

ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ

И.С. Ожиганова

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

Аннотация

В статье выявляются особенности формообразования архитектурных объектов на основе мембранных систем, представленных как класс сооружений, полученных путём совместной работы гибкого изолирующего материала покрытия и несущих конструкций. Рассмотрены реализованные объекты мембранной архитектуры из мировой практики (конца XIX – начала XX вв.), проведён их анализ по критериям: адаптивности, как способности к перемещению и приспособлению к определенным условиям; кривизны покрытия и условиям взаимодействия его материала с несущей конструкцией; стационарности эксплуатации сооружения; его экологичности и колористического решения.

Ключевые слова: мембранная архитектура, классификация мембранных систем и критерии оценки их формообразования

THE FEATURES OF FORM-BUILDING OF ARCHITECTURAL OBJECTS BASED ON MEMBRANE SYSTEMS

I. Ozhiganova

Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia

Abstract

The article describes the features of the form-building of architectural objects based on membrane systems, presented as a class of structures obtained by working together flexible insulating material covering and supporting structures. Considered realized objects of membrane architecture of international practice (late XIX - early XX centuries), conducted their analysis by criteria, there are adaptability, as the ability to move and adapt to certain conditions, the curvature of the coating and the conditions of its interaction of the material with the supporting structure, the stationary operation of the object, its sustainability and colour decision.

Keywords: membrane architecture (MA), classification of membrane systems and criteria for the evaluation of their form-building

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 мембранной 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.

Мембранная архитектура, 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.

Анализ более двухсот реализованных мировых объектов мембранной архитектуры (МА) конца XIX – начала XX вв. позволяет выявить их характерные особенности.

Прежде всего, формообразование МА обусловлено типом формы покрытий (Табл. 1):

1) седловидные формы – на каркасе из вертикальных и наклонных стержней, мачт, арок или вантово-тросовых сеток с поверхностью гипара [1, С.78];

2) конические формы – на стойках, мачтах и наружном опорном контуре с подвесными мембранными оболочками [1, С.78];

3) формы, поддерживаемые арками – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны, не имеющем оси вращения;

4) купольные формы – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны [1, С.78];

5) складчатые формы – на мачтах или рамах с вантовыми или тросовыми растяжками, с мембранной оболочкой в виде "гармоники" [1, С.78];

6) покрытия на прямолинейном каркасе – на каркасе из прямолинейных элементов, форм, рам, с плоскими мембранными оболочками или поверхностями одинарной кривизны [1, С.78];

7) сводчатые формы – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны, образующих свод;

8) волнообразные формы – на каркасе из криволинейных элементов с мембранными оболочками одинарной или двойной кривизны, образующих синусоиду;

9) комбинированные формы – на каркасе, сочетающем несколько из вышеизложенных типов конструкций.

Кроме того специфичность МА проявляется при анализе по таким критериям, как адаптивность, взаимодействие мембранного материала и конструкции, Гауссова кривизна покрытия, сезонность, колористика объектов и их экологичность.

Таблица 1. Классификация объектов МА по типу формы покрытия

№ п/п	1960-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.	2000-е гг.				2010-е гг.				
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													

1. Адаптивность архитектурного объекта, его способность к перемещению и приспособлению к определенным условиям. Адаптивность объектов МА может быть рассмотрена в трёх аспектах: трансформация, мобильность и модульность (Табл. 2).

Таблица 2. Адаптивность объектов МА

АДАПТИВНОСТЬ:

- - ТРАНСФОРМАЦИЯ
- - МОДУЛЬНОСТЬ
- - МОБИЛЬНОСТЬ

N n/n	1960-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.	2000-е гг.	2010-е гг.
1	■	■		■	■	■
2	■	■	■	■	■	■
3				■	■	■
4		■	■	■	■	■
5				■	■	■
6					■	
7	■	■				■
8						
9						

Трансформация может быть *полной*, для транспортировки сооружения или его элементов в разобранном виде к месту возведения, или же *частичной*, например, для регуляции микроклимата помещения за счет обратимых движений конструктивных элементов (ограждающих поверхностей, кровли). Трансформация объекта может осуществляться за счет изменения внутренних элементов при сохранении его общих постоянных габаритов. При таком проявлении динамической адаптации конструктивные решения сооружения обладают статическими и динамическими свойствами [4, С.27]. Среди исследуемых архитектурных объектов на основе мембранных систем трансформация выявлена, в большей степени, у сооружений со складчатым покрытием.

Мобильность свойственна объектам, эксплуатация которых требует передвижения и приспособления к условиям окружающей среды. Данное свойство адаптации включает в себя как соответствие и быстроту реагирования сооружений на изменяющиеся потребности и образ жизни людей, так и физическую подвижность – постоянную готовность к изменению места своего положения в пространстве и способность к передвижению. По способу передвижения мобильный объект может являться самодвижущимся или же

транспортируемым [4, С.27]. Однако в последнее время мембранная архитектура выходит на уровень стационарных сооружений, эксплуатируемых в течении длительного времени.

Модульность в формообразовании мембранных архитектурных объектов даёт возможность использования отдельных *относительно самостоятельных* частей сооружения автономно. По мнению Обедниной С.В. и Быстровой Т.Ю. модульному формообразованию присущи следующие характерные черты:

- простота и лаконичность конструкции;
- цельность формы; специализированность формы, возникающая в результате учета ее интерактивного освоения человеком;
- возможность творческого "оживления" модульной формы через интерактивность;
- гибкость пространства, формируемого модульными композициями;
- полифункциональность объектов, вариативность использования модульных композиций в зависимости от поставленных задач;
- оптимальная форма отдельных элементов-модулей и закономерность их соотношения друг с другом [5, С.85-90].

Одним из примеров трансформируемого покрытия может послужить кровля стадиона "Коммерцбанк-Арена" в городе Франкфурт-на-Майне, Германия (Рис. 1а).

Отрицательная сторона: трансформация кровли проблематична из-за большого количества осадков и минусовых температур. Ежегодно, в период с октября по март, покрытие "Коммерцбанк-Арены" не эксплуатируется (Рис. 1б).



а)



б)

Рис. 1(а,б). Кровля стадиона "Коммерцбанк-Арена" в городе Франкфурт-на-Майне, Германия: а) в процессе трансформации; б) в эксплуатационном положении

2. Взаимодействие мембранного материала и несущей конструкции. В рамках исследуемых архитектурных объектов определены следующие конструктивные системы:

- бескаркасные (воздухоопорные или воздуhonесомые);
- каркасные (прямолинейный или криволинейный каркас);
- вантовые.

Гибкий изолирующий материал покрытия представлен тремя типами:

- ПВХ - полиэстер, покрытый поливинилхлоридом;
- PTFE - стекловолокно, покрытое политетрафторидэтиленом;
- ETFE - пленки из этилентетрафторидэтилена.

Совместная работа материала и конструкции рассматриваемых объектов мирового опыта представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Взаимодействие гибкого изолирующего материала и конструкции объектов МА

		МАТЕРИАЛ:					
							
		- PVC	- PTFE	- ETFE			
		КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА:					
							
		- КАРКАСНЫЕ СИСТЕМЫ	- ВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ	- БЕСКАРКАСНЫЕ СИСТЕМЫ			
N n/n		1960-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.	2000-е гг.	2010-е гг.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

Из анализа таблицы 3 следует, что в большинстве рассматриваемых случаев были применены каркасные конструкции в сочетании со всеми тремя типами мембранного материала. Исключением являются объекты с седловидной формой покрытия – основным типом конструктивной схемы являются ванты.

Для примера рассмотрим мембранную систему футбольного стадиона "Альянц Арена" в Мюнхене, Германия: материал покрытия – ETFE-пленка, конструктивная схема – криволинейный каркас (Рис. 2(а)).

Недостатки: проблемы во взаимодействии мембранного материала и конструкции возникают в холодных странах, в связи с большими снеговыми нагрузками на кровлю, что влечет за собой сложности в её очистке. В некоторых случаях возникает необходимость в помощи техники, например, вертолетов (Рис. 2(б,в)).



а)



б)



в)

Рис. 2(а-в). Футбольный стадион "Альянц Арена" в Мюнхене, Германия: а) фасад стадиона; б) очистка кровли; в) очистка кровли с помощью вертолета

3. Гауссова кривизна покрытия. Данный аспект является немаловажным в образовании объекта МА – форма поверхности обуславливается геометрией опорного контура, условием преднапряжения и крепления к несущим конструкциям покрытия [6].

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 (Табл. 4).

Таблица 4. Гауссова кривизна покрытий объектов МА

ГАУССОВА КРИВИЗНА:

- ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ
- НУЛЕВАЯ
- ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ

N n/n	1960-е rr.	1970-е rr.	1980-е rr.	1990-е rr.	2000-е rr.			2010-е rr.			
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											

В результате анализа объектов МА по критерию Гауссовой кривизны можно определить, что седловидным и коническим формам присуща отрицательная кривизна, складчатым и покрытиям на прямолинейном каркасе – нулевая. Положительная гауссова кривизна характерна для сооружений с купольными, сводчатыми формами покрытия, а также формами, поддерживаемыми арками.

Волнообразные покрытия образуют сочетание положительной и отрицательной кривизны. Комбинированные формы покрытия, в свою очередь, могут иметь любой параметр гауссовой кривизны.

Трудности в расчётах Гауссовой кривизны могут быть связаны с масштабами зданий: чем больше пролет – тем больше уклон кровли.

4. Стационарность. Данный критерий ориентирован на анализ объектов МА по времени их сезонной эксплуатации. В Таблице 5 параметр "Временность" подразумевает собой эксплуатацию сезонную, суточную и т.п., которая свойственна, например, выставочным павильонам и кампусам.

Таблица показывает, что большинство рассматриваемых реализованных объектов МА являются стационарными. *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.).

Таблица 5. Стационарность объектов МА

- СТАЦИОНАРНЫЙ ОБЪЕКТ
 - ВРЕМЕННЫЙ ОБЪЕКТ

N п/п	1960-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.	2000-е гг.			2010-е гг.		
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

5. Колористика объектов мембранной архитектуры. Цвет является важной задачей в организации предметно-пространственной среды, решение которой входит в круг компетенций архитекторов и градостроителей. В таблице 6 приведена степень цветности мембранных покрытий (в сравнении с белым цветом) исследуемых зданий и сооружений.

Таким образом, можно утверждать, что для архитектурных сооружений на основе 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 "черного ящика" для проведения видеосъемок, 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).

Таблица 6. Колористика объектов МА

N n/n	1960-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.	2000-е гг.				2010-е гг.				
1	Colorful	Colorful			Colorful								
	X	X											
	X	X				Colorful	Colorful	X		Blue			
2													
	X	X	X			Blue			Blue				
	X	X	X	X									
3													
	X	X	X			Blue			Blue	Blue			
	X	X	X	X					Dark Red		Grey		
4													
	X	X	X	X			Blue	Blue					
	X	X	X	X			Blue	Yellow	Blue				
5													
	X	X	X	X			Blue	X		Blue			
	X	X	X	X		Yellow					Blue		
6													
	X	X	X	X		Blue		Blue		Blue	Blue		Blue
	X	X	X	X									
7													
	X	X	X	X		Blue	Blue	X		Blue	Blue	Blue	
	X	X	X	X								Green	X
8													
	X	X	X	X									
	X	X	X	X									
9													
	X	X	X	X		Blue	Blue		Blue	Blue	Blue	Blue	
	X	X	X	X									

6. Экологичность. Данный критерий рассматривает возможность использования покрытия сооружения мембранной архитектуры для решения вопросов энергоэффективности. Объектам МА свойственно применение светопропускающих материалов, обладающих высокими теплозащитными свойствами. Прозрачность ETFE пленок позволяет снизить энергопотребление на освещение, обогрев и кондиционирование здания.

Рассмотрим фасад частного дома "Villa Nurbs", разработанного архитектором Enric Ruiz Geli в сотрудничестве с художником Frederic Amat и керамистом Toni Cumella. Вилла расположена в Испании. Создатели вдохновлялись приемами 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 (Рис. 3(a)).

На Рис. 3(б,в) приведены примеры МА с солнечными батареями, которые способны давать высокий энергосберегающий эффект. Тем не менее, зачастую, их *не используют* по эстетическим причинам.



а)



б)



в)

Рис. 3(а-в). Энергоэффективность сооружений МА: а) частный дом "Villa Nurbs", Испания; б) бюро "Hightex", Римстинг, Германия; в) стадион "Weserstadion", Бремен, Германия

Выводы по результатам анализа особенностей формообразования архитектурных объектов на основе мембранных систем суммированы в Таблице 7.

Таблица 7. Особенности формообразования объектов МА

№ п/п	Критерии	Особенности формообразования объектов МА
1	Адаптивность	<ul style="list-style-type: none"> • мобильность свойственна 38% исследуемых объектов МА, единственных в своем роде. Мембранная архитектура имеет тенденцию к становлению стационарными сооружениями, эксплуатация которых происходит длительное время; • в рамках рассматриваемых объектов МА трансформация присуща складчатым формам покрытия; • модульность типична покрытиям конической формы; • мобильность в большинстве случаев характерна типовым

		<p>объектам МА, не являющимся уникальными;</p> <ul style="list-style-type: none"> • трансформация кровли проблематична из-за большого количества осадков и минусовых температур; • модульность сооружений МА не всегда даёт возможность использования отдельных относительно самостоятельных их частей автономно.
2	Взаимодействие мембранного материала и несущей конструкции	<ul style="list-style-type: none"> • определены 3 типа конструктивных схем: <ul style="list-style-type: none"> - бескаркасные; - каркасные; - вантовые; и 3 типа используемых материалов покрытия: <ul style="list-style-type: none"> - ПВХ; - PTFE; - ETFE; • в большинстве рассматриваемых случаев применены каркасные конструкции в сочетании со всеми тремя типами мембранного материала; исключение – объекты с седловидной формой покрытия: основной тип конструктивной схемы – ванты; • мембранный материал и конструкция не выдерживают больших снеговых нагрузок на кровлю в странах с холодным климатом, что влечет за собой сложности в очистке кровли.
3	Гауссова кривизна покрытия	<ul style="list-style-type: none"> • характер кривизны покрытия: <ul style="list-style-type: none"> - седловидные и конические формы покрытия – отрицательная гауссова кривизна; - складчатые и покрытия на прямолинейном каркасе – нулевая; - купольные, сводчатые и формы, поддерживаемыми арками – положительная; - волнообразные покрытия – положительная и отрицательная кривизна одновременно; - комбинированные формы покрытия могут иметь любой параметр гауссовой кривизны. • расчёт Гауссовой кривизны зависит от масштаба объектов МА: чем больше пролет – тем больше уклон кровли.
4	Стационарность	<ul style="list-style-type: none"> • большинство из рассматриваемых реализованных объектов МА являются стационарными; • при непродуманности сценариев многофункциональной эксплуатации стационарных объектов возникают неоправданно большие затраты на строительство, особенно если сооружение возводится для разовых событий мирового значения.
5	Колористика объектов мембранной архитектуры.	<ul style="list-style-type: none"> • в основном, для архитектурных сооружений на основе мембранных систем характерны белые (материалы ПВХ и PTFE) и прозрачные покрытия (материал ETFE); • покрытия белого цвета имеют особенность быстро загрязняться, особенно если объект находится вблизи со взлетной полосой (загрязнение от самолетов); • отрицательной чертой прозрачных мембран является плохая акустика и невозможность создания эффекта "черного ящика" для проведения видеосъемок, к примеру, в концертных залах, что снижает коммерческий потенциал сооружения.
6	Экологичность	<ul style="list-style-type: none"> • объектам МА свойственно применение светопропускающих материалов, обладающих высокими теплозащитными свойствами – прозрачность ETFE-пленок позволяет снизить энергопотребление на освещение, обогрев и кондиционирование здания; • зачастую, солнечные батареи не используют по эстетическим причинам.

Выявленные особенности иллюстрируют эволюцию представлений о мембранных покрытиях и тенденции их развития. С появлением новых технологий и гибких изолирующих материалов обогащается спектр приемов формообразования зданий и сооружений на основе мембранных систем, расширяется область их использования.

Литература

1. Блинов, Ю.И. Тентовые здания и сооружения (аспекты мягких покрытий и перспектива развития): дис. ... докт. техн. наук 05-23-01. Строительные конструкции, здания и сооружения. – М.: МИСИ, 1992. – 401 с.
2. Куршакова, В.Н. Проблемы применения новейших мембранных конструкций в современной архитектуре // Известия вузов. Архитектон. – 2008. – №22 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2008_22/27
3. Обеднина, С.В. Модульный принцип формообразования в дизайне // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2013. – №1.
4. Сапрыкина, Н.А. Основы динамического формообразования архитектурных объектов // Учебник для вузов. – М. : Архитектура-С, 2005. – 312 с.
5. Серебренникова, Т.А. Принципы формообразования в архитектуре в эпоху информационного взрыва // Известия вузов. Архитектон. – 2010. – №30 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2010_22/16
6. Удлер, Е. Проектирование тентовых оболочек // CADmaster. – 2001. – №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_06_awning_cover_designing.html
7. Di Tian. Membrane Materials and Membrane Structures in Architecture. The University of Sheffield, School of Architecture, 2011. – 93 s.
8. Philip Drew. Tent Architecture. Thames & Hudson, London, 2008. – 208 s.

References

1. Blinov Ju.I. *Tentovye zdanija i sooruzhenija (aspekty mjagkih pokrytij i perspektiva razvitija)* [Tent buildings and structures (aspects of soft coatings and perspective of development)]. Moscow, 1992, 401 p.
2. Kurshakova V.N. *Problemy primenenija novejsih membrannyh konstrukcij v sovremennoj arhitekture vzryva* [Problems of application of the latest membrane structures in modern architecture]. Available at: http://archvuz.ru/2008_22/27
3. Obednina S.V. *Modul'nyj princip formoobrazovanija v dizajne* [The modular principle of formbuilding in design]. Yekaterinburg, 2013, no. 1.
4. Saprykina, N.A. *Osnovy dinamicheskogo formoobrazovanija arhitekturnyh ob#ektov* [Foundations of dynamic formbuilding of architectural objects]. Moscow, 2005, 312 p.
5. Serebrennikova, T.A. *Principy formoobrazovanija v arhitekture v jepohu informacionnogo vzryva* [Principles of formbuilding of architecture at the era of information explosion]. Available at: http://archvuz.ru/2010_22/16

6. Udler E. *Proektirovanie tentovyh obolochek* [Designing of tent shells]. Available at: http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_06_awning_cover_designing.html
7. Di Tian. Membrane Materials and Membrane Structures in Architecture. The University of Sheffield, School of Architecture, September 2011, 93 p.
8. Philip Drew. Tent Architecture. Thames & Hudson, London, 2008, 208 p.

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Ожиганова Ирина Сергеевна

Аспирант кафедры «Основы архитектурного проектирования», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

e-mail: Ozhiganova-Irina@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Ozhiganova Irina

Postgraduate Student, Chair «Foundations of Architectural Design », Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia

e-mail: Ozhiganova-Irina@yandex.ru