеров, является покрытие выставочного павильона ФРГ на Экспо-67. В это же время получают развитие пневмоконструкции (надувные), например, павильон Японии на ЭКСПО-70 (рис. 8).



а) Вантовые конструкции.
[Источник:
https://yumenohikari.ru/japan/kenzo_tange_genius_architect_1]

б) Суперлегкие натяжные конструкции
[Источник: <https://arch-shop.ru/architect-and-engineer-frei-otto/>]

в) Пневматические (надувные) конструкции. [Источник:
<http://www.bubblemania.fr/ru/exposition-universelle-70-suita-osaka-japon/>]

Рисунок 8 – а) Вантовые конструкции, олимпийский стадион в Токио, арх. Кензо Танге, Япония, 1967 г. б) Супернатяжные конструкции – выставочный павильон ФРГ, ЭКСПО-67, Монреаль, арх.Ф. Отто; в) Павильон Фудзи, ЭКСПО – 70, г. Осака, Япония

Заключение

Таким образом, исследование процесса формирования конструктивных систем в архитектуре уникальных зданий и сооружений, охватывающего период, начиная с Древнего мира и до наших дней, показывает поступательный и преемственный характер в их развитии. Это отражено в том, как конструктивные системы зарождались и получали новое развитие в разные периоды их становления и формирования. На это влияли разные аспекты, среди них, такие как: научно-технический прогресс в области теории и расчетов конструктивных систем, появление новых строительных материалов и технологий возведения, архитектурные идеи зодчих, инновационные технологии проектирования зданий и сооружений и т.п.

Вместе с этим, анализ эволюции конструктивных решений зданий и сооружений, дает основание выделить следующие основные этапы формирования и развития конструктивных систем:

- 1 этап (Древний мир – до н.э.) Зарождение классической стоечно-балочной конструктивной системы в архитектуре и строительстве принадлежит зодчим Древней Греции, где она достигает своего расцвета и отражается в древних трактатах об архитектуре; В дальнейшем преемственное развитие получает в архитектуре Древнего Рима и Древнего Египта);

- 2 этап (1 в. н.э. до средневековья, территории стран Западной Европы). Главной характеристикой конструкций зданий в этот период была массивность стен и опор. Уже в то время зодчие стремились перекрыть большие внутренние пространства и решали проблему равномерного распределения нагрузок от перекрытий. Максимальный шаг безопорного пролета, той эпохи составлял 43м. Опыт применения конструкций перекрытия в данный период, ограничивался отдельно взятыми возведенными объектами. Расцвета достигает возведение арочных систем и куполов;

- 3 этап (XVII-XIX вв. н.э.; страны Западной Европы, США). Главной характеристикой конструктивных систем данного периода является фрагментарное использования металлических опор и балок, формирование первых металлических каркасов зданий, первые теоретические расчеты конструктивных систем. За счет использования металлических конструкций происходит увеличение конструктивного шага безопорного пространства, его максимальный шаг достигает 115 м. В этот период конструктивные системы развиваются не только в ширину, увеличивается количество этажей зданий. Возникают первые небоскребы-здания в 10-12 этажей. Появляются новые конструктивные элементы металлические балки и фермы, металлический каркас. Вместе с этим появляются и развиваются железобетонные конструкции;

- 4 этап (первая половина XX в.; страны Западной Европы, США, Латинская Америка, СССР, Япония). Главной характерной чертой этого периода является создание пространственных конструктивных систем, применение конструкций двойной кривизны, создание и использование сборных железобетонных конструкций. Максимальный шаг безопорного пространства достигает 160 м. Возникают новые конструктивные системы – гиперболоидные стальные сетчатые и самонесущие армоцементные оболочки;

- 5 этап (вторая половина XX века; страны Западной Европы, США, Японии, Германии, Китая и др.). На развитие новых конструктивных систем, а также на их поступательное и преемственное развитие оказывают такие важные факторы, как: появление новых инновационных строительных материалов и технологий, а также новейших методов компьютерного проектирования и моделирования – BIM технологии. Появляются новые конструктивные системы, такие, как: вантовые конструкции, суперлегкие натяжные системы, пневматические конструкции, пространственные каркасно-стержневые конструкции и др.

Литература:

1. *Иконников А.В. Утопическое мышление и архитектура. М.: «Архитектура-С», 2004, 400 с.*
2. *Брунов Н.И. Очерки по истории архитектуры. Том 2. М.: ЗАО Центрполиграф, 2003, 313-341 с.*
3. *Васильева Е.К., Пернатъев Ю.С. 100 знаменитых памятников архитектуры. Харьков: Издательство ФОЛЮ, 2005. – 511 с., 93.*

4. Гиясов А. Плоскостные и пространственные конструкции покрытий зданий. М.: Издательство АСВ, 2008. – 144 с.
5. Маевская М. Норман Фостер. М.: Комсомольская правда. Директ-Медиа, 2015, 22 с.
6. Пространство, время, архитектура, пер. с нем. М.В. Леонене, И.Л. Черня. 3-е изд. М.: «Стройиздат», 1984, 455 с.
7. Тублин М.П. Антонио Сант-Элиа: от модерна к футуризму. Архитектура мира //Материалы конференции Проблемы истории архитектуры №-1. М.: ВНИИТАГ, 1992.
8. Маевская М. Норман Фостер. М.: Комсомольская правда. Директ-Медиа, 2015, 22 с.
9. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. М.: «Архитектура-С», 2006, 5-24.
10. Мастера архитектуры. Крупнейшая в мире подборка работ известных архитекторов. [Электрон. ресурс] – 2021. – URL: https://architime.ru/architects/a_pier_luigi_nervi.htm (дата обращения: 12.12.2022).

References:

1. Ikonnikov A.V. (2004) *Utopicheskoe myshlenie i arhitektura [Utopian thinking and architecture]* - М.: «Архитектура-С», 400. (in Russ.)
2. Brunov N.I. (2003) *Ocherki po istorii arhitekturyi [Essays on the history of architecture]* Tom 2. - М.: ЗАО Tsentropoligraf, 313-341. (in Russ.)
3. Vasileva E.K., Pernatev Yu.S. (2005) *100 znamenityih pamyatnikov arhitekturyi [100 famous architectural monuments]* - Harkov: Izdatelstvo FOLIO, 511. (in Russ.)
4. Giyasov A. (2008) *Ploskostnyie i prostranstvennyie konstruksii pokryitiy zdaniy [Planar and spatial structures of building coverings]* - М.: Iz-datelstvo ASV, 144. (in Russ.)
5. Maevskaya M. (2015) *Norman Foster* - М.: Komsomolskaya pravda. Direkt-Media, 22. (in Russ.)
6. *Prostranstvo, vremya, arhitektura [Space, time, architecture]* (1984), per. s nem. M.V. Leonene, I.L. Chernya. 3-e izd. - М.: «Stroyizdat», 455. (in Russ.)
7. Tublin M.P. (1992) *Antonio Sant-Elia: ot moderna k futurizmu. Arhitektura mira [Antonio Sant'Elia: from Art Nouveau to Futurism. Architecture of the world]* Materialyi konferentsii Problemyi istorii arhitekturyi = Materials of the conference Problems of the history of Architecture. 1., М.: VNIITAG. (in Russ.)
8. Maevskaya M. (2015) *Norman Foster* - М.: Komsomolskaya pravda. Direkt-Media, 22. (in Russ.)
9. Lebedeva N.V. (2006) *Fermyi, arki, tonkostennyie prostranstvennyie konstruksii [Trusses, arches, thin-walled spatial structures]* - М.: «Ar-hitektura-S», 5-24. (in Russ.)
10. *Mastera arhitektury. Krupneyshaya v mire podborka rabot izvestnyih arhitektorov [Masters of architecture. The world's largest selection of works by famous architects]* [Elektron. resurs] – 2021. – URL: https://architime.ru/architects/a_pier_luigi_nervi.htm. (in Russ.)

Д.А. Жегалова¹, С.Ш. Садыкова^{1*}

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Авторлар жайлы ақпарат:

Садыкова Сара Шангереевна - сәулет кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті сәулет кафедрасының профессоры, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2777-1556>, e-mail: sara.arch@mail.ru,

Жегалова Дарья Александровна - сәулет факультетінің магистрантс, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7497-6669>, e-mail: Dasha_7g_95@mail.ru,

ЕРЕКШЕ ҒИМАРАТТАР МЕН ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ДАМУЫ КЕЗЕҢДЕРІ МЕН ҮЗДІКСІЗДІГІ

Аңдатпа. Кеңістік құрылымдық жүйелерінің даму перспективаларын анықтау құрылымы құрылымдарының пайда болған сәттен бастап эволюциялық дамуын талдаусыз мүмкін емес. Ұсынылған материалда қоғамның тарихи даму процесіндегі конструктивті шешімдердің дамуы берілген. Сәулеттік кеңістіктерді қамтитын конструктивті шешімдерді құрудың тарихи фактілері мен алғышарттары жалпыланып, ғылыми-техникалық прогрестің дамуына сәйкес құрылымдық жүйелердің прогрессивті дамуының негізгі кезеңдері айқындалып, нақтыланған.

Түйін сөздер: сәулеттік модернизм, құрылымдық жүйелер, қойма, тірексіз кеңістік, болат торлы қабық.

D.A. Zhegalova¹, S.Sh. Sadykova^{1*}

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Information about authors:

Zhegalova Darya – undergraduate of the Department of Architecture, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7497-6669>. email: Dasha_7g_95@mail.ru,

Sadykova Sara Shangereevna – Candidate of Architecture, Professor of the Department "Architecture" of the Eurasian National University. L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2777-1556>, email: sara.arch@mail.ru,

STAGES AND CONTINUITY IN THE DEVELOPMENT OF STRUCTURAL SYSTEMS OF UNIQUE BUILDINGS AND STRUCTURES.

Abstract. *Determining the prospects for the development of structural systems of space is impossible without an analysis of the evolutionary development of building structures from the moment of their inception. The presented material provides an analysis of the development of constructive solutions in the process of the historical development of society. The historical facts and prerequisites for the creation of constructive solutions covering architectural spaces are generalized, the main stages of the progressive development of structural systems are identified and specified in accordance with the development of scientific and technological progress.*

Keywords: *arch, structures, structural systems, vault, unsupported space, steel mesh shell.*