

Министерство науки и высшего образования
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 Особенности формирования архитектурных объектов на основе
пневматических конструкций в XXI веке

Аспирант Пшеничникова Кристина Андреевна

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

Научный руководитель: Сапрыкина Наталия Алексеевна, доктор архитектуры,
профессор, зав. кафедры «Основы архитектурного проектирования»

Кафедра подготовки «Основы архитектурного проектирования»

2018/ 2019 уч.г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Пневматические строительные конструкции представляют класс мягких оболочек, изготовленных из синтетических пленочных материалов¹, напряженные избыточным или отрицательным давлением воздуха для несущей способности и придания формы. Пневматические конструкции принято разделять на две основные группы: воздухоопорные и воздуhonесомые. Также следует выделить ряд дополнительных групп, которые являются производными от воздухоопорных, ввиду характера статической работы над нагрузкой: пневмолинзы², пневмоподушки³, комбинируемые и трансформирующиеся структуры.

Воздухоопорные конструкции — это сооружение, опирающееся на воздух, который находится под полимерной оболочкой под давлением несущественно превышающем атмосферное. Пневмолинзы и пневмоподушки работают по тому же принципу несмотря на то, что являются отдельными элементами, а не сооружением, поэтому их принято классифицировать как воздухоопорные. Воздуhonесомые конструкции являются строительными элементами: предварительно напряженные пневмопанели и пневмостержни, не являющиеся самостоятельным сооружением.

Анализ мирового опыта с пневматическими конструкциями показал обширное применение и общетеоретическое изучение воздухоопорных структур. Воздуhonесомые пневмостержни и пневмопанели не получили распространения. Следовательно, в предстоящем исследовании целесообразно рассматривать преимущественно воздухоопорные пневматические конструкции, включая пневмолинзы, пневмоподушки, а также комбинированные системы. Однако, для восприятия общей картины

¹ Примеры полимерных пленочных материалов: PVC (винил); Myter (полиэтилен полиэфир); ETFE (этилен тетрафтороэтилен).

² Применяются при многоугольном, круглом и овальном планах.

³ Используют при прямоугольном плане.

развития пневматических конструкций, некоторые воздухоносные сооружения и разработки по ним представлены в исследовании.

Актуальность исследования Тема исследования является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения. Сегодня изучение пневматических конструкций является предметом внимания специалистов из разных областей знания в России и, в особенности, за рубежом, так как для этого имеются значительные основания. Изучение последних теоретических и практических работ по пневматическим конструкциям показывает, что экономические, экологические, технологические и гуманитарные предпосылки влияют на развитие пневматических структур в XXI веке.

Отличительной чертой современной среды является растущая динамичность жизни общества, вызванная высокими темпами развития новых технологий и изменением сферы деятельности населения, что требует популяризации быстровозводимых и трансформируемых зданий, отвечающих современным требованиям архитектуры и инженерии. Новейшие пневматические оболочки соответствуют главным принципам формирования современных конструкций: вторичное использование (переработка); адаптивность; динамичность; легкость; экономичность; мобильность; экологичность и ресурсосбережение. Важно подчеркнуть, что данное направление на сегодняшний день еще не получило активного распространения на территории России, ввиду климатических и иных особенностей, связанных с некоторыми недостатками пневматических оболочек XX века (однослойные полимерные материалы; проблемы со снеговой нагрузкой; недостаточная теплоизоляция).

Решением проблемы может стать применение новейших гибких объемно-пространственных пневматических конструкций с улучшенными техническими показателями, адаптируемых в соответствии с требованиями времени, а также разработка принципов, предоставляющих возможность возводить технологически и эстетически усовершенствованные сооружения

на территории России, учитывая климат, образ жизни людей, социальные и экологические метаморфозы. Основываясь на многолетнем опыте изучения пневматических конструкций необходимо выявить и структурировать актуальные данные по части формообразования, типологии, технологии и материалов для получения результатов в области проектирования надувных сооружений в различных климатических и социальных условиях.

Актуальность работы также состоит в анализе исторических и современных теоретических и экспериментальных работ, а также реализованных прецедентов в области пневматических зданий и сооружений, выявлении предпосылок и факторов их развития в XXI веке. Следует отметить, что в исследуемой проблематике необходима разработка принципов формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций с учетом современных требований, а также выявление стратегии развития данных структур.

Теоретическая база исследования и степень научной разработанности темы

Исследование пневматических структур и взаимосвязи архитектуры и конструкции — это комплексная проблема, включающая технологические, объёмно-пространственные, архитектурно-планировочные, типологические, экологические аспекты. Анализ мировой практики последних десятилетий по части пневматических конструкций показывает, что литература по данной проблематике достаточно обширна. Теоретические концепции и исследования, проектные и экспериментальные разработки, включая смежные работы, целесообразно разделить на несколько групп: советские и зарубежные труды XX века и российские и зарубежные исследования XXI века.

Вклад в исследование пневматических конструкций внесли зарубежные ученые, архитекторы и инженеры XX века. Бэрд У., проводивший исследования материалов и технологий и сконструировавший первый воздухоопорный купол; Кросби Н., разработавший ряд уникальных

пневматических структурных систем; Бини Д., исследовавший технологию тонкостенных бетонных куполов с пневматической опалубкой; Ланчестер Ф. У., запатентовавший идею первого пневматического воздухоопорного сооружения. Отто Ф. открыватель структурного поиска форм пневматической архитектуры посредством изучения природы и бионики. Необходимо отметить важные работы в области развития пневматических структур и материалов Дента Р., Герцога Т., Кавагучи М., Минке Г., Эггерса Х., Тростеля Р., Прайса С., Стивенса Г., Гейгера Д. Х., Дессоса М., Фуллера Р. Б., Куниэда Н., Йокояма Ю., Аракава М. Энгельбрехта Р. М., Одена Дж. Т., Кубица В. К., Леонарда Дж. В., Сривастава Н. К., Йокояма Ю., Аракава М., Глокнера П. Г., Малкольма Д. Дж.,

Теоретические и проектные исследования пневматических систем Бубнера Э., Линекера И., Фрицше Э., Вольфа Г., Айзенхута Г., Круммхойера В., Старджена Д. Л. Г., Уардла М. В., Хауга Э., Майовецки М., Тирони Дж., Харнаха Р., Энгеля Х., Канца Х., Коха К. М., Хаберманна К., Швиттера К., а также архитекторы 1960-х годов Обер Ж., Юнгманн Ж., Стинко А. и социолог Бодрийяр Ж. Изучение по части пневматических конструкций в космическом пространстве проводили Лу М., Ферия В., Фриленд Р. Э., Билие Г. Д., Веал Г. Р., Микулаш М. М.

Разработки в XX веке вели отечественные ученые, архитекторы и инженеры. Покровский Г. И. внес вклад в развитие аэростатической архитектуры и разработки пневматических сооружений в 1930-х годах. Ермолов В. В. опубликовавший в 1983 году книгу «Пневматические строительные конструкции» в соавторстве с У.У. Бэрдом, Э. Бубнером и другими советскими и зарубежными исследователями⁴; Орас Ю. Н. в диссертации «Особенности архитектурной композиции пневматических сооружений» выявил специфику пневматических сооружений, особенности их формообразования и типы объемно-пространственной композиции;

⁴ Книга посвящена пневматическим воздухоопорным конструкциям, а также пневматическим линзам и подушкам, относящимся к воздухоопорным.

Лебедев С. Ю., рассмотревший симбиоз пневматической архитектуры и бионики. Инженер Сумовский И. А., получивший патент на аэробалку в 1893 году, что предполагало строительство мостов из соответствующих элементов и внесло вклад в развитие пневматических конструкций⁵.

Следует выделить технические работы в отношении расчетов и теории мягких оболочек пневматических систем и пневматической опалубки Алексева С. А., Кислоокого В. Н., Усюкина В. И., Борсова Р. Г., Козловского С. Ч., Шапиро Д. Л., Лернера Е. П., Петракова Б. И., Андриенко Е. Г., Колаева В. П., Носова В. М., Новикова В. А., Гольденвейзера А. Л., Мешкурова В. А., Азовцева А. И. К работам общего характера по пневматическим конструкциям и гибким материалам следует отнести труды Королева А. Б., Шабалина В. Н., Муравьева В. Б., Губенко А. Б., Арсеньева Л. Б., Полякова В. П., Овсепян А. П., Полякова В. С., Шпакова В. П., Вознесенского С. Б., Рахутина В. С., Знаменского Е. М., Охотникова А. А., Анцыгина Ю. Г., Хелемского М. З., Онищенко Н. И., Глебова В. А., Лакота А. М., Каримова Ф. А., Тареева, И.Н., Пиксайкиной Л. К., Гринь И. М., Джан-Темирова К. Е., Дыховичного Ю. А., Жуковского Э. З., Вертюк И. М., Гогешвилли А. А., Шепелева В. Т., Горшунова Н.Л.

Зарубежные исследования XXI века принадлежат Маклин У. И Сильверу П. включившие примеры пневматических объектов XX и XXI веков, а также современные разработки по части материалов и технологий; ЛеКуер А., описавшей основные этапы развития полимерных материалов, в особенности материала ETFE; Кроненбургу Р. структурировавшему примеры мобильной пневматической архитектуры. Труды о материалах и технологиях пневматических конструкций Книшперса Я., Кремерса Я., Габлера М., Линхарда Д., Коха К. М., Йеска С., Барнса М., Диксона М., Онате Э., Хенника П. К., Хаутмана Р., Стимпле Б., Бридженса В. Н., Гослинга П. Д.,

⁵ Американский патент № 511472.

Бальхауса Д., Эванса П., Акселя Р., Лучсингера Х. Р., Педретти М., Рейнхарда А., Крауэля Я., Топхэма Ш.

По части адаптивных конструкций и информационных материалов следует выделить работу Кретцер М. Разработки интегральных процессов проектирования на стыке морфогенетических расчетов, биомиметической инженерии и автоматизированного производства принадлежат Менгесу А. Теоретические и экспериментальные разработки адаптивных пневматических каркасных конструкций проводят Пуан П., Бахарлоу Э. и Швинн Т. Клаузен Б. объединяет некоторые современные работ, в которых задействованы эластичные надувные материалы, в том числе работы Ли Д. Б., Чарльза и Рея Имса, Элиассона О., Фридмана Т., Манцони П., Нето Э., Риста П., Сигала М. Уорхола Э. Исследования космических разработок с воздухоопорными структурами рассмотрены Митчел Т., Болонкин А., Смитман Д. В., Р. Сет К., Куайн Б. М., Чжу З. Х., Кадоган Д., Гран М.

Труды российских исследователей XXI о пневматических конструкциях принадлежат Сапрыкиной Н. А., в работе о динамическом формообразовании и адаптации архитектурных объектов; Кривошапко С. Н., внесшим вклад в изучение параметрической архитектуры; Леденеву В. В., Худякову А. В., Шихирину В. Н. Филимонову Э. В., в работах которых рассмотрены области применения оболочек при возведении зданий и сооружений; Арзуманову А. А., исследовавшему мягкие материалы в надувных оболочках. Моделирование пневмооболочек рассматривает Шальнев О. В.

Технические аспекты пленочно-тканевых композиционных материалов, и расчета нелинейных мембранно-пневматических систем и армированных пневмоопорных оболочек выявлены в диссертациях и монографиях Мангушевой А. Р., Соколовской И. Ю., Шакировой А. М., Нургазиева Р. Б., Кима А. Ю., Коневу А. Н., Кареловой Д. Г.

Вышеприведенный анализ существующих научных исследований позволяет заключить необходимость в систематизации и комплексности

подходов в области изучения пневматических конструкций, раскрывающих их взаимодействие со средой и обществом, а также выявление современных приемов, принципов и факторов формирования архитектурных объектов на их основе в XXI веке. Незавершенность некоторых аспектов и критериев, в частности принципов формирования, приводит к неполной ясности общей концепции развития пневматических структур.

На сегодняшний день тема стала гораздо более сложной и многогранной, чем несколько десятилетий назад, ввиду развития новых технологий, материалов и способов автоматизированного производства. Исследование актуально в общетеоретическом плане и представляет интерес для формирования практических проектных разработок, ориентированных на отечественные климатические и социально-культурные условия.

Цель диссертации состоит в выявлении предпосылок и факторов развития современных форм пневматической архитектуры, а также разработке принципов их формирования в XXI веке. Состоит в обеспечении эффективности и устойчивости развития пневматических структур в современном архитектурном контексте.

Основные задачи диссертации

В соответствии с поставленной целью, сформулированы следующие задачи диссертационного исследования:

1. Определить основные предпосылки и факторы, влияющие на формирование пневматических конструкций в XXI веке.
2. Классифицировать и систематизировать современные типы пневматических конструкций и архитектурных объектов на их основе по конструктивным параметрам и в зависимости от типологической принадлежности.
3. Разработать принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке.

Объект исследования

Спроектированные и построенные пневматические здания, и сооружения XXI века в городской и природной среде.

Предмет исследования

Принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке.

Границы исследования

Хронологические рамки работы ограничены периодом конца XX — начала XXI века с необходимыми экскурсами в предысторию вопроса. XX век и история возникновения рассмотрены в первой части исследования, XXI век является приоритетным. Данный период характеризуется актуальностью пневматических форм архитектуры, что обосновано развитием технологий, материалов, тенденций и социально-культурными условиями. Технологический и инженерно-технический аспекты не представлены в работе подробно. Расчеты пневматических оболочек в исследовании не рассматриваются.

Территориальные рамки исследования

В географическом отношении проанализирована практика эксплуатации пневматических сооружений в таких странах, как Франция, Испания, Австрия, Англия, Нидерланды, Дания, Италия, Казахстан, Германия, США, Китай, Малайзия, Бразилия, Колумбия, Швейцария, Япония, Латвия, Канада, Финляндия, Саудовская Аравия и Россия. Выбор преимущественно европейского региона обусловлен широким спектром реализованных объектов на основе пневматических конструкций. Основой является мировой опыт, а материал исследования рассматривается с точки зрения его дальнейшего развития на территории Российской Федерации.

Методология исследования

Методология исследования включает изучение и многоаспектный анализ опубликованной литературы на русском и, преимущественно, на

иностранных языках. Анализ иллюстративного материала пневматических сооружений с последующим составлением таблиц и схем, а также графоаналитический способ сравнения пневматических объектов по различным параметрам.

Новизна исследования

В диссертации выявлены и систематизированы архитектурно-планировочные приёмы и технические средства формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций, а также классификация современных пневматических объектов по различным типологическим и конструктивным признакам. Определены предпосылки и факторы развития пневматических конструкций в современной архитектуре. Установлены новейшие способы проектирования и возведения пневматических объектов на основе информационного цифрового моделирования. На основании полученных результатов впервые комплексно разработаны и сформулированы основные принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке. Задана траектория популяризации пневматических структур, даны научно-обоснованные рекомендации по их проектированию в современном архитектурном контексте.

Практическая значимость работы состоит в предоставлении архитекторам и инженерам комплекса средств, приемов и принципов, обеспечивающих эффективное формирование архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке. Работа предоставляет возможность применения полученных результатов исследования в отечественной практике.

Теоретическая значимость работы состоит в формировании предпосылок последующей разработки темы с целью понимания перспектив работы с пневматическими конструкциями в Российской Федерации.

Ожидаемые результаты

В результате исследования предлагаются комплексно разработанные принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке, а также рекомендации и предложения по проектированию и эксплуатации указанных структур в современном архитектурном контексте.

Положения выносимые на защиту

- Предпосылки и факторы развития архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в современной архитектуре.
- Принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Результаты исследования докладывались на международных научно-практических конференциях, по теме диссертации опубликовано 11 публикаций, в том числе три в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ. К теме диссертации относились статьи (Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ – 2017, 2018, 2019), а также выступления на конференциях. Автор принял участие в Международном форуме по мембранным конструкциям «Textile Roofs» 2018 (23rd International Workshop on the Design and Practical Realisation of Architectural Membrane Structures) с сертификатом участника и конференции «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты».

Автор принял участие в разработке проектного задания клаузуры «Жилой дом – убежище в эпоху катаклизмов» на кафедре МАРХИ «Основы архитектурного проектирования» в соавторстве с доцентами В.П. Чукловой и С.Г. Готовой.

Структура диссертации

Диссертация состоит из текста, включающего введение, три главы, заключение, списка литературы, списка основных публикаций по теме исследования и приложений. В диссертации содержится приложение с иллюстрациями к тексту.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Во введении обоснована актуальность проблемы, связанная с ее недостаточной изученностью и определением современной классификации, систематизации и выявлением предпосылок развития архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке. Состоит в отсутствии научно-обоснованных принципов формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в современной архитектуре и рекомендаций по проектированию, на основе разработанных принципов. Определены цели, задачи, объект, предмет и границы диссертационного исследования. Выявлена научная новизна и практическое и теоретическое значение работы.

Глава 1. Опыт проведения исследований и практических разработок архитектурных объектов на основе пневматических конструкций

В первой главе *определены исторические предпосылки развития пневматических конструкций. Проанализировано историческое развитие надувных структур, а также особенности их формирования в зарубежной и отечественной практике. Выявлен и обоснован подход к исследованию.*

1.1 Основные исторические этапы развития пневматических конструкций

1.1.1 Прототипы пневматических конструкций

Исследование прототипов современных пневматических конструкций показало, что примитивные надувные структуры существовали на протяжении долгого периода времени, а воздух в качестве конструктивного

элемента применяли в различных целях инженеры и изобретатели. Установлено, что развитие пневматических конструкций независимо от временного периода основано на тесной взаимосвязи технологических открытий и творческих замыслов автора.

1.1.2 Опыт применения пневматических конструкций за рубежом в XX веке

Зарубежный проектный опыт и общетеоретические концепции XX века демонстрируют процесс динамичного развития исследуемого направления, в особенности начиная с 1940-х годов. Установлено, что за относительно короткий промежуток времени, а именно 54 года, пневматические конструкции прошли развитие от инженерных укрытий радиолокационных установок до большепролетных сооружений с уникальной архитектурой. Определено, что актуальная на сегодняшний день мобильная адаптивная архитектура на основе пневматических структур получила развитие уже в середине XX века.

Выявлено, что синтез пневматики и жестких конструкций, с целью создания интересной архитектурной композиции и более прочных зданий, и сооружений начал применяться в конце XX века. Отмечается влияние философских течений архитекторов-утопистов 1960-х годов на популяризацию пневматики в архитектуре и искусстве, а международные выставки и симпозиумы способствовали повышению интереса к исследуемому направлению в разных странах мира.

1.1.3 Отечественный исторический опыт применения пневматических конструкций

Отечественный опыт применения пневматических конструкций в XX веке отличается от зарубежного ввиду применения надувных конструкций в большей степени инженерами в промышленных сооружениях. С точки зрения архитектуры пневматика не получила распространения в СССР и отождествлялась с практичными и быстровозводимыми объектами, используемыми преимущественно в сельскохозяйственной сфере.

Выявлен ряд факторов, повлиявших на указанное восприятие пневматических конструкций в отечественной строительной практике: 1) социальным и экономическим развитием сельскохозяйственной отрасли; 2) трудностями эксплуатации; 3) отсутствие художественного развития направления. Установлено, что воздухоносимые конструкции не получили распространения в СССР в сравнении с воздухоопорными.

1.2 Анализ материалов и конструктивных форм пневматических сооружений XX века

Проведен анализ материалов пневматических конструкций, особенностей формообразования (а также приемов и средств) пневматики прошлого столетия с выявлением классификационных особенностей.

1.2.1 Классификация пневматических конструкций в XX веке

Классификационные особенности пневматических конструкций, описанные зарубежными и отечественными авторами в XX веке систематизированы с проведением сравнительного анализа. Установлено, что дифференциация пневматических конструкций на две основные группы: воздухоопорные и воздухоносимые нашла отражение в классификациях большего числа исследователей. Определены наиболее упорядоченные системы, на основании которых целесообразно разработать современную классификацию пневматических конструкций в XXI веке.

1.2.2 Специфика создания объемно-пространственных форм пневматических сооружений

Анализ особенностей создания объемно-пространственных форм пневматических сооружений XX века позволил выявить биомимикрические концепции, которые применялись при проведении экспериментов по формообразованию и сохраняют некоторую актуальность в настоящее время. Определены приемы и средства формообразования пневматических воздухоопорных сооружений без элементов усиления, с элементами усиления и на вынесенном контуре опирания, а также способы расположения усиливающих канатов по поверхности оболочек. Систематизированы

основные технические требования при возведении пневматического объекта: герметизация, воздухонагнетательная установка, входы и шлюзы, крепление оболочки к основанию.

1.2.3 Материалы пневматических оболочек в XX веке

Установлено, что материалы, применяемые для пневматических сооружений, развивались и совершенствовались с течением времени, оказывая значительное влияние на возможности надувных структур. Определены основные характеристики полимерных материалов XX века: 1) устойчивость к химическим веществам; 2) легкий вес с высокой степенью прочности; 3) долговечность 13-20 лет; 4) высокий диапазон цветовых решений; 5) огнестойкость и негорючесть. Выявлено, что основными недостатками полимерных материалов в XX веке являлись: хрупкость, возможность грибковых поражений, загрязняемость, многослойность, низкая степень прозрачности и пропускания ультрафиолета.

Глава 2. Анализ формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций и тенденции их развития в XXI веке.

Во второй главе исследования, автор, основываясь на полученных результатах изучения опыта теоретических исследований и практических разработок по части архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке, выявил современные предпосылки и факторы развития пневматических конструкций. Определены актуальные методы проектирования исследуемых структур на основе информационного цифрового моделирования и возведения при помощи робототехники. Разработана новейшая классификация пневматических конструкций, выявлены и описаны спроектированные и реализованные примеры архитектурных объектов на основе пневматических конструкций.

2.1 Современные факторы и предпосылки развития пневматических конструкций

Автором был проведен анализ и систематизация изменений и тенденций в различных областях знаний, которые оказали влияние на актуализацию пневматической архитектуры в XXI веке с целью прогнозирования дальнейшего развития исследуемого направления, так как именно единство различных условий привело к его популяризации. Определены наиболее значимые предпосылки и факторы, которые положены в основу развития пневматических конструкций в современной архитектуре.

2.1.1 Факторы, влияющие на развитие пневматических конструкций

В ходе изучения существующих теоретических и экспериментальных концепций, а также определения научных достижений прогресса и открытий в различных областях науки были установлены современные условия создания архитектурной среды, которая должна отвечать нижеследующим факторам: *техническим, экологическим, социальным, типологическим, экономическим, эстетическим, природно-географическим / городским и эргономическим*, которые определяются в соответствии с их современной спецификой. Выбранный методологический подход позволяет создать целостный взгляд на создание архитектурных объектов на основе пневматических конструкций и систематизировать существующие знания, концепции и перспективы средств и методов их формирования, и развития.

2.1.2 Предпосылки формирования пневматических конструкций в современной архитектуре

Основываясь на выявленных факторах, автором был определен ряд основных современных предпосылок формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке: *экологические, экономические, технологические, социально-гуманитарные, эстетические*.

Выявленные факторы и предпосылки формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций позволили определить причины их актуализации в XXI веке и получить наиболее полное представление о необходимости развития исследуемого направления в

современной архитектуре. Помимо этого, установлена необходимость принятия во внимание технологических и научных достижений, которые этому способствовали.

2.2. Классификационные особенности пневматических конструкций в XXI веке и анализ современных материалов

2.2.1 Классификация пневматических конструкций в XXI веке

Проведенный в первой главе исследования анализ классификаций пневматических конструкций в XX веке позволил определить, что типизации В. В. Ермолова, И. М. Гринь и Ю. Н. Орса наиболее упорядочены. Вследствие этого при разработке современной классификации надувных структур в XXI веке автор основывался на вышеописанных системах с дополнением новейшими типами структур.

Разработана следующая классификация пневматических конструкций в XXI веке: *пневматические конструкции - воздуонесомые; воздухоопорные и комбинированные. Воздуонесомые делятся на панели и стержни. Воздухоопорные подразделены: с элементами усиления; без элементов усиления; линзообразные; фасадные пневмоподушки; пневматические мышцы.* Определено, что каждый из вышеуказанных типов надувных конструкций подразделяется по форме: *сложные, простые, составные и параметрически-сложные пневматические формы цифровой архитектуры.*

2.2.2 Методы формообразования пневматических конструкций в цифровой архитектуре

В ходе исследования был определен ряд наиболее значимых методов морфогенеза и моделирования параметрически-сложных архитектурных форм, которые могут быть применены при формообразовании пневматических структур на основе различных подходов: *топологический морфогенез; комбинаторный (параметрический метод); метод неевклидовых геометрий; метод «NURBS»; перформативный подход;*

генетический подход; пластицизм; сценарный метод; нанокинетическое моделирование; морфинг.

2.2.3 Особенности использования новейших материалов пневматических оболочек и их основные свойства

Анализ материалов, используемых при проектировании и возведении архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке позволил выявить основные изменения, произошедшие в этой области:

1) увеличился срок службы и долговечность (более 30 лет); 2) материалы стали многослойными (до 5 слоев); 3) современные пленки обладают высоким уровнем светопропускания, изоляции, а также возможностью самоочистки; 4) усовершенствовались показатели огнестойкости и экологичности при переработки; 5) эстетические преимущества: затенение, нанесение рисунка, перфорации; 6) современные пленки поглощают большую часть передаваемого инфракрасного света, который можно использовать для повышения энергоэффективности сооружения; 7) внедрение гибких материалов эластомеров - актуальная область динамической адаптивной биоморфной архитектуры.

2.3 Типологические особенности проектирования и создания архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке

Анализ пневматических конструкций в СССР и за рубежом в XX веке продемонстрировал наибольший процент их применения в выставочной, спортивной, военной, промышленной и космической отраслях. Установлено, что на сегодняшний день, надувные структуры применяют в более широком функциональном и типологическом архитектурно-строительном диапазоне. Выявленные примеры были систематизированы следующим образом:

1) зрелищные и культурно-просветительские пневматические объекты; 2) пневматические здания и сооружения транспортного назначения; 3) спортивные пневматические объекты; 4) культивационные пневматические

здания и сооружения; 5) многофункциональные пневматические объекты; 6) пневматические сооружения, как часть современного искусства; 7) пневматические сооружения в экстремальных условиях; 8) пневматические конструкции, как элемент жилой архитектуры.

Глава 3. Принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в XXI веке

В третьей главе автор, основываясь на проведенном исследовании, включающем анализ опыта проектирования и строительства различных пневматических объектов в РФ и за рубежом, а также изучении ряда теоретических аспектов проблемы, разработал одиннадцать основных принципов формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций: 1) *принцип автономности*; 2) *принцип адаптивности*; 3) *принцип управления формой*; 4) *принцип трансформативности*; 5) *принцип быстровозводимости*; 6) *принцип кинетического проектирования*; 7) *принцип самоорганизации формы*; 8) *принцип биоморфии*; 9) *принцип комбинаторики*; 10) *принцип экологичности*; 11) *принцип экономичности*. На основе разработанных принципов даны научно-обоснованные рекомендации по проектированию пневматических объектов в современной архитектуре.

3.1 Эксплуатационно-технологические особенности формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в контексте их типологии

3.1.1 Принцип автономности

Принцип автономности основан на относительной конструктивной и технологической независимости архитектурных объектов на основе пневматических конструкций и его элементов на стадии эксплуатации, включая этапы их замены и / или демонтажа. Состоит в возможности управления отдельными ячейками пневматической оболочки с целью регулировки освещения, колористики, степени вращения панелей в

зависимости от освещения (энергоэффективные элементы) и динамичности. Принцип основан и применим к классификационному типу пневматических конструкций XXI века – пневматические подушки.

3.1.2 Принцип адаптивности

Автором установлено, что адаптивность играет важную роль в улучшении устойчивых атрибутов пневматического здания. На индивидуальном уровне адаптивность позволяет повысить энергоэффективность и безопасность путем достижения комфортных, условий и высокого качества среды. Принцип адаптивности может условно разделить на ряд простых стратегий: 1) Гибкость или возможность незначительных изменений в планировке пространства; 2) Конвертируемость или возможность внесения изменений внутри здания; 3) Возможность расширения (в качестве альтернативы - усадка) или возможность увеличения площади здания; 4) Динамичность пневматического фасада посредством энергоэффективных и кинематических элементов.

3.1.3 Принцип управления формой

Принцип управления формой в архитектурных объектах на основе пневматических конструкций основан на цифровом BIM- моделировании и киберфизической робототехники. Состоит в уменьшении трудности проектирования и изготовления надувных конструкций произвольной формы, что часто приводит к созданию сложных геометрий: от физических пост-процессов к поколению киберфизической формы. Применение указанного принципа возможно при помощи таких программ, как: CAD, Grasshopper, add-in Karamba3d, Rhinoceros 3D.

3.2 Динамические особенности формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в контексте интерактивности

3.2.1 Принцип трансформативности

Принцип трансформативности архитектурных объектов на основе пневматических конструкций состоит в возможности создания компактных сооружений постоянного и временного характера, с целью уменьшения внутреннего и внешнего объемов, а также мобильности и адаптивности крупномасштабного пневматического здания. Принцип включает различные виды трансформации фасадов и крыш зданий, каждый из которых оказывает влияние на формирование силуэта здания, образа, композиции и энергоэффективности. К ним относятся несколько способов трансформации: *интерактивная* (при взаимодействии с человеком); *адаптивная* (фасад способен реагировать на изменения окружающей среды) и *авторская* (изменения зависят от идеи автора).

3.2.2 Принцип быстровозводимости

Основная стратегия принципа быстровозводимости состоит в том, чтобы здания транспортировались как единое целое для мгновенного использования после их прибытия на место. Некоторые включают метод транспортировки в их постоянную структуру и могут быть построены на шасси или корпусе. Целесообразно сказать, что отличительной чертой принципа быстровозводимости пневматических зданий и сооружений в XXI веке, разработанного в данном исследовании является альтернативный метод мобильности, заключающийся в интеграции робототехники на месте возведения. Состоит в совершенствовании и замене метода предварительной сборки пневматического объекта за пределами местоположения, с помощью компьютерных приложений для промышленных легких подвесных роботов с кабельным управлением, которые обеспечивают гибкое и безопасное внедрение на месте.

3.2.3 Принцип кинетического проектирования

Принцип кинетического проектирования пневматических объектов основан на области мягкой робототехники и формируется как новый рубеж кинетического проектирования, с целью создания адаптивных и

энергоэффективных зданий и сооружений. Опираясь на традиционное проектное мышление об адаптивной архитектуре, новые эксперименты предлагают подходы к построению динамичной адаптивной пневматической архитектуры. Благодаря сочетанию мягких и жестких архитектурных элементов, это создает новую платформу для кинетической адаптивной архитектуры, которая позволяет пространству взаимодействовать с потребностями пользователей и адаптироваться к условиям окружающей среды.

3.2.4 Принцип самоорганизации формы

Разработанный автором принцип самоорганизации формы заключается в создании самоорганизующейся системы, где взаимодействие молекулярных частей определяют ее архитектурные и функциональные особенности. Процессы, которые происходят внутри самоорганизующейся структуры, не подкреплены жесткой архитектурной основой - скорее они определяют его организацию. Идея исходит из исследований динамических организмов: пневматическая структура может развиваться поперек правильной формы прямоугольника, который в результате поперечной деформации возвращает параллелограмм. Эта форма самоорганизуется и изменяется двумерным или трехмерным способом, следуя симметричному порядку.

3.3 Формообразующие особенности проектирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в контексте эстетики

3.3.1 Принцип биоморфии

Принцип основан на цифровом и информационном BIM - моделировании и 3D-печати. Состоит в создании у пневматической структуры динамических качеств, которые напоминают биоморфные движения, подобные сокращению мышцы. Установлено, что это возможно при помощи использования ABS-пластика с 3D-печати. Чувствительные устройства позволяют оболочкам адаптироваться к конкретным условиям окружающей среды или человеческому взаимодействию. Это создает основу для пневматических

структур, которые являются интерактивными и адаптивными. Цифровое параметрическое и BIM моделирование, а также аналоговые технологии изготовления позволяют создавать эластичные компоненты. Форма компонентов может быть разработана в 3D-моделировании, как полукруглая, вытянутая линейно вдоль оси или полуцилиндрическая.

3.3.2 Принцип комбинаторики

Принцип заключается в том, что конструктивные системы и элементы пневматического здания имеют автономность с технологической точки зрения и возможность обслуживать, демонтировать, заменять отдельные элементы, обособленно от остальных. Состоит в комбинировании различных типов жестких конструкций с пневматическими структурами. Принцип комбинаторики также актуален при проведении реконструкции и реставрации исторических памятников архитектуры и при сохранении руин.

3.4 Социально-экономические особенности формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций в контексте их устойчивого развития

3.4.1 Принцип экологичности

Принцип экологичности – важнейший фактор современного проектирования и строительства пневматических зданий и сооружений. Требования заключаются в использовании технологий, которые не способствуют нарушению окружающей среды: применение экологичных 100 % перерабатываемых материалов (современный полимер ETFE); уменьшение углеродного следа при транспортировке материалов и конструктивных элементов; эффективное использование энергии (светоотражающие панели, контроль перерасхода энергии при поддержке воздухом пневматических оболочек); поддержание комфортного микроклимата объекта, энергоэффективные решения эксплуатируемого пространства; утилизация и переработка отходов, и вторичное применение материала; взаимодействие с

окружающей средой посредством планировочной структуры и формообразования.

3.4.2 Принцип экономичности

Принцип заключается в меньшей стоимости полимерных пленок, которые используют при создании пневматических структур, в сравнении с другими материалами. Способность к стопроцентной переработке позволяет применить материал вторично в новом качестве (промышленные нужды). Транспортировка и монтаж фторполимерных пленок, используемых при возведении пневматических объектов экономичнее ввиду их небольшого веса.

3.5 Рекомендации и предложения по проектированию и эксплуатации архитектурных объектов на основе пневматических конструкций

На основе разработанных автором принципов формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций предложены рекомендации по их применению на различных стадиях проектирования, с целью выявления наиболее актуальных.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Определены исторические предпосылки развития пневматических конструкций, а также особенности их формирования в зарубежной и отечественной практике.
2. Анализ предпосылок и особенностей формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций, спроектированных и изученных в XXI веке, подтвердил актуальность исследования и необходимость проектирования пневматических зданий и сооружений на территории России. Определён ряд проблем, которые могут быть решены посредством адаптации исследуемых структур:

- обеспечение трансформации объекта в соответствии с изменениями образа жизни и социальных изменений;
 - ресурсосбережение и многократное использование полимерных пленок в промышленных нуждах;
 - эксплуатационная автономность, легкость монтажа и демонтажа;
 - экономическая доступность;
3. Разработана современная классификация пневматических конструкций в XXI веке: *пневматические конструкции - воздухоносимые; воздухоопорные и комбинированные. Воздухоносимые делятся на панели и стержни. Воздухоопорные подразделены: с элементами усиления; без элементов усиления; линзообразные; фасадные пневмоподушки; пневматические мышцы.* Каждый из типов подразделяется по форме: *сложные, простые, составные и параметрически-сложные пневматические формы цифровой архитектуры.*
4. На основе анализа опыта проектирования пневматических зданий и сооружений в XXI веке:
- определены основные способы трансформации и адаптации объектов.
 - выявлено, что в XXI веке пневмоконструкции применяют в широком функциональном и типологическом архитектурно-строительном диапазоне.
 - установлены методы морфогенеза параметрически-сложных архитектурных форм: *топологический морфогенез; комбинаторный (параметрический метод); метод неевклидовых геометрий; метод «NURBS»; перформативный подход; генетический подход; пластицизм; сценарный метод; нанокинетическое моделирование; морфинг.*
5. Разработаны принципы формирования архитектурных объектов на основе пневматических конструкций: *1) принцип автономности; 2) принцип адаптивности; 3) принцип управления формой; 4) принцип*

трансформативности; 5 принцип быстровозводимости; 6) принцип кинетического проектирования; 7 принцип самоорганизации формы; 8) принцип биоморфии; 9) принцип комбинаторики; 10) принцип экологичности; 11) принцип экономичности.

6. Предложены рекомендации по проектированию и эксплуатации: проводить комплексную диагностику проектной среды; рекомендации по формам, материалам и временности, основанные на разработанных принципах.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

А) Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

1. Пшеничникова К.А. Предпосылки формирования пневматических конструкций в современной архитектуре // Architecture and Modern Information Technologies. – 2018. – No3(44). – С. 183-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://marhi.ru/AMIT/2018/3kvart18/10_pshenichnikova/index.php

2. Пшеничникова К.А. Принципы формирования пневматических конструкций в современной архитектуре // Перспективы науки – 2018. – №12(111) 2018. – С. 87-91

3. Пшеничникова К.А. Особенности формирования пневматической архитектуры в XXI веке // Architecture and Modern Information Technologies. – 2019. – No2(47). – С. 150-170 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

2 https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/10_pshenichnikova.pdf

Б) Публикации в других изданиях

4. Пшеничникова К. А. Синтез пневматических конструкций с архитектурой в современных условиях: тезис доклада // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов международной НПК. – Т. 1. – М.: МАРХИ, 2017. – С. 228-230

5. Пшеничникова К. А. Пневматические воздухоопорные конструкции: настоящее и будущее // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: материалы международной НПК – М.: МАРХИ, 2017. – С. 240-243
6. Пшеничникова К. А. Предпосылки развития пневматических воздухоопорных конструкций в современной архитектуре: тезис доклада // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов международной НПК. – Т. 1. – М.: МАРХИ, 2018. – С. 250-252
7. Пшеничникова К. А. Материал будущего в строительстве пневматических воздухоопорных объектов: Пленка ETFE // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: материалы международной НПК – М.: МАРХИ, 2018. – С. 512-514
8. Пшеничникова К. А. Пневматические воздухоопорные и воздуонесомые конструкции. Анализ особенностей формообразования и статической работы под нагрузкой // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов международной НПК. (Том 1), 2019. - С. 253-254
9. Пшеничникова К.А. Адаптивность пневматической архитектуры на примере бизнес-центра "Media-ICT" в Барселоне / Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сборник материалов X Международной научно-практической конференции (30 мая 2019 г.), Том II – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2019 – 10-13. 213 с.
10. Пшеничникова К. А. К вопросу актуальности пневматических конструкций в современной архитектуре / Творчество и современность. – Новосибирск, ISSN 2542-1352, С. 23-29, 2019. – No 2(10). – 149 с.
11. Пшеничникова К. А. Классификация пневматических конструкций в XXI веке / Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: материалы международной научно-практической конференции, 2019 – 4 С.