

О.В. МЫСКОВА, Е.И. КАЗУСЬ

ПРОСТРАНСТВО И ФАСАД В СОВРЕМЕННОЙ ТЕНТОВОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Myskova Olga, Kazus`
Ekaterina. Contemporary
World's Architecture,
1/2020. Pp. 99–130

УДК 72.01

DOI 10.25995/
NIITIAG.2020.81.27.005

На примерах практики тентового строительства 2005–2017 гг., для которого характерно массовое использование инновационных мембранных материалов, рассматриваются произведения зарубежной тентовой архитектуры, выявляются направления ее современного развития: трансформируемые тентовые покрытия крупных концертных залов под открытым небом с приоритетным формированием архитектурного пространства нового поколения; общественные здания на базе пневматических ETFE-подушек с энергосберегающими фасадами-крышами, выполняющими функцию медиафасадов, и метафорическое направление, использующее тентовые фасадные композиции для повышения визуальной привлекательности зданий инфраструктурного назначения.

Ключевые слова: тентовая архитектура, Ф. Отто, ваны, седловидное покрытие, тенсегрити, ETFE-подушка, пространство, фасад-крыша, медиафасад.

O. MYSKOVA, E. KAZUS`

SPACE AND FACADE IN CONTEMPORARY TENT ARCHITECTURE

By exploring the examples of tent building of 2005-2017 for which excessive use of innovative membranous materials are used the analysis of production of foreign tent architecture, directions of its modern development are revealed: transformable tent coverings of big roofless concert halls with prioritized formation of architectural space of new generation; community buildings on the base of pneumatic ETFE-pillows with energy-saving facades-roofs, accomplishing a function of mediafacades and metaphorical direction, which uses tent facade compositions for increase in visual attractiveness of establishments of infrastructural meaning.

Keywords: tent architecture, F. Otto, shrouds, saddle-shaped coating, tensegrity, ETFE-pillow, space, facade-roof, mediafacade.

Возникнув в Германии и США, тентовая архитектура была воспринята в европейских странах, затем продвинулась в Японию, на Ближний Восток (прежде всего в Саудовскую Аравию) и позднее в страны Азии. В последние десятилетия XX в. крупными объектами тентовой архитектуры стали павильоны международных выставок, прежде всего ЭКСПО, олимпийских комплексов, аэропортов. В год Миллениума возникли грандиозные тентовые артефакты «Купол Тысячелетия» в Лондоне и Ботанический сад «Эдем» в Корнуолле, фактически предопределившие

Мыскова Ольга Владимировна — кандидат архитектуры, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (технологии, дизайн, искусство), доцент
E-mail:

Казусь Екатерина Игоревна — БИМ-Ассоциация, архитектор
E-mail:

Myskova Olga — candidate of architecture, Russian State University named after A.N. Kosygin (technology, design, art), associate Professor
Kazus` Ekaterina — BIM Association, architect

дальнейшие пути развития этого направления архитектуры XXI в. Тогда же появился и термин, обозначивший этот феномен, — «тентовая архитектура»¹, получивший вскоре международное признание². Легкие тентовые структуры, позиционируемые как новое «современное движение», сближая архитектуру и дизайн, ведут к миру быстровозводимых архитектурных объектов, открытых к трансформации в контексте динамичного развития общества, обеспечивая решение актуальных вопросов энергосбережения и экологии.

Исходной базой для создания произведений современной тентовой архитектуры явилось массовое производство инновационных стекловолоконных материалов для тентовых покрытий — усовершенствованных тканей ПВХ (поливинилхлорид), PTFE (политетрафторэтилен) и пленок ETFE (этилентетрафторэтилен), высокопрочных и устойчивых к атмосферным воздействиям в разных климатических зонах со сроком службы 30–50 лет. Они способны без ущерба выдерживать экстремальные условия, в том числе ветры, включая тропические штормы и ураганы 5-й категории, многократные циклы замерзания-оттаивания. Ткань PTFE, обладая светопрозрачностью до 35 % и чрезвычайно стойкими цветовыми характеристиками, ввиду высокой гибкости хорошо подходит для трансформируемых покрытий. Пленка ETFE и многослойные пневматические системы (подушки) из нее осуществили подлинный переворот в архитектурном мышлении. Применение этого материала с уникальными антиадгезионными свойствами (самоочищается дождем на 99 %), пропускающего 94–97 % видимого света и 83–88 % в его ультрафиолетовом диапазоне, задерживающего инфракрасное излучение, позволяет снизить энергопотребление на освещение, обогрев и кондиционирование зданий. Эластичность пленки, вес которой составляет 1 % от веса стекла, допускает широкие возможности комбинирования форм, перекрытие больших пролетов без дополнительных несущих элементов, придает архитектурным формам исключительную легкость.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Мыскова О.В. Тентовая архитектура на рубеже XX и XXI веков // Технологии строительства. 2003. № 2. С. 134–137.

² Drew Ph. *New Tent Architecture*. London: Thames & Hudson, 2008.

³ Forster B., Mollaert M. *European Design Guide for Tensile Surface Structures*. Brussel: TensiNet, 2004. P. 6.

В имеющихся публикациях в том или ином аспекте затронуты вопросы взаимосвязи новых материалов тентовой архитектуры и меняющихся технологий их применения с поисками новых форм сооружений, новых возможностей организации пространства, изменения роли фасадов и тектоники произведений. Среди них выделяются работы зарубежных авторов Б. Форстера и М. Молларт (2004), Ф. Дрю (2008), Ди Тиан (2011), отечественные обзорные публикации В.А. Скопенко (2010), С.Н. Кривошапко (2015), П.Г. Еремеева (2015), А.А. Гаврилиной (2016), И.С. Ожигановой (2016). Однако в совокупности они ограничиваются фактическим материалом, не выходящим за рамки 2008 г., в связи с чем актуальные события 2010-х гг., новые произведения, отражающие движение в тентовой архитектуре последних лет, требуют рассмотрения.

Для выявления тенденций, складывающихся на современном этапе тентового строительства, весьма полезными оказываются информационные сетевые ресурсы, в данном случае сайты изданий «Architect Magazine», «Architekturzeitung», «The Architect's Journal», новостного портала «ArchiDaily», крупнейших архитектурных компаний «Ove Arup & Partners», «Herzog & de Meuron Architekten», «Gerber Architekten», «KieranTimberlake Associates», «Populous», ведущих мировых производителей тентовых материалов «Birdair Inc.», «MakMax Group», «Strukturflex», международной ассоциации «TensiNet», объединяющей участников рассматриваемого процесса, и ряда других.

Основоположник тентовой архитектуры Ф. Отто в предисловии «Поиск формы» к изданной в 2004 г. ассоциацией «TensiNet» книге, которое стало своеобразным кредо этой ассоциации, писал: «Наши времена требуют легких, более энергосберегающих, более мобильных и более адаптируемых, т.е., более естественных зданий. Это логически ведет к дальнейшему развитию легких конструкций, тентовых сооружений... Завтрашняя архитектура снова будет минимальной архитектурой»³. Возможно, к 2020 г. названное Ф. Отто «завтра» уже приблизилось, поскольку даже небольшая группа возникших после 2004 г. сооружений тентовой архитектуры свидетельствует, что за промелькнувшие годы архитектура прошла в этом направлении не только значительный путь, но сформировала пласт произведений, которые дают основание трактовать их определенным этапом современной истории архитектуры.

* * *

Наиболее, казалось бы, традиционный подход к организации пространства с использованием тента-крыши демонстрирует амфитеатр «Arkansas Music Pavilion» в Роджерсе (США, «CORE» и «Tatum-Smith»), возникший в 2005 г. как концертная площадка под открытым небом.

После ее приобретения Центром искусств Уолтона был построен постоянный тентовый амфитеатр на 3000 чел. (2014), ставший крупнейшим и одним из главных концертных центров США (илл. 1). Тентовую кровлю аудитории со стационарными зрительскими местами поддерживает включающая вантовые растяжки конструкция на стальных опорах. Скульптурные формы сооружения с контрастно противопоставленными поднимающимися и перевернутыми светопрозрачными конусами — соединение шатра и зонта — из ткани PTFE имеют схематическим прототипом покрытие транспортного терминала «Rosa Parks Transit Center» в Детройте (2009) по проекту «FTL Design Engineering Studio», но образуют большую площадь поверхности. Вместо прежней музыкальной площадки возникло отличающееся образностью драматургически динамичное произведение архитектуры. Благодаря отсутствию стен и раскрытию во внешнее пространство, амфитеатр с учетом его акустических свойств позволяет включить в концертное событие также до 4000 чел., свободно расположившихся «на траве». Эта системно организованная дополнительная пространственная среда концертного амфитеатра стала очевидной новацией.

Аналогичный прием включения тентового сооружения в пространственный контекст, в данном случае дополнивший уже существовавшее спортивное поле с трибунами, использован в 2016 г. при

ИЛЛЮСТРАЦИИ

1. Музыкальный павильон Арканзаса (Arkansas Music Pavilion) в Роджерсе, США. «CORE Engineer», «Tatum-Smith Engineers» и «Crossland Construction». 2014. Общий вид

2. Стадион «SMS Equipment Stadium» в Форт Мак-Мюррей, Канада. «HOK Architects» и «Read Jones Christofferson Ltd». 2014–2016. Покрытие концертного пространства





реконструкции стадиона «SMS Equipment Stadium» в Форт Мак-Мюррей (Канада, «HOK Architects» и «Read Jones Christofferson Ltd») (илл. 2). Поставленная задача — создать независимый от погодных условий пластически выразительный объект для праздничных представлений, концертов и общественных мероприятий, открытый как к трибунам, так и к спортивному полю, и, возможно, допуская зрителей «на траве», — предопределила форму взметнувшейся волнообразной тентовой конструкции, укрывшей многофункциональную сцену. Отталкиваясь от образа подвижного в своих цветовых переменах северного сияния, ее протяженный свободно раскрытый в пространстве объем, создав метафорическую точку сильного визуального интереса, стал фокусом комплекса. Протяженные ленты тентового навеса площадью 2787 кв. м из ткани PTFE, поддерживаемые стальной несущей конструкцией, изогнуты, огибая трубчатые фермы, и выражая внутреннюю упругость сооружения, позиционируют его не техническим, а архитектурным произведением.

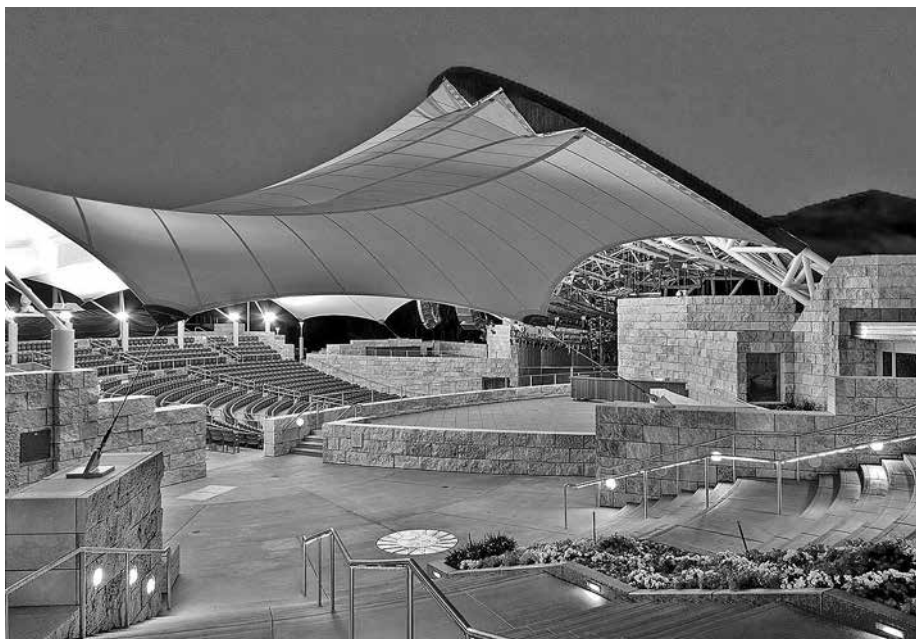
Достижимое сочетание привлекательности и функциональности демонстрирует Музыкальный павильон в Сан-Валли (США, «Ruscitto/Latham/Blanton Architectura P.A.»), построенный в 2008 г. рядом с легендарной гостиницей «Sun Valley Lodge», известной как первый американский горнолыжный курорт Солнечной долины (илл. 3). Этот многофункциональный центр исполнительских искусств — концертный зал мирового уровня под открытым небом — действует лишь в течение летнего сезона, что предопределяет наличие стационарного и сезонного тентового покрытия, которое на зиму снимается и складывается во избежание высоких снеговых нагрузок, достигающих в этом регионе 200 фунтов на квадратный фут. Между стационарной и раскрываемой структурами по линии авансцены установлена основная 200-футовая опорная арочная ферма, удерживающая веерообразные стальные ванта, несущие

оба покрытия. В постоянном гиперболическом покрытии сцены и арьерсцены для размещения оркестра и хора использованы поддерживаемые вантами и дополнительной наклонной 170-футовой арочной фермой деревянные панели, защищенные медной кровлей. Такая предварительно напряженная система вант с деревянной оболочкой, запроектированная при консультации фирмы «FTL Design Engineering Studio», стала первой в США. Зрительный зал на 1500 мест покрывает примыкающая к сценической части сезонная седловидной формы мембрана, для облегчения веса выполненная из светопрозрачной ткани ПВХ, поддерживаемой той же системой вант, которые тянутся от основной арочной фермы через изогнутые балки и Y-образные колонны. В сочетании с низкими стенами павильона из травертина, доставленного из карьеров недалеко от Рима, легкое парящее тентовое покрытие пространства зрительного зала, раскрытого к ландшафту высокогорной долины, получает классически «звучащий» архитектурный образ, метафорически вступающий во взаимодействие с отдаленным скальным пейзажем.

ИЛЛЮСТРАЦИИ

3. Музыкальный павильон в Сан-Валли, США. «Ruscitto / Latham / Blanton Architectura P.A.» при консультации «FTL Design Engineering Studio». 2006–2008. Сезонное покрытие

4. Амфитеатр коммуны Лавис в Трентино, Италия. «Kugel + Rein Architects and Engineers». 2012. Фрагмент раздвижного тентового покрытия



Приведенные примеры уникальных сооружений со стационарной тентовой кровлей принципиально отличаются от использованных Ф. Отто еще в 1960-х гг. вертикально подвижных тентовых покрытий террасы «Palm Beach Casino» в Каннах (Франция), театра под открытым небом в отреставрированных руинах монастыря в Бад Херсфельде (ФРГ), бассейнах в Париже и Лионе, и в других объектах тех лет, где седловидные мембраны, подвешенные на изогнутой по параболической кривой мачте, могли, опускаясь по вантам, раскрываться, обеспечивая сооружениям временную кровлю. Сотрудник Ф. Отто инженер М.Б. Раш в покрытии Театра под открытым небом в Вильце (Люксембург) (1988), размещенном в окружающем замок XVIII в. парке, радикально модифицировал этот тип трансформации, придав ему иное направление движения — ткань тентового покрытия по горизонтальным веерным вантам, складываясь, втягивалась в гараж за зрительскими местами амфитеатра, при радикальном отсутствии стен открывая зал не только окружающему парку, но и небу.

Подобное, единичное для 1980-х гг., решение в 2000–2010-х гг. получило весьма активное развитие в европейских странах, где были реализованы разнообразные по конструктивному решению проекты тентовых концертных амфитеатров, размещенных в пространстве природных достопримечательностей, архитектурных памятников или исходя из исторической практики. Так, сценические действия под открытым небом в коммуне Лавис итальянского Трентино — давняя традиция, часть культурной самобытности этой общины. Сравнительно небольшой амфитеатр на 800 мест, построенный там по проекту «Kugel+Rein Architects

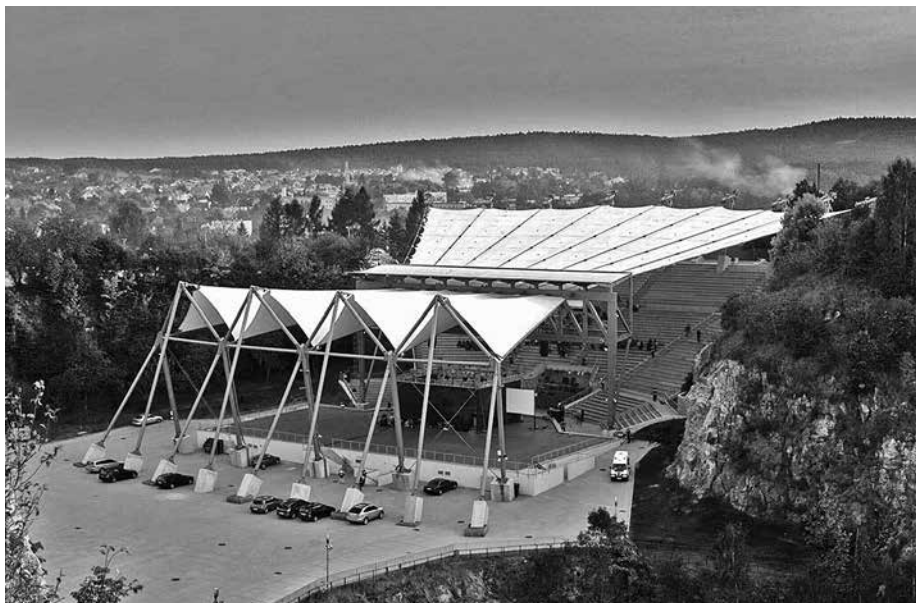


and Engineers» (2012), оборудован раздвижной по веерным вантам легкой мембраной из ПВХ площадью 560 кв. м (илл. 4), в упрощенном варианте повторяя схему седлообразной кровли павильона в Сан-Валли. Пластичная форма трансформируемого покрытия этого амфитеатра, расположенного в городском парке на фоне отвесных гор, живописно включена в великолепную горную панораму, при раскрытом покрытии воспринимаемую также и со зрительских мест.

Хотя в амфитеатре в Кадзельня близ Кельце (Польша, «IMB Asymetria», «k2 engineering») (2010) использован аналогичный принцип трансформации тентового покрытия, композиционное решение его, обусловленное ситуацией и вместимостью аудитории, иное. Крупный амфитеатр на 5500 зрителей вписан в пространство скального ландшафта бывшего известнякового карьера, ныне геологического заповедника, отражая идеологию рекультивации, реализованную ранее проектом Ботанического сада «Эдем» в Корнуолле. Помимо стационарного складчатого покрытия над сценой (площадью 1500 кв. м) объект включает раздвижную трапецеидальную в плане тентовую кровлю

ИЛЛЮСТРАЦИИ

5. Амфитеатр в Кадзельня, Польша.
«IMB Asymetria», «k2 engineering».
2010. Общий вид



из ткани PTFE над аудиторией площадью около 2700 кв. м, также используемую только летом (илл. 5). Поскольку, в отличие от амфитеатров в Сан-Валли и Трентино, это покрытие плоское, его раскрытие-закрытие, определяя уникальность конструкции сооружения, строится не по замкнутой системе, а по скругленному сечению, при котором краевой трос выдвижной мембраны в процессе складывания отклоняется внутрь. Гараж для мембраны размещен на стабилизированной вантами главной внутренней раме пролетом 35 м. Конструкция покрытия-складки, определяющего облик сооружения с северо-востока, включает подчеркнуто brutальные анкерные опоры, открыто демонстрирующие их силовую функцию.

От названных выше примеров отличается схема трансформации, использованная в тентовом покрытии амфитеатра под открытым небом «Крепость-Арена» на 4500 мест в Куфштайне (Австрия, «Kugel+Rein Architects and Engineers») (2006). Амфитеатр разместился непосредственно на южной стороне построенного на доломитовой скале большого средневекового замка Йозефсбург, функционирующего в настоящее время как музей. Круглогодичное проведение концертов здесь обеспечено плоским раздвижным циркульным тентом-мембраной, накрывающим пространство площадью 2000 кв. м (илл. 6, 7). Эта форма определена конфигурацией невысокой стены исторического строения, являющейся лишь ограждением, ограничивающим отведенную для создания амфитеатра площадку. Покрытие из белой ткани PTFE, сравнимое с гигантским зонтом, обеспечивая значительную естественную освещенность, даже в развернутом виде сохраняет зрителю ощущение пребывания на открытом воздухе. Подобное техническое решение в 2005 г. уже было реализовано на стадионе «Коммерцбанк-Арена» во Франкфурте-на-Майне («Schlaich Bergermann Partner»), тентовая мембрана которого, выполненная по принципу тенсегрити, перемещаясь по вантам от внутреннего опорного кольца к внешнему, накрывает все пространство игрового поля.

«Велосипедное колесо» тентовой конструкции амфитеатра в Куфштайне с мембраной на 10-метровой высоте представляет собой многогранное кольцо диаметром 52 м на легких опорах, скрепленных в нижнем регистре тросами. Другая несущая система, размещенная в верхней части опор, формируя вантовые фермы, включает направляющие тросы для крепления раздвижной мембраны, которая может из сложенного состояния в центре конструкции раскрываться к ее периметру, обеспечивая необходимое укрытие пространства зрительного зала. Воспринимая ветровые нагрузки, конструкция передает их вертикально на фундамент. Тентовое покрытие, поддерживающее акустику пространства, в вечернее время используется как экран для отображения динамических

световых проекций, в том числе цветомузыкальных композиций, обогащая концертные возможности арены.

Амфитеатр «Daily's Place» в Джексонвилле (США) (2017) является примером трансформации с использованием унифицированных раздвижных ограждающих мембранных панелей (стен). Этот масштабный комплекс, построенный по проекту «Populous» (при консультации «Walter P. Moore and Associates, Inc»), исходя из принципа «два в одном», объединил спортивный и концертный объекты. Первоначальным импульсом к его появлению стала необходимость расширения футбольного стадиона «TIAA Bank Field» на 6000 зрителей, поскольку для круглогодичных тренировок домашней команде «Ягуары Джексонвилла» потребовалось дополнительное защищенное от непогоды светлое помещение. Однако городской муниципалитет, учитывая, что район набережной реки Сент-Джонс, где расположен стадион, традиционно является излюбленным местом концертов, театральных и других действий, уже планировал здесь строительство концертного зала. В итоге был запроектирован первый в США и единственный в своем роде культурный центр с первоклассным

ИЛЛЮСТРАЦИИ

6, 7. Крепость-Арена в Куфштайне, Австрия. «Kugel + Rein Architects and Engineers». 2006





концертным амфитеатром и тренировочным футбольным полем Flex Field стандартного размера.

При этом оказалось, что Flex Field идеально подходит не только для спортивных целей, но и для танцевальных выступлений, фестивалей, концертов и др., причем площадь и объем амфитеатра «Daily's Place» по размерам не уступают полю — его партер вмещает до 4000 чел., бельэтаж и балкон — до 1000 чел. каждый. Крупные ворота ангарного типа с северной и южной сторон поля позволяют использовать его независимо или, раскрывая их и в сторону амфитеатра, и в сторону стадиона, формировать уникальное единое пространство амфитеатра и тренировочного поля, резервируя, кроме того, «перетекающую» пространственную связь амфитеатра с южной зоной стадиона. Ощущение единого пространства всего комплекса предопределяет конструктивно общее перекрытие обоих объемов, система стальных ферм которого несет светопрозрачную плоскую тентовую мембрану из ткани PTFE. Благодаря свойствам кровли, интерьер «Daily's Place» при полном отсутствии окон насыщен солнечным, дневным светом, при том, что подвешенные к фермам каркаса раздвижные панели фасада, выполненные из той же ткани PTFE, обеспечивая в раскрытой позиции поток свежего воздуха, создают посетителям концертного зала и поля Flex Field не только ощущение открытого неба, но и визуальную связь с городским окружением и пространством речного ландшафта (илл. 8).

Раскрывая стены здания, трансформации формируют в этом сооружении новую динамичную архитектурно-пространственную среду,

транслирующую внешние экологические, исторические и иные послания, фактически дополняя тем самым архитектурный образ самого тентового произведения. Рисунок ферм, определяющий внешний облик сооружения, проступая в интерьере силуэтом на просвечивающей ткани, напоминает о вдохновившей их создание конструктивной графике известного моста Харта через Сент-Джонс. Образная выразительность гигантского, но легкого архитектурного создания особенно проявляется с наступлением сумерек, когда все сооружение светится изнутри.

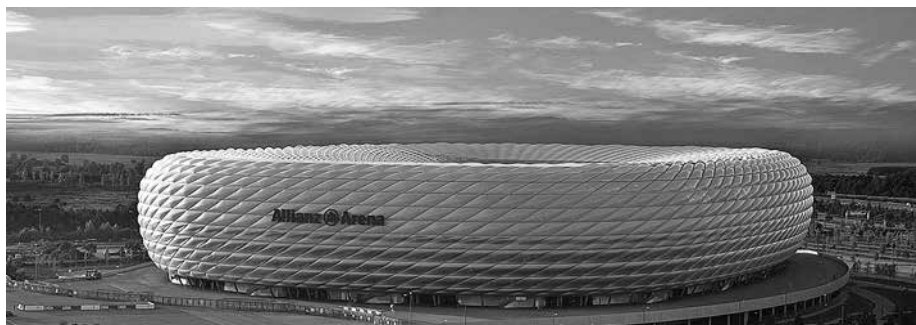
Внедрение в практику строительства высокопрочных пленок ETFE и мембранных подушек, изготовленных из этого материала, совершило существенный поворот в тентовой архитектуре, допустив формирование фасадов и фасадов-крыш зданий. После уникальных геодезических куполов-биомов Ботанического сада «Эдем», несущих гигантские многометровые прозрачные подушки ETFE (2000), важной вехой в этом направлении явился Футбольный стадион «Allianz-Arena»

ИЛЛЮСТРАЦИИ

8. Амфитеатр *Daily's Place* и *Flex Field* в Джексонвилле, США. Архитектурная компания «*Populous*» при консультации «*Walter P. Moore and Associates, Inc.*». 2017. Зрительный зал

9. Стадион «Альянс-Арена» в Мюнхене, Германия. Бюро «*Herzog & de Meuron Architekten*». 2005. Общий вид





на 66 тыс. зрителей в Мюнхене (ФРГ, «Herzog & de Meuron»), построенный в 2005 г. по итогам конкурса 2001–2002 гг. (илл. 9).

Архитектурная концепция авторов проекта заключалась в том, чтобы, разместив здание в открытом городском ландшафте, представить его в виде светящегося объекта, своеобразного экспоната, непрерывно изменяющего цвет и яркость. С этой целью здание стадиона получило гигантский фасад-крышу общей площадью 64 тыс. кв. м, для формирования которого использованы подсвечиваемые белые ETFE-подушки, каждая площадью около 35 кв. м. Не отступая от традиционно привычной для тентового сооружения криволинейной скульптурности здания, средняя часть его объема существенно выступает относительно базы и верхнего периметра, создав скругленную форму фасада, метафорически весьма разнообразную (автомобильная покрывка, бублик, кольцо и т.д.). Вследствие этого при протяженном овальном плане длиной 258 м здание 50-метровой высоты визуальнo воспринимается гораздо меньшим, принципиально отрицая тем самым монументализм, не свойственный тентовой архитектуре. Программируемая подсветка ETFE-подушек — синяя, красная, красно-синяя, информирующая об игре того или иного резидентского клуба, просматривается с баварских Альп в 100 км южнее Мюнхена, соответствуя замыслу авторов.

Ромбовидные подушки ETFE фасада-крыши здания размещены на металлическом каркасе, выполненном в виде сетки из дугообразных диагональных направляющих и горизонтальных поясов, прикрепленных к перекрытиям и колоннам трибун. Геометрический рисунок их расположения отдаленно напоминает узор гиперболоидов В.Г. Шухова, символизируя легкость сооружения. Тем самым эта достопримечательность заявила свою генетическую связь с другим выдающимся архитектурным произведением Мюнхена — Олимпийским стадионом 1972 г. Ф. Отто, вложившего в его сетчатую конструкцию идеи гениального русского инженера.

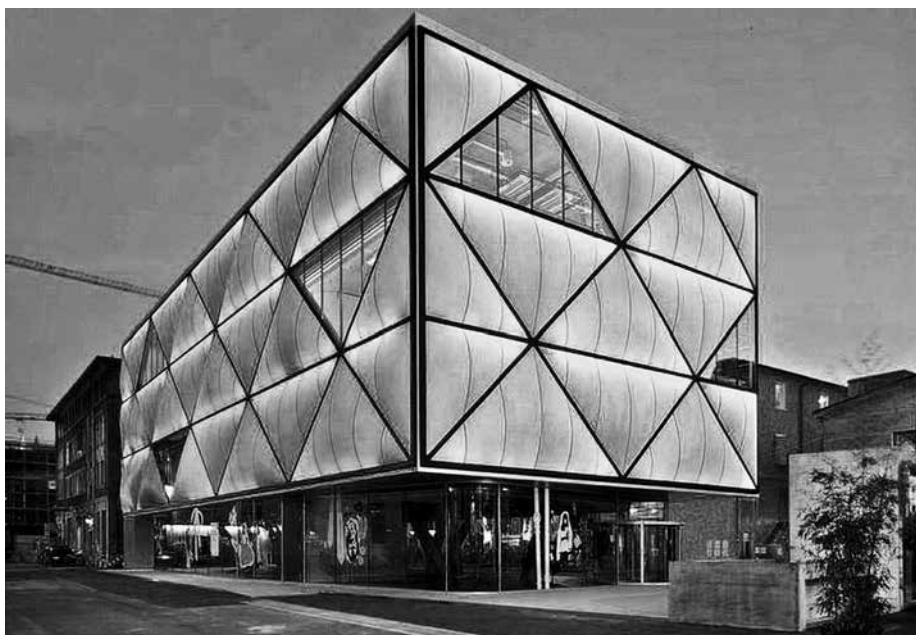
Из-за сложной геометрии формы фасада-крыши только две из общего количества 2760 подушек имеют одинаковую форму. Составляя

оболочку здания, они отнюдь не статичны — не только ограждают, но и обеспечивают вентиляцию стадиона, для чего предусмотрено автоматическое открытие (поворот) 19-и из них, размещенных в верхней части сооружения (в зоне крыши). Поскольку давление воздуха в каждой из подушек регулируется автоматически в соответствии с изменяющимися ветровыми и снеговыми нагрузками, фасад-крыша стадиона, в отличие от традиционных архитектурных произведений, находится в постоянном движении, хотя и не всегда улавливаемом глазом.

В отличие от продемонстрированного в «Allianz-Arena» линейного геометризма составляющих его фасад-крышу элементов при криволинейной форме всего объема, здание Торгового центра «La Miroiterie» в Лозанне (Швейцария, «Brauen Wälchli Architectes») (2007), фасады которого также выполнены из мембранных ETFE-подушек, представлено четко урегулированной структурой (илл. 10). Магазин расположен в бывшем промышленном квартале, в архитектуре зданий которого преобладают функционалистски-прямоугольные формы

ИЛЛЮСТРАЦИИ

10. Торговый центр «Miroiterie» в Лозанне, Швейцария. «Brauen Wälchli Architectes». 2006–2007. Общий вид



начала XX в. Намеренная угловатость фасада, заключенного в металлическую прямоугольную раму, способствует тому, что новое здание тактично включилось в этот градостроительный контекст его частью. Фасады верхних этажей облицованы белыми полупрозрачными треугольными мембранными подушками, укрепленными в диагональной несущей конструкции, в случайном порядке включив несколько остекленных окон аналогичной равносторонней конфигурации. Для рассеянного освещения интерьеров внешний слой подушек с воздушными камерами различного давления выполнен из ткани PTFE, а внутренние — из ETFE. Сварные швы их отдельных полотен подчеркивают пластику поверхности подушек.

Ночью светящиеся подушки, становясь лучезарным пространственным ориентиром, подчеркивают эффект «парения» здания над остекленным первым этажом, создавая иллюзию «растворения» фасадов. Выбор максимально легких фасадных материалов был обусловлен возведением здания над построенным ранее подземным паркингом во избежание излишней нагрузки на его конструкции. Внутренние V-образные железобетонные опоры, наклоном под разными углами формирующие древовидную структуру, отражая конструктивную связь обоих помещений, передают нагрузки на центральные колонны гаража. Их скульптурное присутствие, просматривающееся сквозь единичные окна, и перекличка с диагоналями мембранных фасадов, несмотря на четкую геометричность, формируют метафору здания-организма.

Наиболее последовательно тема единого фасада-крыши реализована в сочетающем инновационные технологии с необычайной символикой Национальном плавательном комплексе «Водяной Куб» на 17 тыс. зрителей в Пекине (КНР, «Ove Arup & Partners»). При проектировании здания, построенного для Олимпийских игр 2008 г., ставилась задача создать произведение, в максимально возможной степени вызывающее образ воды. Поскольку две трети квадратного в плане (со стороной 170 м) прямоугольного объема здания находятся под землей, реализация этого замысла осуществлена благодаря верхней 30-метровой надземной части сооружения (илл. 11). Имея в виду идеи создателя абсолютной температурной шкалы лорда Кельвина относительно возникающей формы мыльных пузырей в их массе, «Ove Arup & Partners» сконструировал несущую структуру здания, исходя из концепции минимальной конфигурации, которую в 1993 г. предложили последователи лорда физики Д. Уэйр и Р. Фелан из Тринити-колледжа (Дублин).

Во внешней и внутренней части каркаса здания (с зазором между ними в 3–5 м для технологического обслуживания) размещены 4000 мембранных подушек, каждая размером от 1 до 70 кв. м из пленки ETFE различной конфигурации (общей площадью 100 тыс. кв. м): 8 стандартных типов для крыши и 16 — для фасадов. Эти подушки в виде упакованного

в пространственную стальную раму множества мыльных пузырей, символизируя воду, приобрели связанный с природой органический образ. Возникшая в результате математического расчета визуально хаотичная игра форм фасада-крыши генерирует ощущение некоей фундаментальной красоты.

Столь массивное использование материала ETFE обеспечило создание весьма энергоэффективного сооружения — на освещении интерьеров его фасад обеспечивает экономию электроэнергии до 55%, кроме того, использование тепловой радиации сокращает потребление энергии на 30%. На фольгу ETFE-подушек разных фасадов нанесена фритта (покрытие) той или иной структуры, чем достигаются их меняющиеся оттенки в зависимости от положения солнца. В ночное время феерическая подсветка подушек создает удивительные световые эффекты.

Применение в фасадных решениях тентовых сооружений тканей PTFE и ПВХ, панелей из них — от плоских до объемных, подчас весьма зрительно

ИЛЛЮСТРАЦИИ

11. Водяной Куб (WaterCube) в Пекине, Китай. «Ove Arup & Partners». 2006–2008. Общий вид

12. Отель «Бурдж-эль-Араб» в Дубае, ОАЭ. Архитектор Томас Райт. 1999. Общий вид





динамичных, как за счет пластики, так и за счет компьютеризированной подсветки, также дало примеры произведений, обладающих художественной значимостью. Это направление во многом обозначил еще отель «Бурдж-эль-Араб» в Дубае (ОАЭ) (1999) архитектора Т. Райта, ярко подчеркнув метафоричность, присущую произведениям тентовой архитектуры (илл. 12). Мембранному фасаду (площадью 7500 кв. м) этого 321-метрового гиганта придан впечатляющий образ паруса древнего арабского дау. Возможность такой формы обусловлена V-образным планом отеля и пространством его крупнейшего в мире атриума, который необходимо было затенить. Поднятый ввысь «парус», акцентировавший пластику объема здания, образован состыкованными мембранными панелями, опирающимися на 12 многометровых горизонтальных ребер. Фасад, для изготовления мембран которого использована специально изготовленная плотная ткань PTFE с 2–3-процентным светопропусканием, обеспечил комфортное освещение обращенного на юг атриума. Ночной подсветкой цвет «паруса» может меняться на желтый, зеленый, фиолетовый, красный или их разнообразные сочетания, а также мигрировать по высоте, формируя динамичные цветокомбинации грандиозного медиафасада.

Метафоричность, заданная фасадом отеля «Бурдж-эль-Араб», нашла отклик в фасадах паркингов. Эти многоэтажные объекты транспортной инфраструктуры в настоящее время все чаще становятся акцентами, а подчас и доминирующими композиционными элементами общественных центров. Обладая большой фасадной поверхностью, они требуют

не только активного затенения, но и, в силу возникшей градостроительной значимости, — архитектурно-выразительной привлекательности. Динамичный метафорический образ волны как символа непрерывного движения, корреспондированный со специфическим современным «скоростным» восприятием масштабного городского пространства, средствами тентовой архитектуры оказался воплощенным в выразительных кинетически-скульптурных фасадах таких зданий.

Более ранний пример паркинга в Кардиффе (Великобритания, архит. С. Браунриг и «Ove Arup & Partners») (2008), представляющий собой простой прямоугольный объем 98-метровой длины, достопримечателен драматической экспозицией «прокатывающейся» по его фасаду гигантской волны (илл. 13). Эта 20-метровая структура многоэтажного фасада создана высокопрочной ПВХ-тканью с полимерным покрытием, натянутой в каждом уровне парковки на фасонный трубчатый стальной каркас, формируя его волнообразную поверхность. Впечатление непрерывной естественной формы волны от одного яруса фасадной структуры

ИЛЛЮСТРАЦИИ

13. Паркинг в Кардиффе, Великобритания. Архит. С. Браунриг и «Ove Arup & Partners». 2006–2008. Общий вид

14. Парусный и туристический центр Северо-Западного Университета в Чикаго, США. «Perkins+Will». 2014. Общий вид





к другому, возникающее вследствие оптической иллюзии и игры светотени, обеспечено использованием насыщенной синей бегущей подсветки тентовых лент, динамичная интенсивность которой управляется компьютерной программой. Картина такого фасада, воспринимаемая из автомобиля, формирует ситуацию параллелизма действий, при котором один компонент рассматривается в сопоставлении с другим, воплощая своеобразный символический образ места. Кроме того, на горизонте залива Кардифф-Бэй это световое шоу воспринимается непрерывным «маяком».

В парусном и туристическом центре Северо-Западного Университета на берегу озера в Чикаго (США, «Perkins+Will») (2014) этот прием осуществлен иначе, но не менее выразительно (илл. 14). Фасады паркинга, оформленные по периметру своеобразными рамами, экранированы плоскими тенеобразующими вертикальными PTFE-мембранами, установленными под прямым углом к ним на всю высоту здания. На боковом северном фасаде эти мембраны выступают лишь функциональным, хотя и архитектурно-декоративным, элементом. На главном восточном аналогично обработанном фасаде моделированная по высоте альтернативная профилировка тентовых панелей создает ярко выраженный волнообразный объемный рисунок, простирающийся на всю его протяженность, придавая зданию зрительную динамичность и обозначая его специфическую принадлежность.

С этой же тенденцией связан подчеркнуто рационалистичный облик тентового фасада здания Посольства США в Лондоне (2017). Его проект стал итогом конкурса среди 37 претендентов, в финальной

части которого по решению жюри участвовали архитектурные бюро «KieranTimberlake», «Morphosis Architects», «Pei Cobb Freed & Partners» и «Richard Meier & Partners». Конкурс выиграла фирма «KieranTimberlake» (совместно с «Ove Arup & Partners») из Филадельфии, известная приверженностью к проектным экологическим инновациям в архитектуре. Обеспечивая панорамный обзор Лондона, 12-этажный стеклянный куб высотой 65 м с эксплуатируемой крышей размещен на берегу Темзы в центре площадки, окруженной открытым для посетителей парком с прудом, насаждения которого за счет ландшафтного дизайна проникают и в само здание (илл. 15).

Высокоэффективный фасад здания включает многослойное остекление и внешнюю оболочку из светопрозрачных объемных элементов в форме «паруса» из ETFE, спроектированных и изготовленных компанией «Birdair». Эти многофункциональные светопрозрачные мембраны, установленные на каркасе и стальных трубчатых кронштейнах с трех сторон здания, фактически образуют его

ИЛЛЮСТРАЦИИ

15. Посольство США в Лондоне, Великобритания. Архит. Д. Тимберлейк («KieranTimberlake») и «Ove Arup & Partners». 2010–2017. Общий вид (модель)

16. Паркинг Университета Райса в Хьюстоне, США. Архитектор Д. Тимберлейк («KieranTimberlake»). 2015–2017. Общий вид



объемно-орнаментальный фасад. Равномерно распределяя естественный свет, они выполняют функцию пассивного затенения интерьеров. Структурная поверхность мембран в зависимости от погодных условий и положения солнца в течение дня создают зрительный эффект изменения цвета здания. Кроме того, обеспечивая требования энергоэффективности, парусные мембраны, благодаря фотоэлектрическому покрытию, вырабатывают электроэнергию, включаясь в функционирование «умного дома» как элемент его экологической системы. Формируя уникальную пластику фасада, эти «паруса» выделяют здание в структуре города, исключая необходимость особого завершения его верхней части.

Тема волны и паруса не единственная, используемая в фасадных решениях тентовых объектов. Получающий распространение иной подход экспонирует многоэтажный паркинг Университета Райса в Хьюстоне (США) (2017), интегрированный в городской природный пейзаж. Задача архитектора Д. Тимберлейка («KieranTimberlake») состояла в том, чтобы «аккуратно вписать это высокое сооружение в существующий контекст» с окружающей здание дубовой рощей, вязами и с другими строениями кампуса, обеспечив его функционирование в этом ландшафте (илл. 16). Трапециевидные алюминиевые рамы с натянутой полиэстровой тканью PES с полимерным покрытием, установленные на стальных трубах, прикрепленных к конструкциям семиэтажного здания, примыкая к нему и ограничивая солнечную радиацию, в зоне деревьев получают необходимое отклонение. Тем самым они приоткрывают внутреннее пространство, и, создавая стратегические разрывы, обеспечивают естественную



вентиляцию здания. Для визуального слияния фасада с деревьями, пятнами света и тени, которые создают их кроны, использована возможность трафаретной печати на полимерном материале с применением специальных УФ-чернил и технологий, гарантирующих защиту от выцветания и растрескивания под воздействием солнца, ветра и дождя. Принт с повторяющимся мотивом распространенной в Хьюстоне виноградной лозы (графический дизайнер К. Регн) создал фасад, превративший паркинг из рядового объекта инфраструктуры в своеобразную скульптуру. Этот прием позволил не только изменить масштаб здания, но и придать его фасадам и объему в целом выразительную пластичность, достигающую знаковости. Предложенная конструкция предоставляет университету возможность при необходимости изменить графику фасада, заменив существующие тентовые панели без коррекции конструкции самого здания.

Многочисленные примеры использования архитектурной системы тентового скрининга фасадов подобные, например, зданию университетского

ИЛЛЮСТРАЦИИ

17. Музыкальная школа
в Эрфстаде, ФРГ. «Arge Brauhaus
Architekten Graf-Kellner», Компания
Typico. 2014. Общий вид



«Gardner Neuroscience Institute» в Цинциннати или паркингу рынка «Ponce City Market» в Атланте, показывают возможности преобразования невыразительных строений, которыми чаще оказываются именно многоэтажные паркинги, в объекты визуального интереса. Но реально артистичным на их фоне является декоративное решение фасада реконструированной Музыкальной школы в Эрфштадте (ФРГ, «Arge Brauhaus Architekten Graf-Kellner», «Typico») (2014) в виде своеобразного сценического занавеса с характерными складками (илл. 17). Задание предполагало придать невыразительному объему школьного концертного зала на 250 зрителей привлекающий внимание фасад, соответствующий реальной значимости этого музыкально-культурного центра, выделив его в среде кирпичных зданий. Использованная для облицовки фасадов композитная ткань «Stamisol FT» с ПВХ-покрытием, обладающая низкой адгезией и эффектом самоочищения, эффективно затеняя фасад, снижает потребление энергии на содержание здания на 50%. Несущие эту ткань радиально изогнутые сверху и снизу алюминиевые профили установлены параллельно, но со взаимным смещением. Их зажимной механизм, формируя складки ткани, создает драпировку с равномерным натяжением, но выглядящей тем не менее свисающей. Обеспечивающая теплоизоляцию стен фасадная мембрана насыщенного зеленого цвета, мерцая сквозь просвечивающий текстильный фасад, создает эффект глубины его пространства, что особенно проявляется при ночной подсветке. Прозрачная ткань «занавеса», допуская в вечернее время сквозь панорамные окна проявление внутреннего пространства концертного зала, дополняет облик здания неожиданной образной характеристикой.

Динамика фасада, подобная по функции поворачивающимся подушкам мюнхенской «Альянц-Арены», особенно актуальной оказалась для стран Ближнего Востока с его жарким климатом. Именно благодаря этим элементам выразительное образное решение получил фасад одного из важнейших культурных сооружений Саудовской Аравии — нового здания Национальной библиотеки имени короля Фахда в Эр-Рияде (2013). Согласно проекту «Gerber Architekten», получившему на конкурсе 2002 г. первую премию, четырехэтажное квадратное в плане здание включило в свой состав крестообразный объем библиотеки 1970-х гг. Гигантский зал, в котором оказался памятник, покрыт светопрозрачной тентовой кровлей, белые мембраны которой мягко распределяют свет по всему пространству нового интерьера, формируя тем самым новый архитектурный облик интегрированного исторического здания (илл. 18–19).

Ключевым элементом всего периметра здания стал его филигранный фасад с растянутыми на стальной вантовой конструкции ромбовидными белыми мембранами, специально разработанными для нового

здания. Выступая своеобразными символами древних палаток, эти мембраны выполняют функцию традиционных солнечных зонтиков. При наружных температурах до 50°C мембранный фасад, оптимизированный по отношению к солнечной траектории, сочетает тепловую защиту с необходимыми требованиями к освещенности помещений библиотеки, допуская свободный визуальный контакт с окружающим здание пространством. Дополненное многоуровневой вентиляцией и охлаждением пола, это фасадное решение впервые в арабском мире позволило повысить уровень климатического комфорта при значительном снижении энергопотребления.

Аналогичное функциональное решение, также базированное на элементах исторической символики, придало особые выразительные характеристики Футбольному стадиону «Hazza Bin Zayed Stadium» на 25 тыс. зрителей в Аль-Айне (ОАЭ, «Pattern Design Ltd» совместно с «Schlaich Bergermann Partner») (2014). Отразив новый подход, стадион примечателен специализированным тентовым покрытием трибун, впервые в регионе Персидского залива обеспечившим лишь защиту от солнца, в отличие от ранее использовавшейся в местных стадионах европейской водосточной конструкции, избыточной в экстремальных условиях Аравийской пустыни. Изошренная геометрия

ИЛЛЮСТРАЦИИ

18. Национальная библиотека имени короля Фахда в Эр-Рияде, Саудовская Аравия. «Gerber Architekten». 2002–2013. Общий вид

19. Национальная библиотека имени короля Фахда в Эр-Рияде, Саудовская Аравия. «Gerber Architekten». 2002–2013. Интерьер





изогнутой кровли, зрительно невесомо «парящей», обеспечила полное круглогодичное затенение игрового поля и привилегированных трибун юго-западной стороны к 5 час. 45 мин. вечера — времени начала футбольных матчей. По конструкции и монтажу это наиболее сложная часть проекта, поскольку при весе несущих ферм весом до 56 т допуск размеров составлял 3 мм.

Своеобразие стадиона определяет также его фрактальный фасад, включающий более 600 белых PTFE-панелей, действующих благодаря индивидуальной регулировке раскрытия каждой как пассивное охлаждающее устройство, не только затеняя, но и способствуя движению воздуха через стадион. Панели, которые выглядят одинаково (но таковыми являются только 49 из них), размещены на свободно стоящей, окружая трибуны и подтрибунные помещения стадиона, диагональной конструкции из стального профиля, использующей принцип гиперболоидов В.Г. Шухова. Подобная идея независимой от трибун каркасной конструкции, несущей тентовое покрытие стадиона, была предложена инженером Н.В. Канчели еще в 1999 г. в его форпроекте московского стадиона «Спартак». Вслед за стадионом в Аль-Айне, аналогичный прием был использован вскоре при возведении к Чемпионату Европы по футболу 2016 г. стадионов нового поколения «Стад де Люмьер» в Лионе по проекту «Populous» и «Альянс Ривьера» в Ницце по проекту «Wilmotte & Associés SA».

Первоначально фасад в Аль-Айне был запроектирован в расчете на панели GRC (стеклофибробетон, т.е. армированный стекловолокном мелкозернистый бетон), но поскольку они оказались весьма тяжелыми и существенно повышающими стоимость сооружения, приоритет был отдан тентовым материалам. Архитектурное решение этого сооружения предопределил, наряду с ориентацией «Pattern Design Ltd» на инновационный параметрический дизайн, поиск баланса между технологиями, миром природы и уникальной историей места. Поскольку ландшафт оазиса-сада Аль-Айна традиционно известен плантациями финиковых пальм, повторяющиеся мембранные панели своей формой призваны не только символизировать их чешуйки, но в совокупности создать насыщенный экзотикой выразительный образ самой пальмы (илл. 20).

Затеняя здание, регулируя поступление свежего воздуха во внутреннее пространство сооружения, система панелей создает не только комфортные условия для зрителей, но и способствует росту травы на игровом поле. Изменение положения панелей обеспечено программой компьютерного управления, в которой каждая из панелей,

ИЛЛЮСТРАЦИИ

20. Футбольный стадион «Хазза Бин Зайед» (Hazza Bin Zayed) в Аль-Айне, ОАЭ. «Pattern Design Ltd» и «Schlaich Bergermann Partner». 2011–2014. Фрагмент фасада



укомплектованная, кроме того, светодиодными источниками света, имеет собственный «адрес», что позволяет создавать различные цветовые комбинации и символы. Реагируя в сочетании с микрофонами на голоса болельщиков стадиона, панели яркостью и цветом свечения могут отображать то или иное событие, например, забитый гол. Цветовые сигналы используются также для координации потоков зрителей. Тем самым, фасад стадиона функционирует в режиме интерактивного медиафасада, в реальном времени не только меняя облик здания, но и управляя его использованием.

Таким образом, рассмотренные примеры практики строительства 2000–2010-х гг. отчетливо свидетельствуют, что в этот период, отмеченный расширением использования и внедрением инновационных мембранных материалов, в разных странах мира получили развитие несколько новых направлений тентовой архитектуры.

Одно из них, связанное, прежде всего, с развитием типа крупного концертного зала на открытом воздухе, вместимостью до 6000 чел., характеризуется использованием нескольких принципов трансформации тентовых покрытий и фасадов зданий, в результате реализации которых формируется архитектурное пространство нового поколения — создается возможность раскрытия пространства зрительного зала в окружающее его природное или городское пространство, чем обеспечивается не только климатический и визуальный комфорт, но и новое качество восприятия сценического и концертного события.

Другое направление определилось в связи с появлением пленок и подушек EFTE, которые допустили возможность создания из этих элементов энергосберегающих легких фасадов и фасадов-крыш зданий, используемых одновременно как медиафасады.

Третье направление — метафорическое, связано, с одной стороны, с достижением яркой, легко воспринимаемой образности фасадов здания, обеспечивающей его визуальную привлекательность, а с другой, в том числе путем тентового скрининга, способное преобразовать утилитарные объекты в яркие произведения современной архитектуры. При этом функцией самой структуры такого динамичного тентового фасада, часто и медиафасада, является обеспечение необходимых в здании климатических кондиций.

Даже небольшой ряд рассмотренных произведений тентовой архитектуры отчетливо показывает складывающиеся тенденции подхода к их формообразованию. Конкурируя по сложности и долговечности с архитектурными сооружениями традиционных видов, благодаря возможностям быстрого возведения и создания выразительных фасадов, эти здания динамично включаются в современный архитектурный процесс, демонстрируя, что на этом пути еще многое возможно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамян С.Г., Ишмаматов Р.Х. Устройство светопрозрачных покрытий современных зданий и сооружений: материалы и технологии. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. 132 с.
2. Гаврилина А.А. Текстиль в формировании архитектурной среды. М.: БуксМАрт, 2016. 432 с.
3. Еремеев П.Г. Современные конструкции покрытий над трибунами стадионов. М.: Изд-во АСВ, 2015. 236 с.
4. Кривошапко С.Н. Тентовая архитектура // Строительство и реконструкция. 2015. №3. С. 100–109.
5. Мыскова О.В. Современные тентовые сооружения: архитектура и дизайн : монография. М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014.
6. Мыскова О.В. Тентовая архитектура на рубеже XX и XXI веков // Технологии строительства. 2003. №2. С. 134–137.
7. Ожиганова И.С. Особенности формообразования архитектурных объектов на основе мембранных систем [Электронный ресурс] // Архитектура и современные информационные технологии. Международный электронный сетевой научно-образовательный журнал. 2016. №2 (35). Режим доступа: <http://www.marhi.ru/AMIT/2016/2kvart16/ozhig/abstract.php> (дата обращения: 25.10.2019).
8. Скопенко В.А. Тентовая архитектура: «индустриальные» возможности // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. №3. С. 64–69.
9. Скопенко В.А. Тентовая архитектура: «оригинальный» эпилог // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. №4. С. 89–95.
10. ETFE: прозрачный, гибкий, прочный // Здания высоких технологий. 2013. Осень. С. 98–100.
11. Allianz Arena [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.herzog-demeuron.com/index/projects/complete-works/201-225/205-allianz-arena.html> (дата обращения: 25.10.2019).
12. Allianz arena — futuristic membrane architecture for unique moments [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://seele.com/references/allianz-arena/> (дата обращения: 25.10.2019).
13. Amphitheater Lavis [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.arch22.de/?portfolio=lavis> (дата обращения: 25.10.2019).
14. Arkansas Music Pavilion [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.birdair.com/projects/arkansas-music-pavilion> (дата обращения: 25.10.2019).
15. Cardiff Bay Multi Storey Car Park [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ajbuildingslibrary.co.uk/projects/display/id/4240> (дата обращения: 25.10.2019).
16. Concert venue canopy design inspired by the Northern Lights [Электронный ресурс] // Construction Canada. 2015. January. Режим доступа: <https://>

- www.constructioncanada.net/concert-venue-canopy-design-inspired-by-the-northern-lights/ (дата обращения: 25.10.2019).
17. Dailys Place Amphitheater and Flex Field [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://populous.com/project/jacksonville-jaguars-amphitheater-and-flex-field> (дата обращения: 25.10.2019).
 18. Di Tian. Membrane Materials and Membrane Structures in Architecture [Электронный ресурс]. The University of Sheffield, School of Architecture, 2011. 91 p. Режим доступа: <https://www.academia.edu/16616174/Thesis--di-tian1> (дата обращения: 25.10.2019).
 19. Drew Ph. New Tent Architecture. London: Thames & Hudson, 2008. 208 p.
 20. ETFE façade for the US Embassy in London. Режим доступа: <https://www.mak-max.com/news/2019/03/01/48> (дата обращения: 25.10.2019).
 21. Forster B., Mollaert M. European Design Guide for Tensile Surface Structures [Электронный ресурс]. Brussel: TensiNet, 2004. 354 p. Режим доступа: https://www.tensinet.com/files/Design_Guide/00-tensinet-introforeword.pdf (дата обращения: 25.10.2019).
 22. Fortress Arena Kufstein [Электронный ресурс] // Architect. 2013. July. Режим доступа: <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/fortress-arena-kufstein> (дата обращения: 25.10.2019).
 23. Goldsmith N. SKIN: Bio-membranes in Buildings [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://independent.academia.edu/NicholasGoldsmith> (дата обращения: 25.10.2019).
 24. Hazza Bin Zayed Stadium [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.archdaily.com/604755/hazza-bin-zayed-stadium-pattern-design> (дата обращения: 25.10.2019).
 25. King Fahad National Library [Электронный ресурс] // Gerber Architekten. Режим доступа: (дата обращения: 25.10.2019).
 26. London Embassy Solar Façade [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pvilion.com/londonembassy> (дата обращения: 25.10.2019).
 27. National Aquatics Center (Water Cube) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arup.com/projects/chinese-national-aquatics-center> (дата обращения: 25.10.2019).
 28. New Embassy Outer Envelope to Feature ETFE Facade Sails [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.birdair.com/projects/embassy-us-london> (дата обращения: 25.10.2019).
 29. Northwestern University [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://flexfacades.com/projects/northwestern-university/> (дата обращения: 25.10.2019).
 30. Open Air Theatre in Wiltz [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=3742> (дата обращения: 25.10.2019).
 31. Printed Tensile Cladding at Rice University [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kierantimberlake.com/posts/view/443> (дата обращения: 25.10.2019).

32. ProjektKadzielniaAmphitheatre [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=4538> (дата обращения: 25.10.2019).
33. Sun Valley Pavilion [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://archello.com/project/sun-valley-pavilion> (дата обращения: 25.10.2019).
34. Textilfassade der Musikschule Erfstadt [Электронный ресурс] // Architektur Zeitung. 2015. 4 November. Режим доступа: <https://www.architekturzeitung.com/innovation/96-fassade/2664-textilfassade-der-musikschule-erftstadt.html> (дата обращения: 25.10.2019).
35. The Increasing Importance of Durability [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.structurflex.com/increasing-importance-durability/> (дата обращения: 25.10.2019).
36. The work of Frei Otto [by] Ludwig Glaeser. New-York: The Museum of Modern Art, 1972. 128 p.
37. US Embassy Building London [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.e-architect.co.uk/london/us-embassy-building-london> (дата обращения: 25.10.2019).
38. Wieser Ch. Luftkissenarchitektur: Geschäftshaus «La Miroiterie» in Lausanne von Brauen + Wälchli // Werk, Bauen + Wohnen. 2008. № 95. S. 30–35.

REFERENCES

1. Abramian S.G., Ishmametov R.Kh. *Ustroistvo svetoprozrachnykh pokrytii sovremennykh zdanii i sooruzhenii: materialy i tekhnologii*. Volgograd: VolgGTU, 2017. 132 p.
2. Gavrilina A.A. *Tekstil' v formirovanii arkhitekturnoi sredy*. M.: BuksMArt, 2016. 432 p.
3. Ereemeev P.G. *Sovremennye konstruksii pokrytii nad tribunami stadionov*. M.: Izd-vo ASV, 2015. 236 p.
4. Krivoshapko S.N. Tentovaia arkhitektura // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiia*. 2015. № 3. P. 100–109.
5. Myskova O.V. *Sovremennye tentovye sooruzheniia: arkhitektura i dizain : monografiia*. M.: FGBOU VPO "MGUDT", 2014.
6. Myskova O.V. Tentovaia arkhitektura na rubezhe XX i XXI vekov // *Tekhnologii stroitel'stva*. 2003. № 2. P. 134–137.
7. Ozhiganova I.S. Osobennosti formoobrazovaniia arkhitekturnykh ob"ektov na osnove membrannykh sistem [Elektronnyi resurs] // *Arkhitectura i sovremennye informatsionnye tekhnologii. Mezhdunarodnyi elektronnyi setevoi nauchno-obrazovatel'nyi zhurnal*. 2016. № 2 (35). Rezhim dostupa: <http://www.marhi.ru/AMIT/2016/2kvart16/ozhig/abstract.php> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
8. Skopenko V.A. Tentovaia arkhitektura: "industrial'nye" vozmozhnosti // *Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2010. № 3. P. 64–69.
9. Skopenko V.A. Tentovaia arkhitektura: "original'nyi" epilog' // *Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2010. № 4. P. 89–95.

10. ETFE: prozrachnyi, gibkii, prochnyi // *Zdaniia vysokikh tekhnologii*. 2013. Osen'. P. 98–100.
11. Allianz Arena [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.herzogde-meuron.com/index/projects/complete-works/201-225/205-allianz-arena.html> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
12. Allianz arena — futuristic membrane architecture for unique moments [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://seele.com/references/allianz-arena/> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
13. Amphitheater Lavis [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.arch22.de/?portfolio=lavis> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
14. Arkansas Music Pavilion [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.bird-air.com/projects/arkansas-music-pavilion> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
15. Cardiff Bay Multi Storey Car Park [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.aqbuildingslibrary.co.uk/projects/display/id/4240> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
16. Concert venue canopy design inspired by the Northern Lights // *Construction Canada*. 2015. January. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.constructioncanada.net/concert-venue-canopy-design-inspired-by-the-northern-lights/> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
17. *Dailys Place Amphitheater and Flex Field* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://populous.com/project/jacksonville-jaguars-amphitheater-and-flex-field> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
18. Di Tian. *Membrane Materials and Membrane Structures in Architecture*. The University of Sheffield, School of Architecture, 2011. 91 p. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.academia.edu/16616174/Thesis---di-tian1> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
19. Drew Ph. *New Tent Architecture*. London: Thames & Hudson, 2008. 208 p.
20. *ETFE façade for the US Embassy in London*. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.makmax.com/news/2019/03/01/48> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
21. Forster B., Mollaert M. *European Design Guide for Tensile Surface Structures*. Brusel: TensiNet, 2004. 354 p. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: https://www.tensinet.com/files/Design_Guide/00-tensinet-introforeword.pdf (data obrashcheniia: 25.10.2019).
22. Fortress Arena Kufstein // *Architect*. 2013. July. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/fortress-arena-kufstein> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
23. Goldsmith N. *SKIN: Bio-membranes in Buildings* [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://independent.academia.edu/NicholasGoldsmith> (data obrashcheniia: 25.10.2019).

24. Hazza Bin Zayed Stadium [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.archdaily.com/604755/hazza-bin-zayed-stadium-pattern-design> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
25. King Fahad National Library // *Gerber Architekten*. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: (data obrashcheniia: 25.10.2019).
26. London Embassy Solar Façade [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.pvilion.com/londonembassy> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
27. National Aquatics Center (Water Cube) [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.arup.com/projects/chinese-national-aquatics-center> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
28. New Embassy Outer Envelope to Feature ETFE Facade Sails [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.birdair.com/projects/embassy-us-london> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
29. Northwestern University [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://flexfacades.com/projects/northwestern-university/> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
30. Open Air Theatre in Wiltz [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=3742> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
31. Printed Tensile Cladding at Rice University [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://kierantimberlake.com/posts/view/443> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
32. Projekt Kadzielnia Amphitheatre [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.tensinet.com/index.php/component/tensinet/?view=project&id=4538> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
33. Sun Valley Pavilion [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://archello.com/project/sun-valley-pavilion> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
34. Textilfassade der Musikschule Erftstadt // *Architektur Zeitung*. 2015. 4 November. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.architekturzeitung.com/innovation/96-fassade/2664-textilfassade-der-musikschule-erftstadt.html> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
35. The Increasing Importance of Durability [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.strukturflex.com/increasing-importance-durability/> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
36. *The work of Frei Otto [by] Ludwig Glaeser*. New-York: The Museum of Modern Art, 1972. 128 p.
37. US Embassy Building London [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.e-architect.co.uk/london/us-embassy-building-london> (data obrashcheniia: 25.10.2019).
38. Wieser Ch. Luftkissenarchitektur: Geschäftshaus «La Miroiterie» in Lausanne von Brauen + Wälchli // *Werk, Bauen + Wohnen*. 2008. № 95. S. 30–35.