

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального 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 формообразования архитектурных объектов на
основе гибких мембранных систем»

Аспирант Ожиганова Ирина Сергеевна

Научная специальность 05.23.21 - Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности.

Научный руководитель: Сапрыкина Наталья Алексеевна, доктор
архитектуры, зав. кафедрой «Основы архитектурного проектирования»

Кафедра подготовки «Основы архитектурного проектирования»

2016/2017 уч.г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В области архитектуры появление новых строительных материалов, в частности легких и гибких оболочек, позволило расширить диапазон формообразования зданий и сооружений. Появилась возможность реализации многообразных прямолинейных или криволинейных покрытий из изолирующего и ограждающего тонкого синтетического высокопрочного материала. Богатая пластика данных покрытий предопределила также и новые способы организации внутреннего пространства.

Одной из реакций на запросы архитекторов в настоящее время явились тентовые, а также пневматические конструкции, что инициировало возникновение мембранный архитектуры. К тому же классу мембранных систем в будущем могут быть отнесены и все те новые типы архитектурных сооружений, в которых будут использованы в качестве оболочки и покрытия новые мембранные материалы.

Мембранный архитектурный стиль, благодаря своим свойствам, может быть успешно использована в разных регионах земного шара, не нарушая региональных, географических, культурных и традиционных особенностей места, а корректно и деликатно вписываться в них, подчёркивая их самобытность и неповторимость, сохраняя разнообразие и многообразие культур. Применение легких и гибких материалов привело к появлению мембранных систем, что, в свою очередь, позволило открыть потенциальные возможности конструирования новых уникальных форм.

Опыт развития эстетически выразительной и экономичной тентовой архитектуры стал предвестником актуальных сегодня мембранных сооружений. Новый этап развития тентовой и пневматической архитектуры вызвал интерес архитекторов, теоретиков и практиков, появились исследования, посвящённые проблемам формообразования архитектурных объектов на основе мембранных систем.

Степень изученности темы. Диссертация базируется на изучении и использовании научных трудов, методической литературы, проектных материалов. В ходе исследования были рассмотрены отечественные работы Блинова Ю.И. (1992г.), Вартанян О.М. (1989г.), Мысковой О.В. (2003г.), Нгуен Тuan Duyung (2009г.), Рюриковой З.А. (2009г.), Русакова И.А. (1989г.), Сапрыкиной Н.А. (2005г.), Шакировой А.М. (2008г.), а также зарубежные труды авторов Di Tian (2011г.), Hans-Joachim Schock при участии Giulio Pizzetti и Anna Maria Zorgno Trisciuglio (2001г.), Philip Drew (2008г.) и др.

Блинов Ю.И. рассматривает тенденции развития, особенности и основы систематики тентовых сооружений. Вартанян О.М. предлагает принципы пространственной организации трансформируемых архитектурно-конструктивных структур, их новые решения, а также примеры их динамического моделирования. Мыскова О.В. выявляет и систематизирует приемы формообразования в тентовой архитектуре на основе изучения

современного зарубежного и отечественного опыта проектирования и строительства тентовых сооружений. Нгуен Тuan Дъунг обобщает особенности тентовых сооружений и их элементов, а также принципы их проектирования, выбора материалов, схем и процессов возведения и эксплуатации. Русаков И.А. излагает геометрические закономерности трансформации формы конструктивных систем. Сапрыкина Н.А. представляет примеры исторического и современного опыта создания изменяемых архитектурных объектов, также в работе выявляются особенности динамического формообразования в архитектуре. Шакирова А. М. указывает на принципиальные требования, предъявляемые к материалам оболочек пневматических конструкций. Di Tian анализирует современный опыт проектирования тентовых сооружений и описывает характеристики мембранных материалов. Philip Drew говорит об истории появления тентовой архитектуры и описывает некоторые реализованные проекты. Hans-Joachim Schock в одном из томов "Большого атласа архитектуры" также анализирует существующие проекты тентовых сооружений и их особенности.

В этих работах выявлены принципиальные вопросы изучения тентовых и пневматических сооружений, а также даны практические рекомендации по их формообразованию, функционированию, эксплуатации.

Цель исследования – выявить особенности формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Задачи исследования:

- определить понятие "гибкая мембранная система" (ГМС);
- изучить теоретическую базу научных работ по теме исследования, проанализировать исторический и современный мировой опыт проектирования и строительства объектов на основе ГМС;
- выявить основные типы форм покрытий и конструктивных схем объектов на основе ГМС;
- разработать классификацию объектов на основе ГМС в соответствии с выявленными типами форм покрытий и конструктивных схем;
- выявить особенности формообразования объектов на основе ГМС;
- определить приёмы формообразования архитектурных объектов на основе ГМС.

Объект исследования: мировые архитектурные объекты на основе ГМС второй половины XX– начала XXI вв.

Предмет исследования: особенности формообразования архитектурных объектов на основе ГМС.

Границы исследования: исследованы объекты мембранный архитектуры в соответствии со следующими основными типами форм покрытий: *седловидные формы; конические формы; сводчатые формы; купольные формы; многогранные формы; комбинированные формы.*

Методика исследования: работа основывается на комплексном подходе и включает:

- анализ литературных источников, нормативно-методических документов и Интернет-ресурсов;
- составление классификационной таблицы объектов на основе гибких мембранных систем;
- составление типологической таблицы архитектурных объектов на основе ГМС;
- формирование таблицы приёмов формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Научная новизна исследования заключается в:

- определении понятия "гибкая мембранный система";
- классификации объектов на основе ГМС в соответствии с основными типами форм покрытий и мембранных систем объектов мембранный архитектуры;
- типологии зданий и сооружений с применением гибких мембранных покрытий;
- определении принципов формирования архитектурных объектов на основе ГМС;
- выявлении особенностей формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Теоретическая значимость исследования:

- выявлена группа гибких изолирующих материалов и конструктивных систем, относящихся к понятию "гибкая мембранный система";
- исследованы принципы формирования гибких покрытий архитектурных объектов на основе ГМС;
- определены особенности формообразования зданий и сооружений с применением гибких мембранных покрытий;
- даны рекомендации по устранению недостатков в процессе проектирования, а также в процессе дальнейшей эксплуатации гибких мембранных покрытий.

Практическая ценность диссертации:

- применение гибких мембранных покрытий в проектной деятельности.

На защиту выносятся:

- анализ исторического и современного мирового опыта проектирования и строительства архитектурных объектов на основе ГМС;
- классификация архитектурных объектов на основе ГМС в соответствии с основными типами форм покрытий и конструктивными системами;
- типология зданий и сооружений с применением гибких мембранных покрытий;
- принципы формирования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем;

- особенности формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Внедрение и апробация.

- участие в научно-исследовательской работе, выполняемой в рамках государственных заданий на оказание услуг (выполнения работ) Минобрнауки России в 2012-2014 гг. по теме № 8.5369.2011 «Иновационные подходы к разработке принципов устойчивого развития архитектуры на основе проектного прогнозирования» (руководитель - док. арх., профессор Сапрыкина);

- участие в научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование» от 9-13 апреля 2012 г. Доклад на тему: «Особенности применения тентовых конструкций в общественных зданиях»;

- стажировка в Департаменте архитектуры, градостроительства и благоустройства администрации г. Сочи с 18 июня по 1 сентября 2012 г.;

- участие в открытой студенческой научной конференции на VII Фестивале науки в Москве от 13 октября 2012 г. Доклад на тему: «Особенности применения тентовых конструкций в общественных зданиях»

- участие в конкурсе «Балансирующий павильон», проходивший в марте-апреле 2013г. в рамках фестиваля новой культуры «Арт-Овраг 2013. Город-Сад»;

- участие в научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование» от 8-12 апреля 2013 г. Доклад на тему: «Текстильная архитектура в выставочных пространствах»;

- участие в научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование» от 6-10 апреля 2015 г. Доклад на тему: «Особенности создания архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем в контексте динамического формообразования»;

- участие в научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование» от 4-8 апреля 2016 г. Доклад на тему: «Опыт применения Тенсегрити-структур в объектах мембранный архитектуры»;

- участие в конкурсе «Textile Structures for New Building», проходивший в феврале-марте 2017г.;

- участие в научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование» от 3-7 апреля 2017 г. Доклад на тему: «Мембранные системы как решение проблем экологии и энергоэффективности».

Структура работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения с обобщающими выводами и списком информационных источников, а также приложения, включающего иллюстративный материал.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, определяются проблема, цель и задачи, предмет и объект, границы и методика исследования, состояние проблемы. Также обосновываются научная новизна, теоретическое и практическое значение диссертации.

В первой главе «Гибкие мембранные системы: понятие и тенденции их применения» раскрывается категориальный аппарат диссертационного исследования, обосновывается определение понятия «гибкая мембранный система» (ГМС), исследуются тенденции развития строительства архитектурных объектов на основе ГМС, а также их исторический опыт проектирования и строительства.

1.1. Тенденции развития строительства архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Один из родоначальников тентовой архитектуры, архитектор Ф.Отто, в статье 1961г. утверждал, что архитектурные объекты не всегда должны представлять собой стационарные сооружения, в которые «втискиваются» люди. Он говорил о необходимости строительства таких зданий, которые могут реконструироваться в соответствии с потребностями и развитием общества. Ф.Отто рассказал о том, что, несмотря на мнение о тентах как о лёгких в возведении сооружениях, проектирование мембранных покрытий – это очень сложный и трудоёмкий процесс, особенно в сравнении с другими конструктивными решениями.

В 1965г. же Ф. Отто, совместно с коллегами, опубликовал статью, известную как «Spannweiten», в которой подробно были изложены все результаты исследования мембранных конструкций с профессиональной точки зрения. Данный доклад получил внимание со стороны ученых и экспертов в этой области со всего мира. После чего Ф.Отто начал работу с другими экспертами в институте легких конструкций, где технология была усовершенствована. Эти достижения были внедрены в практику, когда был реализован немецкий павильон для Экспо-1967 в Монреале.

В 1970г. была проведена выставка Экспо в Японии. Вместо того, чтобы использовать конструктивные решения, традиционные для Японии, архитекторы решили применить мембранные системы для многих сооружений.

Например, были предложены многочисленные варианты мембранных систем для павильона США. В результате был принят проект Дэвида Гайгера, т.к. он представлялся наиболее реалистичным и эстетически выразительным. Идея заключалась в использовании пневматического мембранныго покрытия с небольшим уклоном.

С 1970-х гг. в США проект пневматического купола лидировал в числе исследований и инвестиций в мембранные архитектуру. Из выплаченных дивидендов ассоциации Гейтера Бергер было осуществлено множество новых разработок в данной технологии на протяжении 1970-х годов. Одной из них стало применение новой стеклоткани, покрытой PTFE, которая позволила создать прочную мембранные структуру.

Первыми известными пневматическими куполами в США стали спортзал Steve Lacy Fieldhouse в колледже Миллиган, построенный в 1974г., и центр Томаса Э. Ливи при Университете Санта-Клары, построенный в 1976г. Эти объекты были провозглашены в США, как высокотехнологичные проекты, соответствующие своему назначению, после чего появился высокий спрос на пневматические купола на территории страны.

Перед началом строительства пневматических куполов были масштабные нерешённые задачи, связанные с их отрицательными характеристиками, такие как тёмные и душные пространства. Однако все изменилось с появлением полупрозрачных мембранных материалов, которые позволили свету распространяться по всему комплексу. Еще одним большим преимуществом мембранных систем является их экономичность, что объясняет быстрое распространение подобных конструкций по всей территории США. Несмотря на это, мембранные системы, используемые для воздухоопорных сооружений, имеют ряд своих проблем, что побудило значительное количество конструктивных аварий, и, как следствие, финансовых затрат. В результате в 1980-х гг. начались исследования альтернативных жизнеспособных конструктивных методов.

Ближе к концу 1980-х гг. пневматический купол как доминирующая структура в США сменился на Тенсегрити-купол, в котором использовалась эффективная система кабелей и стержней, чтобы надежно перекрывать большие пространства. К примерам работ с использованием этого нового метода того времени можно отнести спортивную арену Redbird, реализованную в 1988г., и купол в Грузии, построенный в 1992г. Кроме того, в разработанных компанией Гейтера, гимнастическом и фехтовальном залах Олимпийских игр в Сеуле 1986г. также была применена новая система.

Архитекторы Европы приняли мембранные структуры в середине 1980-х гг. Это послужило к созданию новых идей уникальных форм, в отличие от тех, что возводились в США. Первым реализованным сооружением в Европе стал Кембриджский научно-исследовательский центр «Schlumberger» в 1985г. Далее, в 1989г., к арке «Grande Arche» в Париже был присоединен навес «Nuage Leger», который действительно впечатлял и имел форму плывущего облака.

Европейские футбольные стадионы, такие, как Римский Олимпийский стадион, построенный в 1990 г., были запроектированы с мембранными покрытиями именно из-за такого преимущества, как фильтрация

естественного света, в отличие от других кровельных материалов, затемняющих пространство спортивного комплекса.

Каким образом изменения пришли в конструктивные решения мембранных систем, таким же образом на смену ПВХ-покрытию появилась стеклоткань с PFTW-покрытием.

Несмотря на то, что Япония широко использовала мембранные системы в рамках выставки Expo, проводимой в 1970г., в последующие несколько лет большого спроса на эти виды покрытий не было. Это произошло потому, что Япония уже была довольно продвинута и эстетически уникальна с точки зрения архитектуры и дизайна.

Но ситуация быстро изменилась в 1980-х гг. когда проводилось множество конкурсов. Архитекторы начали предлагать разные варианты мембранных оболочек. Здания были спроектированы таким образом, чтобы свет наиболее полно проникал в определенные их пространства.

Опыт применения мембранных конструкций в России подробно описан в работах отечественных исследователей, таких как «Тентовые здания и сооружения (аспекты мягких покрытий и перспектив развития)» Блинова Ю.И. (1991г.), «Архитектура тентовых сооружений: проблемы формообразования (1990-2000 гг.)» Мысковой О.В. (2003г.). В рамках настоящего исследования хотелось бы остановиться на современном состоянии использования гибких мембранных систем в российской практике строительства и проектирования. На данный момент создана Ассоциация «Текс-Стиль», являющаяся первой в России по популяризации новых высокотехнологичных и эффективных решений применения архитектурного текстиля, а именно: инновационных мембранных, плёночных, сетчатых строительных материалов и технологий. Ассоциация организована ГК «Лометта» в партнёрстве с европейскими компаниями Serge Ferrari, СеноТЕС, formTL, KTA, Losberger и др.

Таким образом, 15 декабря 2016 года в Москве прошла конференция «Arena Design Forum: тренды спортивной архитектуры», организованная Ассоциацией специалистов текстильной архитектуры и мембранных конструкций «Текс-Стиль». На конференции было освещено современное состояние использования мембранных материалов на территории России и Европы.

Также в 2016г. специалисты ЦНИИ Промзданий поставили себе цель разработать своды правил по проектированию, строительству и эксплуатации мембранных сооружений. С принятием этих нормативных документов решатся многие проблемы у российских проектировщиков и строителей, использующих эти инновационные материалы. Особенно это важно для развития регионального строительства.

Популяризация мембранных систем по всему миру становится возможным благодаря современным технологиям и высокой скорости коммуникации. Когда прогресс в области проектирования происходит в

одной части земного шара, он моментально распространяется и на другие его части.

1.2. Гибкие мембранные системы и их характеристики. В настоящее время понятие «мембранные кровли» может подразумевать под собой как жёсткое покрытие, образованное, к примеру, металлическими листами, так и гибкое покрытие, основой которого служат текстильно-плёночные материалы. В исследовании рассматривается второй тип мембранных покрытий.

В работе исследуется формообразование объектов тентовой и пневматической архитектуры, конструктивная составляющая которых объединена под общим названием "гибкая мембранные система" и которой дано следующее определение:

Гибкая мембранные система (ГМС) – конструкция, состоящая из гибкого изолирующего материала и элементов несущего каркаса.

В соответствии с вышеизложенным определением ГМС рассмотрены типы гибких изолирующих материалов (мембран), а именно: современные текстильно-плёночные материалы (PVC, ETFE, PTFE) и сетчатые мембранны (на основе PVC). Далее проведен анализ существующих типов конструктивных систем и выявлена наиболее оптимальная их классификация.

Типы гибких изолирующих материалов. Развитие в области материалов мембранных систем происходило постоянно. Значительные достижения в индустриализации PVC произошли в 1933г., PTFE - в 1938г., в индустриализации полизэфирного волокна - в 1947г., и, наконец, PTFE-стекловолоконная ткань была разработана в 1972г.

PVC-мембрана — это современный композитный материал, который представляет собой высокопрочную полизэфирную основу, покрытую с двух сторон слоем поливинилхлорида (ПВХ). Структура материала оптимально сочетает в себе эластичность, надежность, долговечность, устойчивость к коррозии, горению, атмосферным осадкам. Даже при многолетней эксплуатации тентовая ткань не теряет свои свойства при перепаде температур в диапазоне от -60° С до +70° С.

Следующий тип гибкого изолирующего материала представляет собой ETFE-плёнка (этилентетрафторэтилен), также имеющая ряд значительных преимуществ:

- имеет меньший вес, чем стекло;
- гибкая мембранные система, основанная на ETFE-полимере способна выдержать нагрузку, превышающую собственный вес в 400 раз;
- материал плохо воспламеняется;
- повышенная эластичность и устойчивость к сильным температурным перепадам от -100 до +200 °C;
- является самоочищающимся материалом;
- размеры гибких мембранных систем могут быть практически любыми;

- возможность декорирования фасада рисунком или создания медиафасада (экрана для проекции изображений), а также устройства светодиодных систем;
- устойчивость к разрушительному воздействию ультрафиолета;
- полимер обеспечивает стерильность и автономность закрытым пространствам;
- повышенная ремонтопригодность.

Другой материал - PTFE (политетрафторэтилен) из стекловолокна считается долговечным строительным материалом. Он негорючий, прочный и долговечный, а также имеет преимущество в том, что является самоочищающимся. В отличие от предыдущих мембранных материалов, PTFE-покрытия из стекловолоконной ткани не могут складываться или отделяться от ее каркаса.

Сетчатые фасады на основе PVC имеют срок службы от 15 до 30 лет и более. Их отличают лёгкость и быстрота возведения, низкая стоимость, возможность устройства при реконструкции фасада или же применить в проектировании фасадов крупномасштабных сооружений. Дополнительно преимуществами являются малый вес, компактность и большая дистанция рядности, что позволяет располагать вертикальные фасадные колонны на значительно большом расстоянии. Необходимо упомянуть про многообразие цветовых решений и структур, повышенная ремонтопригодность, высокая прочность материала, а также сокращение нагрузки на фундамент на 25-35% по сравнению с металлическими навесными панелями. Зачастую сетчатые фасады устраивают с целью создания солнцезащитного экрана, поверх сплошного остекления, что предохраняет внутреннее пространство от перегрева и не перегораживает вид из окна.

Важно упомянуть о недостатках текстильно-плёночных материалов. Методология проектирования гибкой мембранный системы устанавливает допустимую единицу напряжения, равную 4,0 (фактор безопасности для мембранныго материала). Данное значение считается адекватным, принимающим во внимание потенциальное снижение прочности материала мембраны. В прошлом случались прецеденты причинения ущерба в результате разрыва мембранныго материала, который изначально занимал небольшую площадь поверхности материала. Для того, чтобы обеспечить надлежащую безопасность, проект разработки гибкой мембранный системы должен учитывать каждую деталь.

Следующей актуальной проблемой является загрязнение, с которой сталкивается любой прозрачный мембранный материал, используемый для стационарных сооружений. Одним из недостатков мембранных материалов является то, что они не могут очищаться так легко, как стекло. Поэтому, загрязнение любого вида, в том числе загрязнения от накапливающейся смолы, значительно уменьшает великолепие мембранных конструкций. Некоторые решения были предложены в ответ на этот вопрос. Например,

пленка на основе фтора, распределена по поверхности мембранны, была разработана в качестве потенциального барьера к загрязнению. Однако, это по-прежнему неэффективно. Кроме того, применение PVC-покрытий показало негативное влияние на внешний вид конструкций. Таким образом, крайне важно разработать устойчивое решение загрязнения поверхности мембранных материалов.

Легкость и прочность мембранных материалов всё более широко признаются на международном уровне и, следовательно, они внедряются в различных условиях и различными способами. Например, в настоящее время мембранные широко используются в перекрытии больших пространств.

Преимущества мембранных материалов в строительстве зданий и сооружений принимается обществом только в последнее время. Специалисты, которые непосредственно участвуют в разработке мембранных материалов, всегда должны обеспечивать безопасность и социальную значимость их применения. Для этого непосредственно необходимы международное сотрудничество и полный обмен информацией.

Типы конструктивных систем. Ранее считалось, что гибкие мембранные системы могут представлять собой только инженерные структуры, исключающие творческий подход в процессе проектирования. Однако, позднее было обнаружено, что несмотря на то, что криволинейная поверхность подлежит конкретным механическим требованиям, есть много возможностей для создания единственной в своём роде уникальной поверхности, поддерживаемой либо при помощи вантов, либо при помощи каркаса.

Для обоснования выбора типов конструктивных систем архитектурных объектов с мембранным покрытием проведён анализ их классификаций другими исследователями. Так, Мыскова О.В. предлагает классифицировать объекты тентовой архитектуры на бескаркасные тентовые сооружения, сооружения с висячим тентовым покрытием, каркасные тентовые сооружения; в диссертации Блинова Ю.И. тентовые оболочки классифицированы по основным принципам их осуществления, связанным с механикой взаимной работы мягкой мембранны и несущего каркаса, а также по характеристикам поверхностей, в т.ч. по гауссовой кривизне K_g . Упорядочено 4 группы основных элементов: несущий каркас, ограждающая тентовая оболочка, смежные части и оборудование. Классификация, предложенная архитектором Скопенко В.А. по наличию/отсутствию каркаса: каркас (сталь, алюминий, бетон, дерево, композит, пневмокаркас), вантовые (система опор и элементов натяжения); бескаркасные (воздухонаполненные).

В результате чего выявлена оптимальная классификация конструктивных систем: а) вантовые системы; б) каркасные системы (прямолинейный/криволинейный каркас); в) бескаркасные системы (воздухоопорные и воздухонесомые).

Таким образом, гибкий изолирующий материал может поддерживаться как вантовым каркасом, так и жёстким каркасом. Вполне возможным для структуры малого масштаба является то, что она может состоять исключительно из самой мембранны в качестве конструктивного материала. Тем не менее, такой процесс не представляется возможным для конструкции более крупного масштаба, т.к. мембра на недостаточно крепка. В этом случае для мембранны важно быть усиленной или сочетаться с каркасом.

Вантовые конструкции могут оказаться подходящим решением для сочетания их с прозрачными мембранными материалами. Как упоминалось выше, мембранны чрезвычайно гибки, таким образом, они могут поддерживать деформационные характеристики, связанные с вантовыми конструкциями.

Архитектор, который работает с традиционными конструктивными решениями, может найти полезным применение гибкой мембранный системы на жестком каркасе. Это вызвано тем, что мембра на может быть натянута на стальной, или даже на железобетонный каркас для формирования пространства.

1.3. Роль конструкторских бюро в процессе проектирования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем. Первоочерёдно при проектировании мембранных покрытий необходимо иметь представление о требованиях безопасности. В отличие от традиционных конструкций, мембранные конструкции, в первую очередь находятся под напряжением и имеют характеристики, которые отличают их от других форм. При применении мембранных конструкций, зачастую архитекторы, которые были знакомы только с традиционными решениями, находят используемые мембранные конструкции слишком сложными. В США компания, известная как Geiger Berger Association, оставила после себя большое наследие и вклад в ряд значительных изменений, и прогресс в этой области, в том числе внедрение новых материалов, которые могут быть использованы для конструирования мембранны. Кроме того, в конструктивные методы, которые компания произвела, включено перекрытие больших пространств, включая воздухоопорные конструкции низкого профиля и тенсегрити-вантовые купольные структуры. Гимнастический зал и фехтовальный зал для Олимпиады в Сеуле был первой вантовой купольной конструкцией, когда-либо созданной и была на самом деле спроектирована главой компании Дэвидом Гейгером.

К сожалению, Дэвид Гейгер скончался в 1989 году и Хорст Бергер покинул компанию, чтобы заниматься своими собственными проектами. Впоследствии он был вовлечен в строительство Центра Конвенций в Сан-Диего в 1989 году и пассажирского терминала в международном аэропорту Денвера в 1994 году.

Как и в США, конструкторы-проектировщики Японии также проявили интерес к конструированию мембранных структур. Спрос на мембранные

конструкции в Японии значительно возрос после возведения купола Токио в 1988г. Мембранные конструкции, которые были использованы в других зданиях, следующих после купола Токио, были объединены в традиционном японском стиле. Это означало, что проектировщики сумели использовать преимущества мембранных конструкций, в то же время, убедили, что проекты имели японскую уникальность и характеризовались с ними. Корпорация Kaio Kogou в Японии провела значительное количество инвестиций и исследований в мембранные конструкции, следствием чего оказались многие разработки. С тех пор, фирма пошла дальше, чтобы стать группой технических специалистов, которые готовы оказать помощь в поддержке как конструкторов-проектировщиков, так и архитекторов.

Конструкторские проектные бюро начали создаваться в Европе после широкого распространения и популярности мембранных конструкций. Один из самых известных конструкторских проектных бюро за рубежом было Ove Arup и Партнеры, которые попали на проектирование ряда оригинальных и творческих конструкций в XX веке. Участие в крупных проектах по всей Европе, таких как Кембриджский исследовательский центр Schlumberger и стадион Сан-Никола, это бюро быстро зарекомендовало себя в качестве эксперта и лидировало в области мембранных конструкций, поддержанное клиентами за их способность эффективно и творчески выразить свет и тень своими конструкциями.

Другой офис, известный как Schlaich Bergermann и Партнеры, который был вовлечен в строительство как стадиона Gottlieb-Daimler, так и Центрального Суда Вебер, добился признания в области из-за способности создавать мембранными конструкциями оригинальную световую массу (насыщенность).

IPL был другим офисом, который только начал становиться очень хорошо известным, и успешным, когда его деятельность была приостановлена из-за несчастной смерти своего лидера Herald Mühlberger в 1994г. В 1992г. офис спроектировал Павильон Германии для Всемирной выставки «Экспо» в Севилье.

Поскольку всё большее количество экспертов и инженеров, имеющих высокую квалификацию и способных консультировать, переходят в сферу проектирования мембранных покрытий, архитекторы, в свою очередь, получают больше возможностей экспериментировать с гибкими мембранными системами.

Основные выводы по первой главе:

1. Популяризация мембранных систем по всему миру становится возможным благодаря современным технологиям и высокой скорости коммуникации.
2. Покрытия тентовых и пневматических сооружений в рамках исследования объединены под общим названием «гибкая мембранный система» (ГМС). В связи с чем предложено следующее определение: *гибкая*

мембранные системы – конструкция, состоящая из гибкого изолирующего материала и элементов несущего каркаса.

3. Систематизированы следующие типы гибких изолирующих материалов:

- 1) текстильно-плёночные, такие как ETFE, PTFE, PVC;
- 2) фасадные сетки на основе PVC.

А также упорядочены типы конструктивных систем:

- a) вантовые;
- б) каркасные (прямолинейный/криволинейный каркас);
- в) бескаркасные (воздухоопорные/воздухонесомые).

4. Выявлены некоторые характеристики гибких мембранных систем:

- мембранный материал имеет естественную предрасположенность к кривизне;
- процесс проектирования мембранных конструкций зависит от применяемого напряжения и точности края покрытия;
- гибким мембранным системам присущи водостойкие и огнестойкие качества благодаря применению современных синтетических волокон и стекловолокна, а также лакокрасочных материалов;
- преимущество ГМС - светопрозрачность, небольшой вес и способность крепиться к каркасам крупномасштабных пространств.

5. Создание Ассоциации по популяризации гибких мембранных конструкций на территории Российской Федерации говорит о международном содействии и стремлении архитекторов и инженеров разных стран совместно развивать мембраниную архитектуру по всему миру.

6. В настоящее время проявляется тенденция перехода всё большего количества экспертов и инженеров, имеющих высокую квалификацию и способных консультировать, в сферу проектирования мембранных покрытий, что позволяет архитекторам больше экспериментировать с гибкими мембранными системами.

Во второй главе «Классификация и типология архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем» - представлен анализ существующих классификаций по следующим признакам: типы форм, конструктивные схемы, способы трансформации. На основе чего выработана комплексная классификационная схема, сочетающая в себе все вышеперечисленные признаки.

Аналогично, на основе анализа существующего разделения исследуемых архитектурных объектов на типы в зависимости от функционального назначения, выработана комплексная типология.

2.1. Предложение по классификации архитектурных объектов на основе ГМС в соответствии с типами форм покрытий.

Для классификации типов форм покрытий, являющихся основополагающими в контексте рассматриваемой проблемы, выполнен анализ материалов других исследователей. Например, в диссертационной работе Мысковой О.В. проиллюстрированы тентовые сооружения в

природном ландшафте, возможности цвета в их формообразовании, взаимосвязь формы и образа в тентовой архитектуре, объекты тентовой архитектуры в пространстве города; Блинов Ю.И. основные формы классифицирует на плоские, цилиндрические, сферические, седловидные, шатровые (воронкообразные), складчатые, катеноидные, прочие (гравитационные, многофокусные, комбинированные, др.); архитектор Скопенко В.А. разделяет тентовые конструкции по степени герметичности пространства на открытые и закрытые, по степени сезонности на летние и круглогодичные. По формообразованию автор статьи описывает конусную, седловидную и гиперболическую формы тентовых конструкций.

Опираясь на разработки Блинова Ю.И. по описанию основных форм покрытий с точки зрения конструктивных решений, выявлены следующие *типы форм покрытий* (рис.1, приложение):

- *седловидные формы* – на каркасе из вертикальных и наклонных стержней, мачт, арок или вантово-тросовых сеток с поверхностью гипара;
- *конические формы* – на стойках, мачтах и наружном опорном контуре с подвесными мембранными оболочками;
- *складчатые формы* – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны, не имеющем оси вращения;
- *купольные формы* – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны;
- *многогранные формы* – на каркасе из прямолинейных элементов, форм, рам, с плоскими мембранными оболочками или поверхностей одинарной кривизны;
- *комбинированные формы* – на каркасе, сочетающем несколько из вышеизложенных типов конструкций.

По способам трансформации исследуемые объекты подразделены на два типа: *адаптивные и стационарные*.

2.2. Типология архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Для определения типологии объектов на основе ГМС рассматривается предыдущий исследовательский опыт определения типов функционального назначения объектов тентовой и пневматической архитектуры.

Мысковой О.В. указана взаимосвязь функции и формы в тентовых сооружениях (конструктивные системы и типологическое разнообразие) в следующих назначениях: выставочные, павильоны, спортивные, концертные залы, навесы, здания общественного транспорта, малые формы.

В работе представлены тентовые оболочки, применяемые в разных частях зданий и сооружений - покрытиях, стенах, навесах, а также как сооружения стационарные и сезонные объекты городского дизайна.

В диссертации Блинова Ю.И. выявлено пять основных групп тентовых сооружений по функциям и связанными с ними типами тентовых элементов в зданиях, сооружениях и устройствах: а) наружные - погодозащитные,

изолирующие от климатических и др. воздействий; б) внутренние - интерьерные, разделительные и отделочные; в) элементы специализированного назначения, в т.ч. служащие оборудованием, например - мягкие эвакуаторы, дымоостанавливающие преграды, свето-тепло-звукорегулирующие экраны. Упорядочено 10 базовых подтипов таких ТС.

Скопенко В.А. классифицирует тентовые конструкции по их назначению: гостиницы, торговые центры, выставочные центры; сцены зрелищных сооружений; выставочные центры; сцены зрелищных сооружений; конгресс-холлы; культовые сооружения; летние кинотеатры; игровые и танцплощадки; транспортные посадочные площадки и др. А также по характеру использования: элементы фасада зданий; архитектурные мембранные навесы; входные порталы; архитектурные инсталляции; солнцезащитные фасадные системы; декоративное оформление интерьеров.

По результатам вышеописанного анализа упорядочены следующие типы архитектурных объектов на основе ГМС в соответствии с их применением: *жилые, спортивно-зрелищные, транспортные, промышленные, административные, учебно-научные, торговые, выставочные, культурно-просветительские, объекты культового назначения, зоны рекреации и развлекательные, малые формы и инсталляции* (рис.1, приложение).

Анализ типологии исследуемых архитектурных сооружений показал наиболее применимые типы форм покрытий для определенного функционального назначения объекта: для жилых – конические и сводчатые; для спортивно-зрелищных сооружений – сводчатые, многогранные и купольные; для транспортных и промышленных – сводчатые и конические; для административных зданий характерны сводчатые, многогранные, конические, а также комбинированные формы покрытий; для учебно-научных – сводчатые, купольные и конические; для торговых и выставочных – сводчатые, конические и комбинированные; для культурно-просветительских – сводчатые, многогранные, комбинированные и седловидные; для объектов культового назначения – конические, сводчатые и купольные; для зон рекреаций и сооружений развлекательного характера – сводчатые, купольные, конические, седловидные и сводчатые; для малых форм и инсталляций присущи комбинированные формы.

Основные выводы по второй главе:

1. Большинство проанализированных существующих классификаций объектов тентовой и пневматической архитектуры даны в соответствии со следующими параметрами: конструктивная система архитектурных объектов на основе гибких материалов, типы форм покрытий, способ трансформации.

2. Определены типы форм покрытий:

- *седловидные формы* – на каркасе из вертикальных и наклонных стержней, мачт, арок или вантово-тросовых сеток с поверхностью гипара;

- *конические формы* – на стойках, мачтах и наружном опорном контуре с подвесными мембранными оболочками;

- *сводчатые формы* – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны, не имеющем оси вращения;

- *купольные формы* – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны;

- *многогранные формы* – на каркасе из прямолинейных элементов, форм, рам, с плоскими мембранными оболочками или поверхностей одинарной кривизны;

- *комбинированные формы* – на каркасе, сочетающем несколько из вышеизложенных типов конструкций.

3. В результате анализа существующих классификаций, конструктивные системы исследуемых объектов подразделены на такие, как *вантовые, каркасные и бескаркасные*.

4. По способам трансформации объекты мембранный архитектуры подразделены на два типа: *адаптивные и стационарные*.

5. Упорядочены следующие типы архитектурных объектов на основе ГМС в соответствии с их применением: *жилые, спортивно-зрелищные, транспортные, промышленные, административные, учебно-научные, торговые, выставочные, культурно-просветительские, объекты культового назначения, зоны рекреации и развлекательные, малые формы и инсталляции*.

3. Определены наиболее применяемые типы форм покрытий для каждого из пункта вышеизложенной типологии.

В третьей главе «Особенности формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем» анализируются объекты на основе ГМС с точки зрения таких критериев, как адаптивность, взаимодействие гибкого материала и конструкции, Гауссовой кривизны и пр. Выявляются принципы формообразования исследуемых покрытий. Также рассматриваются тенденции развития изучения гибких мембранных систем в отечественной практике.

3.1. Принципы формирования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

В результате анализа типов форм покрытий определены основные принципы формирования архитектурных объектов на основе ГМС (рис.2, приложение):

1. *Изменение высоты покрытия* - принцип заключается в возможности варьирования формы покрытия за счет изменения его высотных параметров. Например, у седловидных форм изменение крайних высотных отметок может повлечь за собой и изменения значения остальных высотных отметок. Таким образом устроен навес над автопарковкой комплекса «Volkswagen Austostadt» в Вольфсбурге - сооружение имеет края, поднятые на 6 и 9м. Конструкция была разработана специалистами бюро GRAFT.

2. Асимметрия фасада – один из принципов создания выразительности и динамики фасада. Порой такой подход позволяет решать задачи распределения нагрузок при воздействии ветра. Примером может послужить входная группа в морской вокзал, возведённая в 2003г. Концепция покрытия заключалась в создании своеобразного «волнореза», окружённого морем. Для того, чтобы добиться необходимого эффекта, центральную часть мембранны подвесили к мачте высотой 35м., а края – к меньшим по размеру мачтам. Геометрия шатра представляет собой половину конуса и неправильный параболоид. Также необходимостью в создании такой геометрии послужила ветровая нагрузка равная почти 180 км/ч.

3. Изменение Гауссовой кривизны покрытия - данный принцип является немаловажным в образовании объекта с гибким мембранным покрытием – форма поверхности обуславливается геометрией опорного контура, условием преднаряжения и крепления к несущим конструкциям покрытия. Объектам с бескаркасными конструктивными схемами свойственна положительная гауссова кривизна, объектам на прямолинейном каркасе – нулевая. Устойчивость же вантовых сооружений, а также сооружений на криволинейном каркасе достигается за счет отрицательной и положительной гауссовой кривизны.

4. Изменение конфигурации опорного контура покрытия – примеры вариативности создания конфигурации опорного контура приведены в приложении (рис.2).

5. Адаптивность – принцип разделён на три составляющих, освещённых подробно во второй главе: трансформация покрытия; модульность элементов покрытия; мобильность архитектурного объекта.

6. Применение принципов энергоэффективности - данный принцип рассматривает возможность использования покрытия сооружения на основе ГМС для решения вопросов энергоэффективности. Исследуемым архитектурным объектам свойственно применение светопропускающих материалов, обладающих высокими теплозащитными свойствами. Например, прозрачность ETFE-плёнок позволяет снизить энергопотребление на освещение, обогрев и кондиционирование здания.

7. Фрактальность (как уподобление природной форме) – анализ процесса проектирования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем показал, что на стадии концептуальных решений зачастую архитекторы прибегают к природным формам. К примеру, при разработке павильона Швейцарии для Экспо-1964, швейцарский архитектор M.Saugey предложил идею использования больших по размеру тентов, расположенных прямо на берегу Женевского озера. Свободно качающиеся и резко возрастающие формы мембранных конструкций символизировали «швейцарские Альпы» (снег и скалы).

8. *Цветовое решение* - цвет является важной задачей в организации предметно-пространственной среды, решение которой входит в круг компетенций архитекторов и градостроителей.

3.2. Особенности формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем.

Анализ более двухсот реализованных мировых объектов тентовой и пневматической архитектуры конца XIX – начала XX вв. с помощью таких критериев, как адаптивность, взаимодействие мембранныго материала и конструкции, Гауссова кривизна покрытия, сезонность, колористика объектов, экологичность и пр. позволяет выявить особенности их формообразования.

1. *Строительство более крупных пролётов.* Максимальный пролёт объекта с гибким мембранным покрытием достигает 320м. – проект Купола тысячелетия, находящийся на Гринвичском полуострове и являющийся крупнейшим сооружением такого рода в мире с огромной растянутой сетью тросов.

Тем не менее, недостатком устройства больших пролётов является сложность в очистке кровли в зимний период. Также немаловажным является учёт уклона кровли, её Гауссовой кривизны, т.к. могут возникать трудности в её расчётах, связанные с масштабами зданий: чем больше пролёт – тем больше уклон кровли.

Для того, чтобы хотя бы как-то минимизировать негативные последствия возведения гибкой мембранный кровли, рекомендуется уделять больше внимания расчётом раскрытия поверхности покрытия с помощью программ моделирования.

2. *Облегчение конструктива.* Зачастую проблемы во взаимодействии мембранныго материала и конструкции возникают в холодных странах, в связи с большими снежными нагрузками на кровлю. Так, были прецеденты разрыва кровли в таких объектах как стадион "Veltins-Arena" в Гельзенкирхен (Германия) вместимостью 72 020 чел., а также в стадионе «Itaipava Arena Fonte Nova» в Сальвадоре (Бразилия) вместимостью 51 708 чел.

Во избежание подобных ситуаций необходимо учитывать климатические особенности месторасположения проектируемого здания или сооружения, а также возможности гибких мембранных покрытий.

3. *Снижение затрат на строительство кровли.* При применении гибких мембранных систем наблюдается значительное удешевление стоимости возведения сооружения, несмотря на это, порой стоимость проектных работ и строительство объекта является финансовым обременением для собственника или муниципалитета.

Для оптимального решения, удовлетворяющего все стороны проектирования и строительства, изначально рекомендуется привлекать к работе специалистов по обеспечению экономически успешной эксплуатации, например, после проведения разовых мегасобытий.

4. *Трансформация кровли.* Одним из примеров трансформируемого покрытия может послужить кровля стадиона "Коммерцбанк-Арена" в городе Франкфурт-на-Майне, Германия.

Отрицательная сторона: трансформация кровли проблематична из-за большого количества осадков и минусовых температур. Ежегодно, в период с октября по март, покрытие "Коммерцбанка-Арены" не эксплуатируется.

Поэтому также рекомендуется учитывать климатические особенности местности возведения объекта и потенциал гибких мембранных материалов.

5. *Стационарность/временность сооружения.* Особенность стационарности/временности выявлена в результате анализ объектов с гибким мембранным покрытием по времени их сезонной эксплуатации - большинство рассматриваемых реализованных зданий и сооружений являются стационарными, что говорит о расширении потенциала применения ГМС, например, за счет увеличения срока службы мембранных материалов.

Минусом стационарности этих сооружений являются большие затраты на строительство и непродуманность экономической успешности их эксплуатации. Зачастую это происходит вследствие того, что архитекторы, градостроители, инженеры, создавая ультрасовременное, претендующее на высокое признание сооружение, не уделяют должного внимания прогнозированию дальнейшего использования объекта, рассмотрению сценариев его многофункциональной эксплуатации, особенно если объект возводится для разовых событий мирового значения (чемпионаты, фестивали и т.п.).

Опять же рекомендуется изначально привлекать к работе специалистов по обеспечению экономически успешной эксплуатации объекта.

6. *Применение элементов энергоэффективности.* Для примера рассмотрим проект частного дома "Villa Nurbs". Создатели фасада вдохновлялись приёмами бионики, используя подобие строению глаза насекомого, а именно, его сетчатке. Энергоэффективность здания заключается в том, что волнообразная форма керамических пластин способствует отражению солнечных лучей, что существенно сокращает расходы на кондиционирование здания

7. *Широкий диапазон колористических решений.* Для архитектурных сооружений на основе гибких мембранных систем, в основном, характерны белые (материалы ПВХ и PTFE) и прозрачные (материал ETFE) покрытия.

Однако отрицательной чертой прозрачных мембран является плохая акустика и невозможность создания эффекта "чёрного ящика" для проведения видеосъёмок, к примеру, в концертных залах, что снижает коммерческий потенциал сооружения. Белые покрытия имеют особенность быстро покрываться грязью, особенно если объект находится вблизи со взлетной полосой (загрязнение от самолетов).

Для устранения возникновения сложностей необходимо понимать последствия использования, к примеру, прозрачных мембран.

7. Создание ультрасовременного дизайна. Как уже было сказано выше, применение гибких мембранных материалов даёт возможность по созданию эффектного, с точки зрения формообразования, сооружения. Но тем не менее, иногда, например, отсутствие оптимальной формы внутреннего пространства влечёт за собой плохую акустику (во время проведения концертов), а также плохую звукоизоляцию. Бывали случаи, когда фасад является исключительно элементом дизайна с высокими затратами на его техническое обслуживание. Поэтому необходимо заблаговременно, в процессе проектирования, учитывать возможности устройства ультрасовременного облика сооружения.

9. Восстановление исторических мест благодаря современным технологиям и новым материалам. Эта особенность отражена в проекте реконструкции заброшенной церкви в городе Корбера-де-Эбро, близ Таррагоны, Испания. Возведенная конструкция кровли ранее не существовала. Одной из задач архитектора было сохранение открытого пространства для того, чтобы солнечные лучи, как и прежде, могли проникать внутрь. Решением этой задачи стало использование ETFE-панелей, которые создали своеобразную защитную прозрачную «плёнку» над всеми руинами. Благодаря предложенному решению, на данный момент, в церкви создан благоприятный микроклимат для пребывания в ней человека, при этом сохранен исторический вид.

При этом нужно не забывать об ограниченном сроке службы гибких изолирующих материалов, который рано или поздно приведёт к необходимости его замены. Поэтому необходимо учитывать свойства гибких изолирующих материалов, а также климатические особенности местности нахождения объекта.

10. Повышение коммерческого потенциала, престижа страны, привлечение туристов. Для примера предлагается рассмотреть знаковый объект, построенный для проведения мероприятия мирового масштаба, а именно - бразильский стадион - арена «Пернамбуку», построенный в Сан-Лоренсу-да-Мата на востоке Бразилии к футбольному чемпионату 2014 года. Стадион имеет возможность менять свой цвет благодаря светодиодной подсветке, встроенной в материал. Во время масштабных мероприятий включают освещение красного цвета дабы подчеркнуть значимость места, которое совсем недавно было пустырём. Немаловажной заслугой архитектора Дэниэла Фернандеса является активное развитие вокруг стадиона жилой и транспортной инфраструктуры даже после окончания чемпионата.

Важно упомянуть о том, что в некоторых случаях отсутствует учёт дополнительного бизнес-потенциала и максимального использования пространства внутри и вокруг сооружения. Опять-таки для обеспечения полноценной «жизнедеятельности» архитектурного объекта необходимо продумывать сценарий его эксплуатации ещё на ранних этапах проектирования.

11. *Возможность для архитектора продвижения на более профессиональный уровень.* Образцом неординарного сооружения является Национальный стадион "Птичье гнездо" в Пекине, Китай вместимостью 91 000 чел, построенного в 2008г. Архитекторами проекта выступили Херцог и де Мёрон и Ай Вэйвэй. Стоимость строительства составила 423 млн \$.

Но не всегда результат проектирования и строительства оправдывает средства, вложенные в него, из-за чего возникают излишние расходы на строительство и эксплуатацию вследствие попытки создать футуристическое и претендующее на награды сооружение из-за искушения архитектора воздвигнуть памятник своему творчеству. К примеру, стоимость строительства спортивно-концертного зала "Baku Crystal Hall" вместимостью 25 000 чел. в Баку (Азербайджан) составила 120-140 млн.евро.

С самого начала развития концепции необходимо привлекать к работе специалистов для обеспечения экономически успешной эксплуатации, а также учитывать возможность устройства ультрасовременного гибкого мембранных покрытия (или же сетчатого фасада на основе PVC).

3.3. Тенденции развития изучения гибких мембранных систем в отечественной практике.

Анализ тенденций изучения архитектуры сооружений, формообразование которых основывается на применении гибких мембранных покрытий, в отечественной практике показал, что интерес к тентовым и пневматическим конструкциям в рамках научного исследования возник с 1960г. Данная тема освещалась в публикациях Блинова Ю.И., результатом чего стала его докторская диссертация «Тентовые здания и сооружения (аспекты мягких покрытий и перспектив развития)» 1991г. В работе проведено прогнозирование этапов развития освоения тентовых сооружений на период с 1991-2010гг., которое в полной мере соответствует действительности, а именно произошло становление новой отрасли.

Следующим знаковым исследованием стала диссертация «Архитектура тентовых сооружений: проблемы формообразования (1990-2000 гг.)» Мысковой О.В., 2003г. Автор говорит уже о том, что тентовая архитектура заняла самостоятельное место в современной архитектуре, и прогнозирует следующее: «Тентовая архитектура» является относительно недавно возникшим феноменом, которому еще предстоит раскрыть свой полный формообразующий потенциал».

В приложении (табл.1) дан сравнительный анализ некоторых аспектов исследования архитектуры тентовых и пневматических конструкций отечественных авторов.

Основные выводы по третьей главе:

1. На основе классификации форм гибких мембранных покрытий определены основные принципы формирования архитектурных объектов на основе ГМС: 1) изменение высоты покрытия; 2) асимметрия фасада; 3) изменение Гауссовой кривизны покрытия; 4) изменение конфигурации

опорного контура покрытия; 5) адаптивность; 6) применение принципов энергоэффективности; 7) фрактальность (как уподобление природной форме); 8) цветовое решение.

2. Выявлены следующие особенности формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем:

- строительство более крупных пролётов;
- облегчение конструктива;
- снижение затрат на строительство кровли;
- трансформация кровли;
- стационарность/временность сооружения;
- применение элементов энергоэффективности;
- широкий диапазон колористических решений;
- создание ультрасовременного дизайна;
- восстановление исторических мест благодаря современным технологиям и новым материалам;
- повышение коммерческого потенциала, престижа страны, привлечение туристов;
- возможность для архитектора продвижения на более профессиональный уровень.

3. Даны рекомендации по устранению недостатков устройства гибких мембранных систем.

4. Проведён сравнительный анализ научных работ, посвящённых архитектуре тентовых и пневматических конструкций в отечественной практике, который подтверждает актуальность темы исследования и становления формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем самостоятельным направлением в современной архитектуре.

В **Заключении** отражены основные результаты и выводы исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. В настоящее время всё большее количество экспертов и инженеров, имеющих высокую квалификацию, заинтересовываются сферой проектирования гибких мембранных покрытий. Архитекторы, в свою очередь, получают больше возможностей экспериментировать с гибкими мембранными системами. Создание Ассоциации по популяризации гибких мембранных конструкций на территории Российской Федерации говорит о международном содействии и стремлении архитекторов и инженеров разных стран совместно развивать мембранные архитектуру по всему миру.

2. Покрытия тентовых и пневматических сооружений в рамках исследования объединены под общим названием «гибкая мембранный система» (ГМС). В связи с чем предложено следующее определение: *гибкая мембранный система – конструкция, состоящая из гибкого изолирующего материала и элементов несущего каркаса.*

3. Систематизированы следующие типы гибких изолирующих материалов:

1) текстильно-плёночные, такие как ETFE, PTFE, PVC;

2) фасадные сетки на основе PVC.

А также упорядочены типы конструктивных систем:

a) вантовые;

б) каркасные (прямолинейный/криволинейный каркас);

в) бескаркасные (воздухоопорные/воздухонесомые).

4. Выявлены некоторые характеристики гибких мембранных систем:

- мембранный материал имеет естественную предрасположенность к кривизне;

- процесс проектирования мембранных конструкций зависит от применяемого напряжения и точности края покрытия;

- гибким мембранным системам присущи водостойкие и огнестойкие качества благодаря применению современных синтетических волокон и стекловолокна, а также лакокрасочных материалов;

- преимущество ГМС - светопрозрачность, небольшой вес и способность крепиться к каркасам крупномасштабных пространств.

5. Определены типы форм покрытий:

- *седловидные формы* – на каркасе из вертикальных и наклонных стержней, мачт, арок или вантово-тросовых сеток с поверхностью гипара;

- *конические формы* – на стойках, мачтах и наружном опорном контуре с подвесными мембранными оболочками;

- *сводчатые формы* – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны, не имеющем оси вращения;

- *купольные формы* – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны;

- *многогранные формы* – на каркасе из прямолинейных элементов, форм, рам, с плоскими мембранными оболочками или поверхностей одинарной кривизны;

- *комбинированные формы* – на каркасе, сочетающем несколько из вышеизложенных типов конструкций.

В результате анализа существующих классификаций, конструктивные системы исследуемых объектов подразделены на такие, как *вантовые*, *каркасные* и *бескаркасные*. По способам трансформации объекты мембранный архитектуры подразделены на два типа: *адаптивные* и *стационарные*.

6. Упорядочены следующие типы архитектурных объектов на основе ГМС в соответствии с их применением: *жилые*, *спортивно-зрелищные*, *транспортные*, *промышленные*, *административные*, *учебно-научные*, *торговые*, *выставочные*, *культурно-просветительские*, *объекты культового назначения*, *зоны рекреации и развлекательные*, *малые формы* и *инсталляции*.

7. На основе классификации форм гибких мембранных покрытий определены основные принципы формирования архитектурных объектов на основе ГМС: 1) изменение высоты покрытия; 2) асимметрия фасада; 3) изменение Гауссовой кривизны покрытия; 4) изменение конфигурации опорного контура покрытия; 5) адаптивность; 6) применение принципов энергоэффективности; 7) фрактальность (как уподобление природной форме); 8) цветовое решение.

8. Выявлены следующие особенности формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем:

- строительство более крупных пролётов;
- облегчение конструктива;
- снижение затрат на строительство кровли;
- трансформация кровли;
- стационарность/временность сооружения;
- применение элементов энергоэффективности;
- широкий диапазон колористических решений;
- создание ультрасовременного дизайна;
- восстановление исторических мест благодаря современным технологиям и новым материалам;
- повышение коммерческого потенциала, престижа страны, привлечение туристов;
- возможность для архитектора продвижения на более профессиональный уровень.

Даны рекомендации по устранению недостатков устройства гибких мембранных систем.

9. Проведён сравнительный анализ научных работ, посвящённых архитектуре тентовых и пневматических конструкций в отечественной практике, который подтверждает актуальность темы исследования и становления формообразования архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем самостоятельным направлением в современной архитектуре.

В Приложении дан иллюстративный материал.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.

Дальнейшее исследование формообразования, конструктивных особенностей и характеристик гибких мембранных систем может быть вызвано, например, появлением новых изолирующих материалов, или же возникновением нового опыта проектирования и строительства архитектурных объектов с применением гибких мембранных покрытий в мировой практике. Также интерес к изучению тентовой и пневматической архитектуры может быть следствием популяризации в настоящее время устойчивой и энергоэффективной архитектуры, принципами которой являются инновационные решения, актуальность, адаптивность, эстетические стандарты, социальная вовлечённость, сохранение ресурсов,

экологическая безопасность, экономическое обоснование, контекстуальность.

По материалам настоящего исследования были опубликованы следующие статьи:

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Ожиганова, И. С. Особенности формообразования архитектурных объектов на основе мембранных систем [Электронный ресурс]. – М.: АМТ, 2016. - №2(35) – Режим доступа: <http://www.marhi.ru/AMIT/2016/2kvert16/ozhig/abstract.php>.

2. Ожиганова, И.С. Опыт применения гибких мембранных покрытий в архитектуре культовых зданий и сооружений. систем [Электронный ресурс]. – М.: АМТ, 2017. - №2(39) – Режим доступа: http://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvert17/14_ojiganova/index.php.

Публикации в других научных изданиях

1. Ожиганова, И. С. Особенности применения тентовой архитектуры в общественных зданиях / Ожиганова И.С. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2012. – 4с.

2. Ожиганова, И. С. Текстильная архитектура в выставочных пространствах / Ожиганова И.С. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2013. – 1с.

3. Ожиганова, И. С. Проблемы формообразования текстильной архитектуры. Состояние вопроса / И.С. Ожиганова // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ. – 2013.

4. Ожиганова, И. С. Особенности создания архитектурных объектов на основе гибких мембранных систем в контексте динамического формообразования / Ожиганова И.С. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2015. – 2с.

5. Ожиганова, И. С. Синергетический подход к исследованию мембранный архитектуры / И.С. Ожиганова // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ. – 2015.

6. Ожиганова, И. С. Опыт применения Тенсегрити-структур в объектах мембранный архитектуры / Ожиганова И.С. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2016. – 2с.

7. Ожиганова, И. С. Тенсегрити-структуры: история возникновения, классификация и опыт применения в архитектурном проектировании / И.С. Ожиганова // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ. – 2016.

8. Ожиганова, И. С. Мембранные системы как решение проблем экологии и энергоэффективности / Ожиганова И.С. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2017. – 3с.

9. Ожиганова, И. С. Основные характеристики гибких мембранных систем / И.С. Ожиганова // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ. – 2017.