

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

МОСКОВСКИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ)

Направление подготовки: АРХИТЕКТУРА 07.06.01

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД
об основных результатах
подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)

На тему Наследие В.Г. Шухова и новаторство в современных
конструкциях общественных зданий

Аспирант Душкевич Константин Никитич

Научная специальность 05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений.
Творческие концепции архитектурной деятельности

Научный руководитель: кандидат архитектуры, профессор кафедры
«Архитектурные конструкции», Суслова Ольга Юрьевна

Кафедра подготовки: «Архитектура общественных зданий»

2015/2016 уч.г.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

Современная архитектура общественных зданий требует серьезных конструктивных решений; аэропорты, зрелищные и спортивные сооружения во многом используют металлоконструкции. Перед инженерами стоит задача создать большепролетные несущие системы, пространственные оболочки с максимально возможным пролетом. Значительный вклад в их разработку, еще больше 100 лет назад, внес Владимир Григорьевич Шухов - его открытия признаны на мировом уровне, а современные крупные архитекторы (Норманн Фостер, Кен Шаттлворт, Массимилиано Фуксас, Сигеру Бан, Фрэнк Гери и др.) используют в своем проектировании его архитектурно-инженерные решения. Однако в отечественной практике поиск интересных, оригинальных решений практически отсутствует, несмотря на имеющиеся в багаже отечественной инженерной мысли уникальные разработки Шухова. Сегодня его конструктивные концепции (которые он применял впервые в мире в конце XIX-начале XX вв.) становятся особенно актуальными, благодаря своей высокой экономичности, надежности, архитектурной выразительности. Наиболее популярным и эффективным с точки зрения расхода материала при перекрытии большого пролёта, среди открытых конструкций Шухова, является висячее покрытие, а также оболочка двоякой кривизны. Использование подобных объемно-пространственных решений говорит о достаточно высоком уровне научно-технического развития строительной отрасли, так как оно требует соответствующих расчётов и высокого качества строительства (отсутствие компьютера в XIX в. нисколько не помешало Шухову реализовать свои смелые замыслы). Перекрытие большого пролёта оказывает сильный визуальный эффект на зрителя, так как ничтожно малая толщина такого современного покрытия не укладывается в сложившееся веками классическое соотношение толщины "балки" к "колонне" в архитектуре; наблюдателю зачастую трудно представить, как работает такая конструктивная система, что производит соответствующий крупным общественным зданиям с подобными конструкциями зрелищный эффект.

На данный момент существует достаточно большое количество исследований, затрагивающих вопросы работы конструкций на большом пролете.

Подобные труды в своем большинстве включают в себя описание всех видов большепролетных конструкций – балки, фермы, складки, своды, оболочки, с использованием различных материалов – железобетон, kleеная древесина, металл. Несомненно, в таких исследованиях затрагиваются вопросы формообразования, предлагаются авторские классификации по форме плана, по геометрической поверхности покрытия, по конструктивным схемам, по методам возведения, по структурным особенностям и т.д. Большинство трудов носит описательный характер, подробно рассматривая уже реализованные архитектурные объекты в первую очередь с конструктивной точки зрения, детально разбирая элементы несущей системы. Однако практически отсутствуют исследования, рассматривающие большепролетные конструкции в тесной связи с объемно-пространственным устройством общественных сооружений. Более того, практически все исследования на русском языке, посвященные данной тематике, относятся к третьей четверти XX в.; тем самым авторами не принимался во внимание богатый опыт архитектуры общественных зданий конца XX – начала XXI вв.

Современным архитекторам, студентам архитектурных ВУЗов необходима актуальная информация о последних конструктивных и объемно-пространственных приемах в строительстве.

Степень изученности проблемы и научная новизна исследования. Конструктивные решения В.Г. Шухова, несмотря на свою уникальность, все еще остаются малоизученными. Существует всего несколько исследований, посвященных его открытиям – монографии немецких ученых Р. Грефе и О. Перчи, отечественной исследовательницы Е. М. Шуховой, статьи Элизабет Инглиш («Invention of Hyperboloid Structures»), Уильяма Брумфилда («The Origins of Modernism in Russian Architecture»); сборники фотографий построек В.Г. Шухова, как например «Россия Владимира Шухова. Личный фотоархив. Начало XX столетия» Ричарда Пэра и др. Однако все они носят, в основном, описательный характер (дается развернутый перечень работ великого инженера) или представляют собой его творческую биографию с небольшой теоретической частью, описывающей его вклад в архитектуру и инженерию. На данный момент не обнаружено практически ни одного исследования, раскрывающего потенциал,

возможности использования пространственных конструкций в архитектуре сегодняшнего и завтрашнего дней.

В профессиональной литературе советского периода существует достаточно большое количество трудов, посвящённых оболочкам и архитектуре зданий с покрытием выполненным на основе тросов или мембранный оболочки. Среди них можно найти как работы описывающие уже спроектированные или реализованные на тот момент покрытия и оболочки (Морозов, А. П. «Пространственные конструкции общественных зданий»; Васильев, В. С. «Висячее седлообразное покрытие»; Анищенко, А. М. «Архитектура сооружений с висячими покрытиями»; Мельников, Н. П. «Развитие металлических конструкций»; Рюле, Г. «Пространственные покрытия»; Морозов, А.П. «Пространственные конструкции общественных зданий»; Трофимов, В.И. «Большепролетные пространственные покрытия из алюминия»), так и результаты научных конференций, посвящённых будущему таких конструкций («Новые архитектурно-конструктивные структуры», ЦНИИТА; «Металлические конструкции: состояние и перспективы развития», под редакцией Н. С. Стрелецкого; «Висячие покрытия: труды совещания по исследованию и внедрению висячих покрытий», под редакцией И. М. Рабиновича). Вопросы формообразования большепролетных конструкций, а также некоторые вопросы эстетических требований к таким несущим системам достаточно подробно рассматривает В.Е. Михайленко в книге «Формообразование оболочек в архитектуре», Ю.А. Смоляров в книге «Архитектурное формообразование из вантово-стречневых систем». О высокой архитектурной выразительности сооружений с висячими покрытиями и практически безграничных возможностях формообразования таких сооружений говорит В.Г. Штолько в книге «Архитектура сооружений с висячими покрытиями». Среди научных работ можно отметить диссертацию на звание доктора технических наук Н.Н. Никонова «Большепролетные покрытия сооружений: Комплексный анализ и многомерная оценка», в которой автор подробно рассмотрел взаимосвязь архитектурных и экономических характеристик зрелищных сооружений. Проблемы проектирования рациональных металлических конструкций рассматривал Я.М. Пихтарников. Он указал, что при решении оптимизационной задачи следует уменьшать массу конструкции за счет уточнения метода расчета и ликвидации конструктивных

излишеств. Существует множество работ, посвященных проблемам перекрытия больших пролетов с помощью оболочек и висячих покрытий на основе несущих металлический конструкций, однако они носят исключительно инженерный характер и рассматривают достаточно узкие аспекты работы таких конструкций при определенных конструктивных особенностях сооружения. Современной отечественной литературе, поднимающей вопрос комплексного осмысливания общественных зданий с большепролетными металлическими конструкциями, практически не существует. В иностранной литературе стран Европы и США в ходе проведения научного исследования было найдено большое количество как профессиональных трудов, так и статей в архитектурных периодических изданиях, с результатами исследования вопроса работы металлических покрытий и оболочек на большом пролёте. В отечественной практике возникают трудности как с общедоступностью, так и с непосредственным наличием соответствующих работ, посвященных современной архитектуре.

Цель исследования заключается в определении взаимосвязи (закономерности) большепролетных пространственных металлических систем общественных зданий и сооружений с их формообразованием и функциональной структурой в период XX – XXI вв. Ставится задача выявления новых комплексных методов выбора оболочек общественных зданий.

Достижение данной цели предполагает решение следующих задач:

- выявить основные принципы построения, формообразующие и эстетические возможности большепролетных металлических конструкций В. Г. Шухова и современных;
- выделить в типологии общественных зданий те, в которых применение оболочек наиболее целесообразно;
- определить степень их использования в современной архитектуре общественных зданий и сооружений;

Границы исследования. В исследовании рассматриваются реализованные объекты В. Г. Шухова, примеры современной гражданской архитектуры использующей инженерные принципы В. Г. Шухова; особое внимание уделено эволюции современных большепролетных конструкций в гражданском строительстве и их влияние на формообразование; сделана попытка

прогнозирования дальнейшего развития большепролетных металлических конструкций в гражданском строительстве. Рассмотрены архитектурно-планировочные, объемно-пространственные характеристики общественных зданий и сооружений в тесной их связи с несущими металлическими конструкциями. В исследовании не затрагиваются железобетонные, пневматические, деревянные, композитные большепролетные конструкции. Основное внимание обращено именно на пространственные большепролетные металлические конструкции. Плоскостные большепролетные металлические конструкции рассматриваются в исследовании с точки зрения исторического развития металлических конструкций в целом, а также в качестве элемента построенных на основе пространственных конструкций несущих систем.

Объектом исследования являются пространственные металлические оболочки и покрытия, инженерные открытия В.Г. Шухова; отечественные и зарубежные примеры современной архитектуры общественных зданий, спроектированные на принципах этих открытий и с использованием таких конструкций.

В качестве **предмета исследования** рассматриваются: формообразующая роль большепролетных металлических конструкции В. Г. Шухова, современных большепролетных металлических конструкций (пространственные покрытия оболочки); архитектурные и конструктивные возможности таких конструкций в современной архитектуре общественных зданий; факторы, влияющие на формирование и развитие планировочных решений гражданских сооружений в XX – XXI вв.

Методы и методология исследования включают в себя комплексный анализ инженерных открытий В. Г. Шухова, примеров современной архитектуры общественных зданий с большепролетными металлическими конструкциями, их сравнение с использованием графического, типологического анализа; прогнозирование развития большепролетных металлоконструкций в общественных зданиях. Методология исследования основана на изучении литературных источников, интернет-ресурсов, теоретических трудов, на проведении натурных обследований с целью оценки объемно-пространственных характеристик примеров

гражданской архитектуры; включает в себя разработку параметров для оценки примеров современной архитектуры общественных зданий

Теоретическое и практическое значение исследования заключаются прежде всего в том, что материалы исследования могут быть использованы учебном процессе профильных вузов в виде лекционного материала и методической базы для архитектурного проектирования общественных зданий. Также, результаты исследования могут быть использованы в практике – при разработке проектов зданий гражданской архитектуры. Результаты исследования предоставляют архитекторам и заказчикам палитру архитектурно-планировочных средств и приемов (с использованием большепролетных металлических конструкций), обеспечивающих наиболее рациональное использование несущих конструкций и эффектное интерьерное/экстерьерное пространство общественного здания. Применение объемно-планировочных решений общественных зданий с использованием оболочек подразумевает как высокую культуру и качество строительства, так и тщательность работы архитектора, поскольку такие архитектурные решения требуют серьёзной проработки как архитектурной, так инженерной и конструктивной частей проекта. Возможности оболочек в плане архитектурной выразительности практически безграничны, что подтверждает количество рассматриваемых примеров общественных зданий. Грамотно реализованные проекты сооружений с применением большепролетных металлических конструкций привлекают к себе много внимания и воплощают в себе архитектурные решения завтрашнего дня.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Развитие металлических конструкций

С самого начала применения металла строителям пришлось столкнуться с отрицательным, а иногда даже враждебным отношением к этому материалу со стороны деятелей искусства и архитектуры. Звучало отрицательное отношение к металлу, как к материалу, который абсолютно не имеет своей эстетики.

К середине XIX века значение архитектора начало падать, значительную часть его работы захватил инженер. Он, владея актуальными знаниями о

машинном производстве и новыми материалами, берет на себя возведение несущих частей здания, инженерных сооружений здания.

Архитектор пользовался пластичностью металла при ручном изготовлении, пытаясь использовать металл в формах, характерных другим материалам. Однако, архитектор, еще не полностью овладев возможностями нового материала, не находит ему верного применения. Эклектическая архитектура того времени просто не смогла принять и освоить металл, так как формы сооружений из этого материала расходились с понятиями красоты. Именно поэтому, среди имен авторов сооружений из металла или с очевидным его преимуществом среди примененных при строительстве материалов, чаще встречаются именно инженеры.

Позднее, в конце XIX столетия, металл получает широкое распространение в модерне, в первую очередь, даже как декоративный элемент. Гибкость железа и особенности его производства позволяли создавать практически любые архитектурные и художественные элементы, форма которых была ограничена только фантазией автора. Если модерн использовал чугун в своих эстетически выразительных целях и воплощал в металле характерные стилю элементы, то пришедший в конце XIX в. на смену модерну модернизм (структурализм), фактически уподобляется металлу и, в частности, способу его производства – машинному. Конструктивизм приводит всю архитектуру к новым материалам (сталь, железобетон), формам и принципам, фактически отвергая архитектурное наследие прошлых веков. Они отказывались от строительных материалов, имеющих высокую эстетическую ценность, веками применяемыми в строительстве, таких как мрамор, гранит, кирпич.

С самого начала 80-х гг. XIX века американская архитектура (Чикагская школа) ясно дала понять всему миру, что ключом к новой эпохе в архитектуре является использование современных конструкций, прежде всего металлических, необходимых для выражения архитектурных идей.

Современная архитектура научилась использовать металл не только как конструкционный материал, но и преподносить несущие элементы здания как самодостаточные дизайнерские элементы. Сталь в архитектуре крупных общественных зданий становится не просто необходимым элементом существования сооружения, но скульптурой или картиной - возможности техники

сегодня настолько широки, что позволяют архитектору создавать практически любые формы из металла.

Помимо истории развития металлоконструкций, рассматриваются **особенности и характеристики металла**, применяемого в строительстве. Строительные материалы и изделия из металлов - одни из важнейших в современной архитектуре, что подтверждает множество примеров современной архитектуры общественных зданий

Особое внимание уделено отечественным достижениям в области металлических конструкций, в частности – **большепролетным конструкциям В.Г. Шухова**. Рассмотрена его деятельность как инженера в сфере индустриальной архитектуры начиная с 1890-х годов. Отмечено, что его открытия в металлических конструкциях стали широко известны за пределами инженерной сферы, и Шухов был признан не только "величайшим инженером мира", но и выдающимся "художником в конструкциях". Самым выдающимся изобретением В.Г. Шухова, на многие десятилетия опередившим свою эпоху (и потому оставшимся не замеченным и не оцененным современниками), стало перекрытие павильона Инженерно-строительного отдела XVI Всероссийской художественно-промышленной выставки 1896 г. в Нижнем Новгороде. Оно было выполнено в виде вогнутой внутрь чаши диаметром 25 м. из тонкого листового железа, края которой прикреплены к верхнему кольцу. Пространство между внутренним и внешним кольцами этого круглого павильона было перекрыто перекрещивающимися стальными стержнями, формирующими висячую оболочку. На этой же Нижегородской выставке 1896 г. Шухов впервые в мире представил сетчатую конструкцию башни в виде однополостного гиперболоида вращения. Её пространственный каркас был образован скрепленными между собой прямыми металлическими профилями, связанными по высоте башни горизонтальными кольцами.

Несколько позднее, в 1897 году, инженер предложил еще одно изобретение - сетчатый свод двоякой кривизны, воплощенный над цехом металлургического завода в Выксе. Эта конструкция довела идею пространственных арочных покрытий до совершенства. Оболочка, по сравнению со стропильным перекрытием, давала до 30% экономии металла. Перекрытие было выполнено в

виде металлического сетчатого свода двойкой кривизны, опирающегося на трехшарнирные арки.

Шуховым также была изобретена арочная ферма, в которой традиционные массивные раскосы и стойки были заменены тонкими затяжками из металла, работающими только на растяжение - самый выгодный для металла вид усилий. Созданием этой конструкции завершился долгий поиск инженерами наиболее рационального типа стропильной фермы. Дальнейшее ее усовершенствование стало уже невозможным, что было научно доказано Шуховым в его книге "Стропила" (1897 г.), в которой великий инженер также указал единственно верный, на его взгляд, путь - переход к пространственным системам, где каждый элемент конструкции при восприятии нагрузки работает совместно с остальными как одна единая система.

Далее более подробно рассматривается история зарубежных большепролетных металлических конструкций. Начиная с самых первых примеров применения металла в строительстве – чугуна в мостах через р. Северн в Англии (1775— 1779 гг.), чугунного моста через р. Уир, сооруженного в 1793— 1796 гг., сборочный цех Генри Модели в Ламбете с фермами (1826 г). Большое влияние на развитие металлических конструкций оказал проект Хрустального дворца (1851 г.) для Всемирной выставки в Англии Джозефа Пэкстона. Все его колонны и балки были выполнены из чугуна, для перекрытий применены железные фермы с перекрестной решеткой. Впервые были использованы сплошное остекление в таком масштабе и модульная каркасная система.

Во второй половине XIX в. появляются и новые архитектурные формы, отвечающие новым общественным потребностям и связанные, в первую очередь, с перекрытием больших пространств. Новые запросы большого города, его транспорта и расположенной в нем промышленности, формируют новые задачи для архитектуры. Для покрытия прямоугольных в плане зданий начинают использоваться решетчатые стальные рамы и арки. Металлические конструкции становятся формообразующим фактором архитектуры в таких новых, не имеющих прообразов в прошлом, типах зданий, как вокзалы, рынки и большие универмаги - легкие арочные конструкции перекрывают их просторные помещения.

Рассматриваются по типологиям примеры исторической архитектуры с применением металлических конструкций – крытые рынки, вокзалы, магазины, всемирные выставки, история которых фактически становится историей железных конструкций. Среди них Эйфелева башня, Галерея машин конструктора Коттансена и архитектора Дютера, с пролетами в 115 м.

В первом разделе уделяется внимание **роли металла** в строительстве и **вопросам оптимизации металлических конструкций**.

Сталь является практически универсальным строительным и конструктивным материалом, который хорошо работает как на сжатие, так и на растяжение, комбинируется с деревом, железобетоном. Огромные масштабы современного строительства выдвигают на одно из первых мест вопросы эффективности материальных и трудовых затрат, экономики строительства. Экономика использования металла в строительстве выражается в снижении стоимости строительства и экономии самого материала - металла. По результатам исследования были выделены три направления пути экономии металла в строительных конструкциях:

- а) установление рационального применения металлических конструкций, то есть выявление тех сооружений и тех видов металлических конструкций, в которых металл работает как конструктивный материал наиболее эффективно;
- б) снижение расхода металла в конструкциях зданий и сооружений путем уменьшения его затрат на восприятие силовых воздействий;
- в) повышение долговечности металлических конструкций.

Среди прочего были рассмотрены наиболее характерные классификации общественных зданий по параметру несущих конструкций, среди которых обширная классификация конструктивных систем по Х. Энгелю, принципиальные схемы основных систем металлических конструкций А. Мардера. Благодаря анализу существующих классификаций, была составлена классификация конструкций с использованием металла по принципу работы несущей системы:

Плоскостные большепролетные конструкции

- Техническое решение плоского покрытия заключается в установке металлических, деревянных или железобетонных ферм или балок с покрытием, к примеру, в виде профилированного стального листа с последующим

замоноличиванием или железобетонного настила. В общественных зданиях фермы редко оставляют открытыми и чаще всего закрывают снизу декоративным подвесным потолком. Фермы могут иметь прямоугольную форму с параллельными поясами, трапециевидную, сегментную, линзообразную или практически любую, в зависимости от архитектурного замысла. Фермы применяются не только в покрытиях, но и в междуэтажных перекрытиях для образования больших помещений в промежуточных этажах.

- Для создания крупных общественных помещений могут применяться рамные конструкции, в которых ригели (горизонтальные несущие элементы конструкции) жестко соединены с колоннами. Такие рамы могут быть металлическими, железобетонными и деревянными. Рамные конструкций могут иметь разнообразные формы с прямыми, ломанными и криволинейными очертаниями, что позволяет достичь определенного архитектурного эффекта. Они Рамные конструкции позволяют устраивать крупные нависающие консоли на железнодорожных перронах, посадочных площадках аэропортов, над трибунами стадионов, входами в крупные общественные здания.

- Арочные покрытия перекрывают пролеты до 100 м и более. Высокие архитектурные качества арочных конструкций позволяют во многих случаях получить выразительные интерьеры крупных залов. Арки могут быть деревянными, металлическими и железобетонными, сплошного или решетчатого сечения. При малых пролетах (до 30 м) деревянные и железобетонные арки имеют прямоугольное сечение, а металлические - двутавровое. При пролетах от 30 м до 50 м независимо от материала - двутавровое, а при пролетах более 50 м - решетчатое. Подъем арок обычно составляет от 1/4 до 1/6 пролета, шаг арок – 6-12 м. Арки с затяжками часто применяются в спортивных залах. При пролетах до 24 м применяются также сетчатые своды с перекрестным направлением стержней или с легкими затяжками из круглой стали, как в покрытии пассажей ГУМа на Красной площади в Москве (система В. Г. Шухова). Затяжки, выполненные из металла, воспринимают горизонтальные усилия в арке и позволяют сделать конструкцию безраспорной.

Пространственные большепролетные конструкции

- Наиболее простые пространственные конструкции - это складки. Металлические складчатые покрытия, особенно перекрестно-стержневые, позволяют получить значительный архитектурный и экономический эффект при пролетах до 50 м. Такие решетчатые (перекрестно-стержневые) складки, составленные, к примеру, из трубчатых стержней, и при высоте 2 м позволяют перекрывать пролет до 30 м, а при устройстве двух- и трехрешетчатой системы с увеличением высоты конструкции - до 60 м и более.

- Перекрестно-стержневая конструкция представляет собой пространственную сетку, состоящую из перекрещивающихся поясных стержней и пространственной решетки, поставленной по диагонали квадратных ячеек. Возможности такой конструкции (структуры) очень широки, так как ее можно опирать на колонны практически в любой точке. При этом все возможные варианты комбинируются из типовых стержней-элементов, что позволяет организовать их индустриальное производство с высокой степенью автоматизации технологических процессов. Расход материалов на такое пространственное покрытие, как правило, на 20-30% ниже, чем в обычных покрытиях по стропильным фермам.

- Сетчатые оболочки появились в конце XIX века благодаря российскому инженеру В.Г. Шухову, однако получили широкое распространение только в современной архитектуре в последние десятилетия. Сетчатая оболочка представляют собой жесткую пространственную несущую систему, образованную пересекающимися крест-накрест стержнями (с конструктивной точки зрения). Сетчатые оболочки, чаще всего, выполняют из металлических элементов, однако сетчатые оболочки из клееной древесины, железобетона и даже труб из уплотненной бумаги (проект павильона Японии на выставке EXPO 2000 в Ганновере) также эффективно работают. Сегодня сетчатые оболочки представляют собой как регулярные, так и нерегулярные пространственные системы, позволяющие реализовать практически любое объемно-пространственное архитектурное решение.

- Купольные покрытия являются наиболее эффективными с инженерной точки зрения, позволяя с незначительным расходом материалов перекрывать большие пространства. Не случайно купола получили в архитектуре такое широкое

распространение с древних времен. Современные купола сооружают из металла, железобетона или kleеных деревянных конструкций. Конструкции куполов могут быть гладкими, ребристыми, ребристо-кольцевыми, кристаллическими и т.д. Монолитные железобетонные купола представляют собой сплошную тонкую плиту сферической формы. В металлических куполах наиболее простой получается радиально-кольцевая разрезка, когда радиальные элементы воспринимают радиальные сжимающие усилия, а кольцевые - растяжение в перпендикулярном направлении.

- Гиперболические параболоиды (гипары) – одни из самых экономичных по расходу материалов по сравнению с другими пространственными конструкциями. Форма гиперболических параболоидов в плане может быть квадратной, прямоугольной, овальной и т.д. Характерной особенностью всех покрытий типа гипаров является передача усилий на две нижние опоры оболочки и возможность оставления верхних узлов без опор. Гиперболические параболоиды можно объединять друг с другом, образуя шатровые блоки. Ими в свою очередь можно перекрывать большие площади. Седловидные покрытия отличаются от гипаров овальной формой плана; в остальном, принцип работы остается прежним - опорный контур, вантовая сеть из несущих гибких и стабилизирующих жестких элементов.

- Висячие и вантовые покрытия особое значение приобретают в тех случаях, когда основные несущие элементы работают на растяжение. В общественных зданиях величина пролета висячих и вантовых покрытий не превышает 200 м, т. е. максимальных размеров самых крупных стадионов или выставочных помещений. Принципиальная схема работы конструкций включает в себя опорный контур (чаще всего криволинейный), который воспринимает горизонтальные усилия от растянутых элементов – стальных витых тросов, по которым выполняется покрытие, выполняющее также стабилизирующую функцию для всей конструкции в целом. Стоит отметить, что покрытие может подвешиваться к несущим тросам а не укладываться поверх них; в таком случае появляется возможность свободного обращения с покрытием. Однако, растянутым и основным несущим элементом конструкции может быть стальная мембрана (толщиной около 5 мм); в таком

случае требуется серьезная стабилизация мембранный оболочки, для чего применяются ребра-фермы, располагающиеся под мембраной.

По результатам анализа рассмотренных классификаций был сделан вывод, что они преимущественно носят скорее конструктивный или инженерный характер, предоставляя проектировщику лишь общее описание внешнего вида несущей системы, ориентировочный пролет и принципы работы конструкций.

В результате была предложена новая классификация общественных сооружений по объемно-пространственному принципу, в которой предложено разделить общественные здания с большепролетными металлическими конструкциями на три вида:

- сооружения, в которых оболочка применяется исключительно как покрытие;
- сооружения, в которых оболочка комбинируется с иными несущими конструкциями и активно участвует в формообразовании здания;
- сооружения, в которых оболочка настолько активно влияет на формообразование здания, что фактически представляет собой общественное сооружение целиком.

Предложенная классификация является комплексной оценкой общественных зданий с использованием большепролетных металлических конструкций. Она охватывает как плоскостные так и пространственные несущие конструкции и видится полезным инструментом именно для архитектора, рассматривая общественные сооружения не только с точки зрения конструкций, но и со стороны объемно-планировочного решения.

Влияние большепролетных металлических конструкций на формообразование в общественных зданиях

В соответствии с установленной методологией, производится комплексный анализ примеров современной архитектуры общественных зданий. По результатам проведенного анализа примеров архитектуры были выбраны наиболее характерные типологии общественных зданий с точки зрения большепролетных металлических конструкций. Среди них выставочные пространства, транспортные и спортивные объекты. Помимо указанных функциональных направлений общественных зданий,

также были рассмотрены общественные сооружения с другими функциональными назначениями, среди которых музеи, океанариумы, транспортно-пересадочные узлы, открытые общественные городские пространства, перекрытые с использованием большепролетных металлических конструкций. Для выявления оптимального решения объемно-планировочной задачи и подробного рассмотрения таких конструкций в общественных зданиях проводится анализ, который строится по определенному алгоритму, состоящему из четырех параметров:

- **Архитектурный параметр.** С первого взгляда складывается впечатление, что как бы то ни было сравнить или сопоставить общественные здания, даже одной типологии, практически невозможно, настолько отличаются друг от друга примеры современной архитектуры. Однако стоит отметить, что в своей основе все эти постройки принципиально не отличаются друг от друга – своей реализацией они призваны решить определенные функциональные задачи. Непростым вопросом остается соотношение ответа на точные функциональные вопросы, в виде схемы функционального зонирования, и архитектурной выразительности полученного в результате проектирования физического объема сооружения. В упрощенном виде, у архитектора или команды проектировщиков есть два пути развития концепции будущего здания – чисто утилитарный и эффектного воздействия на зрителя. Утилитарный подход включает в себя элементарное перечисление требуемых техническим заданием функций и связей между ними, увязывание между собой многочисленных систем и элементов здания. Путь создания эффектной и визуально выразительной постройки может идти во вред функциональному наполнению, разумной экономичности или ресурсной и энергетической эффективности; это формалистичный подход, который рассматривает форму саму по себе, объем, как независимый скульптурный элемент, в отрыве от окружающей антропогенной и природной ситуации. Оба таких подхода, на мой взгляд, не являются до конца правильными. При выборе того или иного пути происходит перекос в сторону красоты, либо в сторону функциональности. С такими задачами может справиться либо инженер (как показал весь XIX век развития европейской архитектуры), либо скульптор или художник, так как они работают зачастую именно с отдельным объектом, который экспонируется в уже существующем

окружении, то есть не имеет с ним какой-либо связи. Архитектурой можно называть только сооружение, комплексно решившее различные задачи. Архитектура создает или моделирует окружение, она активно участвует в восприятии антропогенной среды решая в то же время точные функциональные задачи. В результате подобных заключений было принято решение выделить основные параметры, благодаря которым возможно рассмотреть здание комплексно, учитывая все основные его стороны.

Архитектурный параметр рассмотрения примеров общественных зданий с большепролетных сооружений был условно разделен на два – внешний и внутренний, то есть, условно, фасад и интерьер. Ясно, что интерьер и экстерьер рассматривать отдельно друг от друга не является верной позицией, однако, не смотря на то, что в данном исследовании примеры рассматриваются комплексно, зачастую, учитывая особенности той или иной постройки, логично сделать больший акцент на внутреннем пространстве, либо на внешнем виде здания.

Рассматривая примеры архитектуры в рамках этого параметра, в исследовании учитываются различные его аспекты. Несомненно, самым активным элементом является несущая система. Выбор принципа работы каркаса здания предполагает использование архитектором тех или иных объемно-планировочных решений. Для проектировщика является крайне важным применить верную несущую систему, учитывая не только функциональное наполнение будущего сооружения, но и его архитектурную выразительность, возможность использования того или иного материала для несущих конструкций. При не рационально выбранной несущей системы в дальнейшем проектировании появляются проблемы различного характера, к примеру, перерасход материала, невозможность реализации комфортного для посетителя функционального зонирования помещений, низкие архитектурно-выразительные характеристики здания, в конце концов, не достаточная надежность конструкций.

Для исключения масштабных проблем, которые могут возникнуть в процессе эксплуатирования здания а также создания выразительной композиции архитекторы прибегают к комплексному анализу строительной площадки и массы других параметров, среди которых одним из важнейших является климат. Количество и вид осадков, температурный фон, преимущественное направление

ветра, сейсмическая ситуация могут очень сильно влиять на выбор объемно-композиционных решений. Несомненно, климат влияет и на выбор несущей системы здания. Несущая система в свою очередь оказывает непосредственное влияние на то, как будет выглядеть интерьер и фасады здания. Несущая система – это скелет здания, его основа, его невозможно скрыть. Таким образом, конструкции вертикальных и горизонтальных несущих элементов являются одним из важнейших формообразующих факторов.

- **Функциональный параметр.** Местоположение различных функциональных зон в общественном сооружении находится в тесной связи с объемно-планировочным решением здания, за которое отвечает, в первую очередь, архитектор. Ясно, что в данном случае одной из главных задач является выбор и рациональное проектирование несущего каркаса здания. Все эти неотъемлемые элементы архитектурно-планировочной композиции следует разрабатывать командой проектировщиков в одно и то же время, то есть комплексно, так как они крайне взаимосвязаны и фактически неотделимы друг от друга.

В архитектуре общественных зданий традиционно сложилось два основных метода построения архитектурно-планировочной композиции. Первый метод заключается в четком разграничении помещений по однородным функциям и дальнейшей их группировке в функциональные группы. Второй метод заключается в создании некого единого крупного внутреннего объема здания, который отличается универсальностью и многообразием внутреннего использования. В таком случае функциональные группы формируются при помощи внутренних разграничающих конструкций, перегородок. При выборе второго метода построения композиции, особенно важным моментом становится выбор вида большепролетных конструкций, так как зачастую архитектор оставляет их открытыми зрителю. На первое место выходит проблема восприятия внутреннего объема – неверно выбранное функциональное зонирование такого крупного помещения может негативно сказаться на выразительности интерьера, «замусорить» чистоту и красоту архитектурно-инженерного решения крыши и потолка. Такой крупный внутренний объем должен восприниматься зрителем целиком, не должны появляться серьезные визуальные препятствия, иначе теряется смысл использования такого метода решения архитектурно-планировочной

композиции. Помимо этого, внутренние пространства здания могут компоноваться как по вертикали, так и по горизонтали. Очевидно, что расположение функциональных групп в здании сильно влияет на объемное решение сооружения в целом – как на интерьерную его часть, так и на экsterьер. Рассмотрены основные схемы компоновки помещений - ячейковая, коридорная, анфиладная, зальная, павильонная и смешанная или комбинированная. Выявлено, что общей чертой для всех общественных зданий является наличие ядра - самого значительного по функции помещения, которое, как правило, является одновременно и самым большим помещением в общественном здании.

- **Микроклиматический параметр.** Микроклимат в общественных зданиях формируют большое количество различных элементов здания. В первую очередь, для достижения требуемых показателей микроклимата, на стадии анализа, архитекторы обычно учитывают климатические особенности строительной площадки. Географическая широта, направление и сила ветра, световой режим, количество и характер осадков - все эти показатели, учитывающиеся при выборе объемно-планировочного решения, являются важнейшими при моделировании микроклимата в будущем здании. Так, средства солнцезащиты могут оказывать существенное влияние на архитектурное решение проекта. Они могут быть архитектурно-планировочными, конструктивными и техническими. К первым относятся такие средства, как озеленение и обводнение территорий, малые архитектурные формы, так и рациональная ориентация по сторонам горизонтам. К конструктивным солнцезащитным средствам можно отнести разнообразные варианты решения крыши, такие как шеды, складки, устройство световых шахт, вертикальных и горизонтальных жалюзи или ставен. Технические средства для поддержания требуемого теплового микроклимата здания включают в себя устройства по кондиционированию и нагрева воздуха, водоразбрызгивающие установки, водооналивные крыши. Средства солнцезащиты и поддержания комфортного микроклимата в здании должны работать совместно, комплексно, в противном случае могут возникать «перекосы» в их работе, когда, к примеру, нагрузка на систему кондиционирования или нагрева воздуха сильно повышается в результате неоправданно больших световых проемах или не достаточно глубоких помещений. Вопрос микроклимата требует к себе повышенного внимания при

проектировании крупных зальных помещений. В определенных типологиях общественных зданий, к примеру, в зданиях аэропортов, архитектор стремится устроить различного вида световые проемы в конструкции крыши, или сделать её практически «прозрачной». В данном случае перед архитектором стоит задача обойтись с потолком максимально аккуратно, так как внимание зрителя отчасти концентрируется на потолке благодаря устройству световых проемов.

- **Градостроительный параметр.** Существующее многочисленное разнообразие зданий общественного назначения свидетельствует не только о разнообразии авторских взглядов архитекторов на вопрос проектирования, но и о бесконечно отличающихся друг от друга градостроительных ситуациях. Учитывать окружающую градостроительную ситуацию при рассмотрении того или иного здания крайне важно, так как любое сооружение, в особенности общественное, всегда проектируется с учетом контекста антропогенного, природного. Площадки, отведенные под строительство общественных зданий, могут кардинально отличаться друг от друга и, следовательно, отличаются и подходы к проектированию. Окружение диктует свои требования к внешнему, а зачастую, и к внутреннему виду и устройству общественного здания. Чем больше открытой площади уделено общественному зданию, тем крупнее становятся его элементы. В таком случае визуальное восприятие осуществляется с большого расстояния, и издалека зритель просто не сможет оценить мелкую детализацию фасада, конструкций здания. Ситуация кардинально меняется когда здание располагается в условиях плотной городской, а зачастую еще и исторической среды. В этом случае зритель воспринимает здание с гораздо меньшего расстояния, чем в предыдущем случае – практически вплотную. Членения фасада, степень визуальной «сложности» внутренних конструкций общественного здания зачастую находятся в тесной связи с контекстом, а в частности с площадью участка под застройку и его геометрическими размерами. Расположение крупного общественного здания в условиях города также требует оценку ежедневной и еженедельной миграции населения, удаленность от транспортных магистралей, пересадочных узлов и прочих элементов транспортной системы.

Среди прочих конструкций, особой акцент сделан на большепролетных конструкциях В.Г. Шухова - объеме гиперболоида вращения, легких сетчатых оболочках, висячих покрытиях, на принципах которых фактически основывается современная архитектура общественных зданий с использованием металлических конструкций. Подчеркивается, что инженерные решения прошлого века остаются актуальными и сегодня, переосмысливаясь современными архитекторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании рассмотрен вопрос восприятия общественных зданий и пространства и воздействия современного городского пространства на человека, в результате чего обозначено, что такие проблемы, как зрелищность архитектурного пространства, пространственное взаимодействие со зрителем, не должны выпадать из поля зрения современного архитектора. Архитектура по своей природе – объемно-пространственное искусство и ее назначение – создавать искусственную материальную и духовную среду для обитания человека. Проведенным анализом подтверждено, что композиционно-пространственная сущность архитектуры – мощный рычаг идеологического и эстетического воздействия на человека.

В рамках разработанной в первом разделе классификации сделаны соответствующие выводы относительно применения тех или иных большепролетных несущих систем.

- **Мембранные покрытия.** В результате исследования можно сказать, что современные тенденции в области большепролетных конструкций таковы, что перекрываемый пролет увеличивается, а собственная масса конструкций снижается. Эти особенности характерны комбинированным (сталежелезобетонные) висячим покрытиям, которые состоят из тонколистовой растянутой металлической конструкции и сжатого железобетонного опорного контура. При таком конструктивном решении наилучшим образом используются механические качества каждого из применяемых при строительстве такой конструкции материала. Сталь, хорошо работающая на растяжение, идет на изготовление непосредственно мембранны, в результате чего вес пролетной части конструкции оказывается минимальным. Другая, сжатая часть конструкции – опорный контур –

выполняется в железобетоне, хорошо работающем на сжатие. Если традиционные покрытия состоят из несущих и ограждающих конструкций, то в мембранах эти функции совмещены.

Работа листа мембранны делает возможным перекрывать большие пространства, причем собственная масса такой конструкции всегда будет меньше массы конструкции плоскостной несущей системы. Источники указывают, что благодаря работе материала тонким стальным листом можно перекрывать пролет 200 м при толщине мембранны всего 2 мм, т.е. с расходом стали на большепролетное сооружение в 16 кг/м². Мембрана, изготовленная из обычных сталей, представляет собой крайне надежную конструкцию. Это обусловлено тем, что с увеличением нагрузки резко возрастает стрела провеса покрытия и, следовательно, его несущая способность. Большим достоинством мембран при перекрытии больших пролетов является возможность переноса основных трудоемких процессов по возведению покрытия в заводские условия, где кажется рациональным расположить производство большеразмерных стальных элементов мембранны, которые в рулонах доставляются на строительство и «собираются» прямо на строительной площадке.

- **Висячие покрытия с жесткими нитями.** Доказано, что использование при перекрытии больших пролетов жестких нитей позволяет получить устойчивые кровли, минуя уложняющие строительство процессы предварительного напряжения; однако по сравнению с вантовыми или мембранными конструкциями покрытия с жесткими нитями более металлоемки. В роли жестких нитей могут выступать висячие фермы, тросовые фермы, которые шарнирно подвешиваются к опорным контурам расположенным по периметру здания (в случае эллипсовидного плана) или с двух противоположных сторон (в случае прямоугольного или квадратного плана. От обычных ферм, подобные висячие решетчатые фермы отличаются наличием горизонтального распора, который передается на опорные контуры. Однако, работая со стрелкой провисания таких ферм можно добиться существенного уменьшения распора. Обозначено, что основным преимуществом таких конструкций является крайне низкая деформативность, которая, к примеру, может возникнуть при загружении покрытия снегом в зимний период.

- Использование **металлических ферм** в устройстве покрытий больших пролетов постоянно сопровождается совершенствованием конструктивных форм. Зачастую, при использовании такой конструктивной системы, кровельное покрытие включается в общую статическую работу конструкции, обеспечивая экономически положительный эффект и повышая общий технический уровень конструкции. В результате рассмотрения примеров архитектуры общественных зданий рекомендуется ее применение для перекрытия пролетов вплоть до 60 м. В современной архитектуре, казалось бы, такая тривиальная конструкция как плоскостная ферма модифицируется в крайне технологичный, архитектурно продуманный элемент, модифицируясь в пространственную ферму. Она получает нерегулярное сечение и фактически уходит от определения плоскостной конструкции, хотя по принципам работы остается практически таковой.

Среди прочего показано, что оболочки, мембранны, наряду с пространственными сетчатыми оболочками и пространственными фермами, будучи новыми конструктивными системами по сравнению с плоскостными конструкциями (балками и фермами), характеризуют спроектированные с их применением сооружения как наиболее современные. Проектирование и возведение таких зданий связано с располагаемыми внутри сооружения функциями, возможностями строительной индустрии, средствами и сроками на строительство. Вместе с тем выявлено, что построение архитектурных форм подчиняется законам восприятия их человеком - чтобы конструктивные формы стали архитектурными, необходимо затратить определенный объем материала и труда, чтобы решить эстетические задачи архитектуры. Отмечено важное значение соблюдения тектонических и статических принципов построения архитектурно-конструктивных систем, выбора основного несущего и строительного материалов, их влияние на технико-экономические показатели сооружения.

Анализ висячих систем выявил, что существуют определенные резервы улучшения показателей таких покрытий, так как в большинстве построенных сооружений основные конструкции перегружаются стабилизирующими элементами, слишком большое количество материала тратится на опорные контуры и т.д.

Анализ и подробное рассмотрение опыта строительства общественных зданий с использованием большепролетных металлических конструкций последних десятилетий показал, что пространственные висячие металлические конструкции в сочетании с опорным контуром обладают высокими технико-экономическими показателями и, в случае их применения в массовом строительстве, могут дать значительный экономический эффект. В первую очередь, это относится к мембранным оболочкам.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

В рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1) Душкевич К.Н. «Выдержат ли конструкции В.Г. Шухова новейший вид нагрузок?» / К.Н. Душкевич, О.Ю. Суслова // Архитектура и строительство России. – М. : 2011. - № 4 (апрель).

2) Душкевич К.Н. Металлические конструкции В.Г. Шухова как потенциал формообразования современной архитектуры / К. Н. Душкевич // Международный электронный научно-образовательный журнал “Architecture and Modern Information Technologies” «Архитектура и современные информационные технологии» (AMIT).

– 2016. – №2(35). Режим доступа:
<http://www.marhi.ru/AMIT/2016/2kvart16/index.php>

В других изданиях:

3) Суслова О.Ю. Судьба конструкций В.Г. Шухова: исчезающее совершенство / О.Ю. Суслова, К.Н. Душкевич // Архитектура, Строительство, Дизайн. – М. : 2011. – № 2(63).

4) «Шуховская башня: обсуждение идет, проблема недвигается» - публикация в сборнике «Архитектоника инженера В.Г. Шухова», изданного к Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова;

5) «Современны ли «современные» большепролетные металлические конструкции в России?» - публикация в сборнике «Тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов» - ноябрь, 2013 г.

6) «Современное варварство. На наших глазах исчезают уникальные конструкции В.Г. Шухова» К.Н. Душкевич – публикация в сборнике «Тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов» - апрель, 2010 г.

7) «Судьба конструкций В.Г. Шухова: исчезающее совершенство»
О.Ю. Суслова, К.Н. Душкевич – публикация в журнале «Архитектура, Строительство, Дизайн» - № 2(63), 2011 г.

8) «Современные большепролетные металлические конструкции» К.Н. Душкевич – публикация в сборнике «Тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов» - апрель, 2014 г.

9) «Большепролетные заводские конструкции В.Г. Шухова» К.Н. Душкевич – публикация в сборнике «Тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов» - апрель, 2015 г.

10) «О выборе оптимального решения по спасению объекта культурного наследия России – Шаболовской радиобашни» К.Н. Душкевич – публикация в сборнике

«Тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов» - апрель, 2013 г.

Участие в выставках:

- 1) «Уникальные конструкции Шухова» - О.Ю. Суслова, К.Н. Душкевич – фотовыставка в фойе Красного зала МАрхИ – 10-30 июня, 2010 г.
- 2) «Уникальные конструкции Шухова» - О.Ю. Суслова, К.Н. Душкевич – фотовыставка в рамках Международного Металл Страй Форума – Москва, ВВЦ, павильон 75 – 9-12 ноября , 2010 г.

Прочее:

- 1) Участие в круглом столе "Архитектурное наследие Владимира Шухова в современном городе", Центральный дом архитектора, 3 декабря, 2012 г.
- 2) Участие в пресс-конференции, посвященной Шаболовской башне и 160-летию В.Г. Шухова, Государственный центральный музей современной истории России, 19 марта, 2013 г.