

Строительные мембраны, используемые в современных фасадах зданий

Н.С. Любин, В.О. Герасимова, А.В. Северин

Тульский государственный университет, Тула

Аннотация: В статье рассмотрены основные материалы и методы проектирования строительных мембран. Технологически ориентированные материалы и конструкции играют важную роль в современных фасадах зданий. Строительные мембраны или пленки все чаще используются для фасадных работ, становясь неотъемлемой частью современной архитектуры. Мембранные фасады предлагают неизмеримые возможности для архитектурного выражения, при этом сложная геометрия может быть легко решена конструктивно, с минимальными материальными затратами. На примере нескольких конкретных фасадов современных сооружений показаны основные достоинства и недостатки подобной технологии.

Ключевые слова: архитектура, фасад, конструкция, строительная мембрана, материал.

1. Введение.

Фасад формирует внешнюю оболочку здания и служит различным целям. В первую очередь фасад защищает интерьер от таких условий окружающей среды, как ветер, дождь и солнце. Другим ключевым аспектом современного дизайна фасада является создание уникального внешнего вида здания. Фасадная система обычно состоит из фасадной облицовки, двумерного элемента, который поддерживается первичной и/или вторичной структурой [1]. В архитектуре использовались различные материалы для облицовки - от более традиционных материалов оболочки, таких как стекло, металл, камень, древесина, бетон и т.д., до материалов, которые были разработаны в течение последних десятилетий, таких как стеклопластик (GRP), стеклобетон (GRC) и т.д. Очевидно, что использование текстильных мембран и пленок в качестве части ограждающих конструкций здания становится все более и более популярным, и в последние годы было реализовано несколько ярких примеров.

2. Фасадные системы и материалы

2.1. Требования к облицовочным материалам.

Поскольку фактическая облицовка является основным компонентом фасадной системы, материалы и конкретные требования проекта должны быть оценены и определены на начальных этапах процесса проектирования. Поскольку строительные проекты отличаются не только внешним видом, а также их расположением и назначением, невозможно перечислить все потенциальные характеристики для каждого случая выбора оптимального материала облицовки [2,3], но в следующем списке перечислены наиболее значимые из них:

1. защита от внешних условий окружающей среды (ветер, дождь, температура, солнце и т.д.);
2. создание частных интерьеров;
3. оболочка должна выдерживать внешние нагрузки (ветер, температура, эксплуатационные нагрузки и т. д.);
4. тепловые характеристики;
5. солнечные / световые характеристики;
6. огнестойкость;
7. долговечность;
8. акустика;
9. эстетичность / внешний вид поверхности (прозрачность, цвет и т. д.);
10. возможность создания сложной геометрии;
11. вес материала;
12. экономические затраты;
13. стоимость установки / время, модульность;
14. требования к техническому обслуживанию и, при необходимости, методы замены;
15. вторичность, устойчивость.

2.2. Характеристики высокоэффективных материалов

Конструкционные высокопроизводительные материалы характеризуются высоким отношением прочности конструкции к статической нагрузке. Применение этих материалов является оптимальным, когда они находятся под чистым натяжением - используя свой полный потенциал за счет отсутствия изгибающих моментов и других проблем, связанных с устойчивостью. Но определение высокой производительности не

ограничивается структурными свойствами. Высокая эффективность означает также, что материал или композитный материал разработан, а затем изготовлен в соответствии с определенными характеристиками, такими как прозрачность, проницаемость, особый цвет, акустическое демпфирование и т. д. Кроме того, селективные покрытия иногда являются частью высокопроизводительного материала, чтобы непосредственно влиять на свойства конкретного строительного требования, например, низкоэмиссионные покрытия, для улучшения климатических условий во внутренних помещениях или обработка наночастицами для улучшения свойств самоочищения поверхностей.

В архитектуре адаптивные или подвижные элементы также предъявляют особые требования к материалам [4]. Иногда им приходится менять свойства материала или учитывать геометрические изменения, как в случае с убирающимися шторами. Архитектурный облик здания определяется контуром, формой и внешним видом оболочки, и хотя чисто тепловые фасадные системы относительно просты и хорошо зарекомендовали себя на рынке, с его традиционными компонентами, такими как стекло, сэндвич-панели с изоляцией или вертикальные кирпичи, все эти элементы относительно тяжелые и / или ограничены в своем разнообразии применения [5]. Использование мембранных материалов в фасадных системах является более экономичной альтернативой традиционным облицовочным материалам, особенно когда предъявляются пониженные требования к ограждающей системе, к ним относятся: простой ветровой или визуальный барьер, чистое затенение или балансировка тепловых пиковых нагрузок.

3. Мембранные фасады

3.1. Подбор материала для мембранных фасадов

Несколько продуктов были разработаны в области архитектурных мембран, которые также могут быть использованы для фасадов. Можно выделить два основных типа. Первый – это текстильные мембраны, композитный материал, состоящий из тканой основы, которая обычно покрыта с обеих сторон. Второй – это пленки – очень тонкие экструзии с толщиной менее 0,4 мм [7]. Из-за относительно небольшой массы и толщины однослойных мембранных систем они характеризуются относительно высоким значением U (общий коэффициент теплопроводности). Поэтому однослойные строительные мембраны в основном используются не в роли теплового барьера, а в качестве внешнего солнцезащитного экрана, для защиты от прямого ветра и дождя, в качестве покрытия для зон с полукондиционированием воздуха (например, на стадионах) или для создания визуального барьера между внутренним и внешним элементами. Многослойные мембранные системы обеспечивают более высокие тепловые характеристики при сниженных значениях U . Многослойные системы представляют собой либо надувные мембранные «подушки» (2, 3 или даже больше слоев), либо двухслойную систему с промежуточной изоляцией. В случае, если эти многослойные системы являются тепловой оболочкой, проектировщик должен тщательно проверить, не произойдет ли конденсация для выбранной фасадной системы. Разработка селективных покрытий, которые можно наносить на архитектурные мембраны, начала быстро развиваться; например, низкоэмиссионные покрытия, влияющие на климатические условия внутри здания, а покрытия из TiO_2 могут обеспечить более длительный чистый внешний вид поверхности при определенных условиях [8]. Поскольку архитектурные мембраны становятся все более популярными, в ближайшем будущем будут разработаны более узкопрофильные покрытия для дальнейшего совершенствования продукции и расширения области их применения.

3.2. Текстильные мембраны

Различные материалы и комбинации материалов используются для текстильных мембранных композитов. Архитектурные материалы часто изготавливают из полиэфирной (далее ПЭС) пряжи, покрытой поливинилхлоридом (далее ПВХ), или из стекловолоконистой пряжи, покрытой либо политетрафторэтиленом, либо силиконом [9]. Причиной нанесения покрытия является защита волокон пряжи от воздействий окружающей среды, а также возможность соединения отдельных сегментов мембраны путем сваривания. Ткани без покрытия обычно изготавливают из политетрафторэтилена (далее PTFE) или поливинилиденфторида (PVDF). Текстильная мембрана обычно покрыта сверху слоем, создавая водонепроницаемую и ветрозащитную ткань с прозрачностью от приблизительно от 0 до 40% в зависимости от материала, или она может быть соткана с зазорами между отдельными нитями, образуя открытую сетчатую мембрану с локальным покрытием только самих нитей. Эти сетчатые мембраны часто используются для солнцезащитных экранов, но также и для создания архитектурной оболочки здания. Существуют разные модели ячеек, которые также отличаются по размеру и расположению открытых областей сетки. Некоторые из этих продуктов пригодны для печати, что позволяет им выглядеть очень индивидуально. В зависимости от конструктивных требований, доступны различные классы прочности.

В последние годы также были разработаны ламинированные мембраны с открытыми ячейками, которые доступны в различных комбинациях: сетчатые мембраны из стекла/PTFE с непрерывным ламинированием из прозрачного фторполимера (ETFE, PTFE и т. д.). Преимущество - относительно высокая прозрачность (> 50%) в сочетании с прочностью материала до 60 кН / м.

3.3. Пленки

Этилен-тетрафторэтилен (далее ETFE) представляют собой тонкие пленки с очень высокой прозрачностью до 96%, однако по сравнению с текстильными мембранами ETFE обладает более низкой прочностью, а свойства материала более чувствительны к повышенным температурам. Толщина пленок ETFE, применяемых в архитектуре, варьируется от 100 до 300 мкм, а отдельные сегменты пленки могут быть сварены, образуя более крупные панели. Кроме того, пленки ETFE позволяют печатать различные рисунки, а некоторые специальные покрытия могут повысить долговечность материала, в то время как другие покрытия могут отфильтровывать солнечные волны определенной длины, чтобы избежать перегрева здания. Альтернативой ETFE-пленкам являются этилен-хлор-трифторэтиленовые (далее ECTFE) пленки [10]. Для архитектуры это относительно новый продукт. Первоначально ECTFE был произведен в США и нашел свое применение в авиационной промышленности, в качестве переднего и заднего листов фотовольтаики, а также для специального покрытия кабелей. Ключевыми характеристиками ECTFE являются стойкость к истиранию, отличная коррозионная стойкость (даже кислоты при высокой концентрации) и очень хорошая огнестойкость. ECTFE имеет свойства материала, аналогичные ETFE, поэтому модуль упругости выше при более низких температурах, но также ниже при высоких температурах. Самым большим преимуществом ECTFE является то, что материал обладает более высокой солнечной проницаемостью и прозрачностью. Он имеет очень низкую мутность и, следовательно, больше подходит там, где требуется абсолютная прозрачность. Поверхность ECTFE очень гладкая, что позволяет легко печатать и наносить покрытия. Доступны пленки толщиной от 100 до 400 мкм [11].

4. Тематические исследования

4.1. Стадион «Хазза бин Зайед» в Эль-Айне

Внешний фасад стадиона состоит из стальной диагональной конструкции с 612 индивидуально ориентированными мембранными панелями, которые достигают максимального затенения. Области на стадионе, которые требуют комфортного охлаждения, имеют дополнительную тепловую оболочку, состоящую из стандартного изолированного стеклянного или алюминиевого фасада. Мембранные панели наружного затенения фасада в сочетании с первичной стальной конструкцией напоминают пальмовое дерево - эмблема Оазиса Эль-Айна. Модульная система была разработана для рационализации системы фасадов и облицовки, а также для минимизации времени строительства. Затенение панелей фасада состоит из стальной рамы с предварительно напряженной мембраной из стекла и PTFE, придающей фасаду вид сегментов пальмового дерева. Промежуточная арка используется для формирования седловидной формы для обеспечения достаточной кривизны мембраны. Мембранные панели устанавливаются с различными углами наклона в зависимости от местных требований к затенению и желаемого архитектурного облика [12]. Они поддерживаются в узлах рамы с диагональной сеткой с помощью простой зажимной детали с болтовым креплением для ускорения установки. Все это стало возможным благодаря легкому весу панелей. Ночью белые мембранные панели подсвечиваются различными цветами, с помощью светодиодов, которые крепятся к каждому узлу стальной сетки (рис.1).



Рис. 1 – фасад стадиона «Хазза бин Зайед» в Эль-Айне.

4.2. Стадион Би-Си Плэйс в Ванкувере

Новый стадион Би-Си Плэйс в Ванкувере покрыт однослойным фасадом ETFE площадью 9 500 м². Непрерывный фасад высотой 13 м разделен тремя стальными кольцами, которые образуют основу для фасада. Чтобы создать экономичную конструкционную систему в каждом из 36 отсеков стадиона, двенадцать вертикальных стальных арок были использованы для создания трехмерной формы, напоминающей седловину, из ETFE. Эти пленки ETFE имеют рисунок, напечатанный стеклокристаллическим припоем, серого цвета с различной плотностью, что позволяет освещать фасад с помощью светодиодных светильников, установленных на горизонтальных стальных кольцах. Инновационная фасадная система поражает своим прозрачным внешним видом днем и разнообразием цветов в ночное время (рис.2).



Рис.2 – стадион Би-Си Плэйс в Ванкувере.

4.3. Стадион Гринпоинт в Кейптауне

Стадион Гринпоинт был спроектирован для Чемпионата мира по футболу 2010. Наружный фасад состоит из стальной первичной конструкции с вертикальными и горизонтальными элементами, которые прикреплены к бетонной конструкции за фасадом. Горизонтальные балки, изогнутые в плане, отводят фасадный слой наружу, образуя четырнадцать четких горизонтальных линий. Фактическим материалом оболочки является PTFE/стеклянная открытая сетчатая мембрана серебристого цвета. В зависимости от условий освещения днем и ночью внешний вид стадиона может быть различным; днем фасад выглядит непрозрачным снаружи, в то время как ночью интерьер освещается, создавая прозрачную фасадную систему (рис.3).



Рис. 3 – Стадион Гринпоинт в Кейптауне.

4.4. Мобильные пространства - павильоны для Индогерманского городского фестиваля

Немецкий архитектор Маркус Хайнсдорф разработал несколько так называемых «текстильных зданий» для Индогерманского городского фестиваля 2012 года. Шестнадцать различных легких системных конструкций в виде павильонов были спроектированы для использования нескольких типов текстильных мембран, от цельного и открытого ПВХ до мембран из ПЭС с покрытием. Каждый павильон может иметь свой цвет, рисунок или достичь совершенно другого внешнего вида исключительно на основе выбора свойств материала. Павильоны спроектированы как мобильные помещения, их легко монтировать, транспортировать и демонтировать, принимая во внимание местные технологии и качество изготовления. Павильоны были временно установлены в нескольких городах Индии с различными климатическими условиями.

4.5. Бамбуковый павильон для выставки в Шанхае

Двухэтажная мембранная бамбуковая конструкция вмещает в себя 350 м² площади пола. Предполагалось представить немецко-китайскую инициативу на выставке 2010 года в Шанхае в новаторском и экологически чистом здании. Особенности этого арт-объекта заключаются в его дизайне и уникальной комбинации бамбуковых стержней, бамбукового ламината, пленки ETFE, а также мембраны из ПВХ/ПЭС. Каркас и все соединительные элементы были спроектированы так, чтобы здание можно было разобрать и реконструировать в другом месте после выставки. Все материалы могут быть повторно использованы или полностью переработаны. В случае необходимости ремонта каждый элемент облицовки может быть заменен

индивидуально. Прозрачная, однослойная пленка ETFE была скомпонована в сложенную геометрию пластины, разработанную в стиле техники складывания бумаги. Освещение фасадов также служит для освещения интерьера и окружающей среды. Благодаря фантастическим пропускающим свойствам однослойного фасада ETFE был создан эффект фонаря, который также делает ненужными дополнительные источники света в интерьере. ETFE как фасадный материал продемонстрировал свои выдающиеся возможности сочетания с другими традиционными и уникальными материалами (рис.4).



Рис. 4 – бамбуковый павильон для выставки в Шанхае.

4.6. Олимпийский плавательный комплекс Мюнхен

Серия интересных конструкций была разработана для Олимпийских игр 1972 года. Среди них, бассейн Olympic имеет корпус, изготовленный из прозрачной и изолированной полиэстеровой мембраны с ПВХ-покрытием, которая подвешена к внешней конструкции (рис.5). В 2007 году была заменена старая мембранная оболочка, так как прочность материала снизилась, в частности, из-за преобладания влаги и хлора в воздухе. Редизайн должен был учитывать соответствие последним стандартам, сохраняя при этом оригинальный визуальный облик. Для выполнения требований

климатического контроля во внутреннем пространстве мембрана состоит из: несущей мембраны из полиэфирной ткани с ПВХ-покрытием, полиэфирной флисовой изоляции толщиной 7 см и прозрачного герметизирующего слоя из ETFE-пленки [12]. По совету исполняющего подрядчика вместо нижнего влагобарьера была установлена чувствительная система вентиляции. Измеримая прозрачность крыши в сборе составляет около 1,5%, что приводит к высокой естественной освещенности комплекса бассейна.

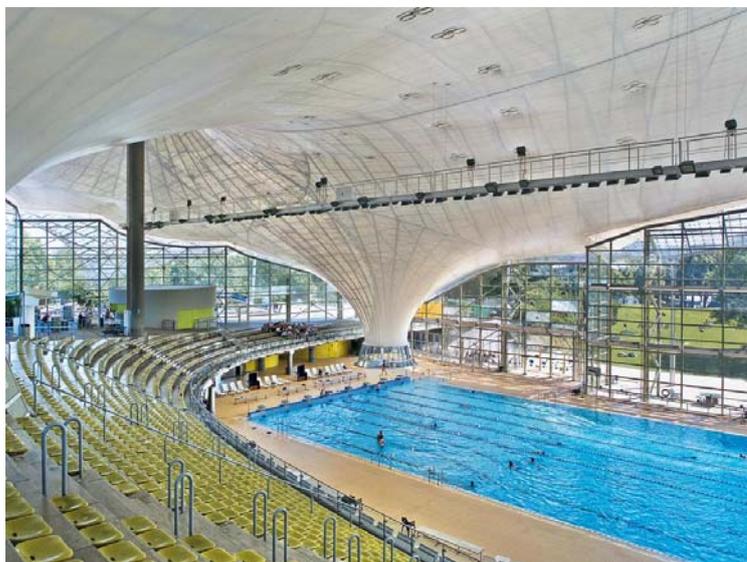


Рис. 5 – Олимпийский плавательный комплекс Мюнхен.

4.7. Мемориал в Мадриде

Застекленный мемориал на станции Аточа в центре Мадрида служит напоминанием о жертвах террористического акта, произошедшего 11 марта 2004 года. В тот день 191 человек был убит и 1824 получили ранения в результате взрывов бомб в четырех пригородных поездах.

Мемориал состоит из застекленного цилиндра и памятного пространства непосредственно под ним (рис.6). Внутри стеклянного цилиндра находится пленка ETFE толщиной 150 мкм, стабилизированная давлением воздуха. На поверхности этой прозрачной внутренней оболочки напечатаны соболезнования на разных языках, написанные первоначально на

листах бумаги проходимыми после теракта на станции Аточа. Основанная на форме геометрия необычна для надутых конструкций с вогнутыми и выпуклыми участками. Геометрия мембраны была разработана в сочетании со стабилизирующим давлением воздуха так, что, несмотря на различные условия двухосного напряжения, складки не возникали. Сложный процесс определения формы 72 сварных участков мембраны учитывал не только упругое удлинение материала в двух направлениях, но также и спиральное расположение записей соболезнований, располагающихся непрерывно по швам. Поскольку мембрана ETFE очень прозрачна, подземное мемориальное пространство получает естественный свет снаружи днем. Отражения и формальное взаимодействие между полупрозрачной стеклянной структурой и аморфной мембраной приводят к необычным визуальным эффектам. Ночью, с внутренним освещением, стеклянный памятник похож на яркий кристалл, свет излучается через полупрозрачные стеклянные блоки.



Рис. 6 – Мемориал в Мадриде.

5. Вывод

Краткое изложение материалов показывает огромное разнообразие современных мембранных материалов. В ближайшее время появится еще больше уникальных комбинаций покрытий зданий. Многофункциональные материалы, содержащие электрохромные слои, селективные покрытия и

элементы сбора энергии, станут обычными инструментами архитекторов в будущем. Руководствуясь главным принципом устойчивых проектов: «минимизация статической нагрузки на конструкции», можно отметить актуальность использования мембранных материалов. Кроме того, хорошие дизайнерские решения по созданию длинных, легких и недорогих конструкций делают этот сектор очень успешным в современной архитектуре. В будущем мы увидим все больше подобных систем, и многие из них будут работать в сочетании с выдвигаемыми, складными и адаптивными устройствами.

Литература

1. Бадьин Г. М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий / СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.: ил.
2. Membrane Structures Association of Japan, MSAJ/M-02-Tokyo-1995, Testing Method for Elastic Constants of Membrane Materials, 1995. pp. 1-25.
3. J. Uhlemann, N. Stranghöner, K. Saxe, Tensile structures: Investigations into the determination of elastic constants of fabrics, Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures 56, 2015. pp. 25-35.
4. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. М.: АСВ, 2008 – 126с.
5. Канчели Н.В. Седлообразная мембранная оболочка над ареной конькобежного стадиона в г. Коломне. «Строительные материалы и оборудование XXI века» 8(91), 2006 – С. 66-67.
6. Канчели Н.В., Батов П.А., Дробот Д.Ю. Опыт и перспективы проектирования мембранных оболочек на примере реализованных объектов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 2 (109), 2008. С. 72 - 74.

7. Кудишин Ю.И., Дробот Д.Ю. К вопросу о живучести строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 2 (217). – с. 36 – 43.

8. Еремеев, Павел Георгиевич. Пространственные тонколистовые металлические конструкции покрытий / П. Г. Еремеев. — Москва: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2006. – 560 с.: ил.

9. Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л. Нанокompозитные органоминеральные гибридные материалы // Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476.

10. Фиговский О.Л. Нанотехнологии – эффективность и безопасность (зарубежный опыт, обзор новых нанотехнологий) // Инженерный вестник Дона, 2011, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/512.

11. М.Е., Петухова Е.С. Выбор перспективных наполнителей для полиэтиленов ПЭ80Б и ПЭ2НТ11 // Инженерный вестник Дона, 2013, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1518.

12. В Brian Forster, Marijke Mollaert, European Design Guide for Tensile Surface Structures, TensiNet, VUB Brussels University Press, Brussels/Belgium, 2004. 345p.

References

1. Bad'in G. M. Sychev S.A. Sovremennye tehnologii stroitel'stva i rekonstrukcii zdaniy [Modern technologies of construction and reconstruction of buildings]. SPb.: BHV-Peterburg, 2013. 288 p.: il.

2. Membrane Structures Association of Japan, MSAJ.M-02-Tokyo-1995, Testing Method for Elastic Constants of Membrane Materials, 1995. pp. 1-25.

3. J. Uhlemann, N. Stranghöner, K. Saxe, Tensile structures: Investigations into the determination of elastic constants of fabrics, Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures 56, 2015. pp. 25-35.



4. Kancheli N.V. Stroitel'nye prostranstvennyye konstrukcii [Construction and spatial design]. M.: ASV, 2008. 126p.
5. Kancheli N.V. Sedloobraznaya membrannaya obolochka nad arenoj kon'kobezhnogo stadiona v g. Kolomne, «Stroitel'nye materialy i oborudovanie XXI veka» 8(91), 2006. pp. 66-67.
6. Kancheli N.V., Batov P.A., Opyt i perspektivy proektirovaniya membrannyh obolochek na primere realizovannyh ob"ektov, Drobot D.Ju. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii 21-go veka. 2(109), 2008. pp. 72-74.
7. Kudishin Ju.I., Drobot D.Ju. K voprosu o zhivuchesti stroitel'nyh konstrukcij, 2(217).2008. FGUP «NIC«Stroitel'stvo», «Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij», 2008. pp. 36-43.
8. Eremeev, Pavel Georgievich. Prostranstvennyye tonkolistovye metallicheskie konstrukcii pokrytij [Spatial sheet metal structure coatings]. P. G. Eremeev. Moskva: Izd-vo Assoc. stroit. vuzov, 2006. 560 p.: il.
9. Kudrjavcev P.G., Figovskij O.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476.
10. Figovskij O.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/512.
11. M.E., Petuhova E.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1518.
12. Brian Forster, Marijke Mollaert, European Design Guide for Tensile Surface Structures, TensiNet, VUB Brussels University Press, Brussels. Belgium, 2004. 345 p.