

Светопрозрачные мембраны в объемно-планировочной структуре общественных зданий

Афанасьева Е.А.¹, Ли И.В.¹.

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Мембранные конструкции и применяющийся в них материал покрытий – полимерные мембраны – становятся все более значимым признаком самых актуальных тенденций в мировой архитектуре. Климатические, экологические и экономические преимущества мембран приводят к росту их популярности в разных регионах мира. Среди различных полимерных материалов мембраны ETFE (этилентетрафторэтилен) выделяются наибольшей светопропускающей способностью. Это свойство значительно повышает роль мембран ETFE как в образовании архитектурной формы, так и в организации внутреннего пространства зданий. Взаимосвязь объемно-планировочного решения с приемами использования светопрозрачных мембран в зданиях разных типов мало изучена. Целью данного исследования является выявление спектра возможностей использования мембран ETFE в общественных зданиях, различающихся по функциям и объемно-планировочным решениям. В результатах исследования представлена типология общественных зданий, в которых используются светопрозрачные мембраны. Выявлены варианты положения мембран в структуре объема зданий. Определены возможности использования светопрозрачных мембран в зданиях с зальной, ячейковой и комбинированной планировочной структурой. Сформулированы предложения о возможностях использования мембран ETFE в архитектуре общественных зданий, различающихся по объемно-планировочным решениям.

Ключевые слова: архитектурная форма, планировочная структура, мембраны ETFE

Для цитирования: Афанасьева Е.А., Ли И.В. Светопрозрачные мембраны в объемно-планировочной структуре общественных зданий // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика, 2025, 1(5), с. 71-85

Translucent membranes in the spatial-planning structure of public buildings

Afanaseva E.A.¹, Li I.V.¹.

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract. Membrane structures and polymer membranes are becoming an increasingly significant feature of the most relevant trends in global architecture. The membranes have climatic, environmental and economic advantages. This leads to an increase in the popularity of membrane structures in different regions of the world. ETFE (ethylene tetrafluoroethylene) membranes have the highest light transmission capacity. Therefore, ETFE membranes play an important role in the formation of architectural form and in the organization of the interior space of buildings. The relationship of spatial-planning solutions with the use of translucent membranes in buildings of different types has not been sufficiently studied. The purpose of this study is to identify the range of possibilities for ETFE membranes using in public buildings, depending on the function of the building and the spatial-planning solution. The results of the

study present a typology of public buildings that use translucent membranes. Variants of the position of membranes in the form of buildings have been identified. The possibilities of using translucent membranes in buildings with a hall, cell, and combined planning structure have been determined. Proposals have been formulated on the possibilities of using ETFE membranes in the architecture of public buildings that differ in spatial planning solutions.

Keywords: architectural form, planning structure, ETFE membranes

For citation: Afanasyeva E.A., Li I.V. Translucent membranes in the spatial-planning structure of public buildings // Architecture. Restoration. Design. Urban science, 2025, 1(5), pp. 71-85

1. Введение

Архитектура на рубеже исторических эпох претерпевает разнообразные изменения в области форм, конструкций, материалов. Преобразования в жизни общества приводят к развитию новых функциональных концепций, что требует организации соответствующих пространственных структур. Все более актуальными становятся требования экологичного, энергосберегающего строительства. Развитие мембранной архитектуры стало закономерным ответом на совокупность актуальных требований современности. Базой для мембранной архитектуры послужил опыт разработки тентовых и пневматических конструкций [1-3]. На данный момент в мембранной архитектуре в основном используются несущие металлические каркасные конструкции прямолинейных или криволинейных форм [1].

Большую роль в развитии мембранной архитектуры сыграло применение некоторых промышленных полимеров в качестве материалов для мембран. Для мембранных покрытий и оболочек могут использоваться технические ткани с полимерным покрытием или полимерные пленки. По мере разработок и изучения свойств новых материалов интерес к ним неуклонно возрастал. Этому способствовали такие качества мембранных материалов как легкость, огнеупорность, долговечность, возобновляемость. В совокупности с теплотехническими свойствами и эстетическими возможностями это послужило основой признания мембран как оптимальных средств создания экологичной и комфортной среды обитания в любых климатических зонах [2, 4, 5]. Растет интерес к мембранным материалам и в архитектуре России. Доказана пригодность полимерных мембран для использования в условиях Сибири [3]. Перспективы дальнейшего развития отечественной мембранной архитектуры зависят от уровня и прогресса строительных технологий [6].

Среди полимерных мембранных материалов пленки ETFE (этилентетрафторэтилен) выделяются рядом свойств: наибольшей легкостью, огнестойкостью и светопрозрачностью. С эстетической точки зрения здания с использованием мембран ETFE выглядят необычно и привлекательно, что позволяет называть этот материал «любимым полимером архитектуры» [7]. История архитектурного применения ETFE началась в 2001 г. с постройки

огромных оранжерей-«биом» «Eden Project», и в течение последующих лет каждый крупный объект с мембранами ETFE, как правило, становился значимым архитектурным событием. На современном этапе мембраны ETFE используются на металлических каркасах: либо в виде наполненных газом многослойных подушек (аналогично технологии, примененной в «Eden Project»), либо в виде пленочного покрытия или оболочки [3, 7].

Большую роль в росте популярности мембранной архитектуры сыграло развитие цифровых технологий проектирования, которые позволили разрабатывать сложные архитектурные формы и производить соответствующие конструктивные расчеты. В итоге каркасные конструкции для крепления мембранных покрытий и оболочек получили возможность перекрытия очень больших пролетов, создания сложных бионических [8] и геонических [9] форм.

Свойство светопрозрачности составляет основу специфики мембран ETFE как в образовании архитектурной формы, так и в организации внутреннего пространства зданий. Повышенный интерес к светопрозрачным полимерным мембранным покрытиям связан с развитием концепции прозрачности в архитектуре постмодернизма [10]. Архитектура модернизма использовала стекло как средство воплощения идей прозрачности (визуальной, социальной, политической). Стекло как материал, лишенный гибкости и обладающий достаточно большим весом, не могло вполне удовлетворять требованиям покрытия современных сложных форм. Спрос на «прозрачный» архитектурный стиль в его двояком постмодернистском прочтении (материальном и феноменальном [10]) привел к использованию альтернативного полимерного материала – ETFE.

Мембраны ETFE оказались незаменимым средством, с одной стороны, для повышения уровня освещенности внутренних пространств, с другой стороны – для защиты помещений от излишней инсоляции и перегрева с помощью изменения степени прозрачности мембран. Легкость и гибкость мембран позволяют устраивать сложные системы контроля климата, в которых мембраны реагируют на изменения наружной среды для сохранения комфортного режима внутри здания. Такие системы получили образное название «живая кожа ETFE»¹, что демонстрирует особое направление бионики – биомиметику, то есть использование природных стратегий в архитектуре [8]. Также с помощью мембран оказалось возможным сохранять тепло, аккумулировать солнечную энергию и использовать ее для целенаправленного обогрева зданий².

¹ Media-ICT Barcelona Technology Building, Architect, Modern Spanish Design. Isabelle Lomholt. March 22, 2010. URL: <https://www.e-architect.com/barcelona/media-ict> (accessed: 21.01.2025).

² Grimshaw. National Space Centre Leicester, UK. URL: <https://grimshaw.global/projects/culture-and-exhibition/national-space-centre/> (accessed 27.01.2025).

Объекты мембранной архитектуры в основном относятся к типу общественных зданий. Проекты жилья с использованием светопрозрачных мембран пока разрабатываются только в области концепций для особых условий среды – полярных, океанических, космических [11,12].

Объемно-планировочные решения общественных зданий зависят от функциональных процессов, для осуществления которых они проектируются. В зависимости от функций, это здания с зальной планировочной схемой, ячейковой или комбинированной схемой. Объемные формы здания могут быть разной геометрии и степени сложности, отражать структуру внутренних пространств в различной степени – от вполне ясного соответствия до полного несовпадения. Последнее в целом характерно для современной архитектуры постмодернизма, когда внешняя форма не дает информации относительно структуры внутреннего пространства здания [13].

Светопрозрачные мембраны расположены на внешней оболочке здания и при этом пропускают свет во внутренние пространства. Наличие таких мембран в структуре архитектурного объема должно повышать связанность внешней формы с организацией внутреннего пространства. Обзор современных исследований показал, что роль светопрозрачных мембран в объемно-планировочных решениях общественных зданий разных типов почти не изучена. Интерес к использованию мембран неуклонно растет, но данный аспект мембранной архитектуры до сих пор не подвергался обобщению и систематизации.

Объектом данного исследования являются общественные здания с использованием светопрозрачных мембран ETFE. Предмет исследования – объемно-планировочные решения таких зданий. Целью исследования является выявление спектра возможностей использования мембран ETFE в зданиях, различающихся по объемно-планировочным решениям. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выявление типов общественных зданий, в которых использованы мембраны ETFE, на основе функциональных признаков;
- подбор характерных примеров зданий каждого функционального типа;
- классификация используемых объемно-планировочных решений;
- определение положения светопрозрачных мембран в структуре объема;
- выявление взаимосвязи светопрозрачных мембран с планировочной структурой зданий;
- формулировка заключений о возможностях использования мембран ETFE в архитектуре общественных зданий, различающихся по объемно-планировочным решениям.

2. Методы

В данной работе использованы методы анализа и обобщения данных современных исследований и публикаций по теме проектирования и строительства общественных зданий с применением мембран ETFE. Анализ позволил выявить типологию общественных зданий, в которых используются мембраны ETFE в качестве важного архитектурного элемента.

Отбор конкретных примеров зданий каждого функционального типа был проведен на основе репрезентативности по выявленной типологии и по объему доступной информации (статьи, чертежи, фотоматериалы).

Планировочные решения выбранных зданий изучались по чертежам поэтажных планов и разрезов с помощью методов функционального анализа.

Положение и роль светопрозрачных мембран в структуре объемов зданий анализировались на основе публикаций и фотоматериалов.

Взаимосвязь светопрозрачных мембран с планировочной структурой зданий оценивалась на основе сопоставления поэтажных планов, планов кровли, разрезов, фасадов, а также по содержанию публикаций и фотоматериалов.

Для формулирования заключений применен метод синтеза и обобщения полученных результатов.

3. Результаты и обсуждение

Типы общественных зданий, в которых использованы мембраны ETFE, и примеры зданий каждого типа представлены в таблице. Использована типология общественных зданий по функциональному признаку. Необходимо отметить, что современные тенденции в назначении общественных зданий – это многофункциональность, открытость для общественных процессов и широкого круга пользователей [14,15], а также обеспечение возможности расширения и смены функций, т.е. функциональная гибкость и трансформируемость. В данной работе мы учли перечисленные тенденции на основе изучения опубликованных проектных концепций (такие здания в таблице отмечены*). Преимущественно нами использовалась функциональная классификация зданий («Тип объекта») по публикациям на сайте «Архитектура России» (archi.ru) (табл. 1).

Далее был проведен анализ примеров зданий каждого функционального типа по объемным формам, положению мембран ETFE в структуре объема и планировочным решениям.

Таблица 1

**Типология и примеры общественных зданий с использованием
светопрозрачных мембран**

№	Тип объекта	№	Название объекта	Место	Год	Авторы проекта
1	Спортивный	1	Стадион Allianz Arena	Мюнхен, Германия	2005	Herzog & de Meuron
		2	Национальный центр водных видов спорта «Water Cube» *	Пекин, Китай	2008	PTW / Arup / CSCEC / CCDI
		3	Спортивный комплекс Singapore Sports Hub *	Сингапур	2014	Arup
		4	Стадион «Фишт»	Адлер, Россия	2017	Д.Буш / А.Орлов / Е. Бекмухамедов / Populous / ПИ «АРЕНА»
2	Культурный	1	Оранжереи «Eden Project»	Корнуолл, Великобритания	2001	Nicholas Grimshaw
		2	Ракетная башня Национального космического центра	Лестер, Великобритания	2001	Nicholas Grimshaw
		3	«Mitoseum», входное здание в тематический «Парк динозавров» *	Баутцен, Германия	2017	Rimpf Architectur
		4	Культурный центр «The Shed», Bloomberg Building *	Нью-Йорк, США	2019	Diller Scofidio + Renfro
3	Офисный	1	Media-ICT *	Барселона, Испания	2009	Enric Ruiz-Geli, Cloud 9
		2	Посольство США	Лондон, Великобритания	2017	Kieran Timberlake
4	Учебный	1	Инженерное училище CentraleSupélec, корпус «Эйфель»	Жиф-сюр-Иветт, Франция	2017	Rem Koolhaas / Ellen van Loon / OMA
5	Развлекательный	1	ТРК «Хан Шатыр» *	Астана, Казахстан	2010	Foster + Partners
6	Туризм / здравоохранение	1	Отель Mriya Resort & Spa *	Ялта, Россия	2014	Foster + Partners
7	Транспортный	1	Транспортный центр Anaheim Regional Transportation Intermodal Center (ARTIC) *	Анахайм, Калифорния, США	2014	НОК

Объемные формы зданий классифицированы по степени сложности как «цельные объемы» или «составные объемы». Определены виды геометрических форм и приемы их комбинации, направления развития объемной формы, преобладающая ориентация объема (вертикальная или горизонтальная). Например, объемные формы зданий «Water Cube» (рис. 2, а) и Media-ICT (рис. 3, а) – цельные ортогональные, «Water Cube» – параллелепипед горизонтальной ориентации, а форма Media-ICT приближается к кубической. Примеры составных форм – «Eden Project» (рис. 1, в) и «Mitoseum» (рис. 3, г). Объемная форма «Eden Project» представляет собой врезки полусферических структур, развивающиеся в горизонтальном направлении. «Mitoseum» демонстрирует плавные перетекания трех купольных форм, отображающие процесс митоза – деления клетки.

Положение светопрозрачных мембран в структуре объемов зданий мы классифицировали на основе конструктивных признаков [1]: мембраны на ортогональных каркасах и мембраны на криволинейных каркасах. Мембранные конструкции могут развиваться по горизонтальному, вертикальному или комбинированным направлениям. Также мы выделили два варианта заполнения мембранами поверхности объемной формы – оболочка полная и неполная. В неполной оболочке мембраны комбинируются с другими материалами. Например, для оранжерей «Eden Project» (рис. 1, в) и здания «Mitoseum» (рис. 3, г) характерна полная оболочка из светопрозрачных мембранных подушек ETFE на криволинейных каркасах. Объем Ракетной башни (рис. 1, г) имеет неполную мембранную оболочку на криволинейном каркасе [18]. В объеме стадиона «Фишт» (рис. 1, б) мембраны на криволинейных каркасах расположены только над трибунами. В объемах зданий Инженерного училища «Centrale Supélec» (рис. 3, в) и отеля «Mriya Resort & Spa» (рис. 3, г) мембранные подушки ETFE расположены только в структуре кровли здания на ортогональных и криволинейных каркасах горизонтального направления в виде неполного мембранного покрытия.

Планировочные схемы зданий, по результатам анализа, в целом соответствуют функциональному типу объекта. В многофункциональных зданиях к планировочной схеме, характерной для их основного типа, добавляется альтернативная планировочная схема. Например, для Национального центра водных видов спорта «Water Cube» (рис. 2, а) и спортивного комплекса «Singapore Sports Hub» (рис. 2, б) характерна многозальная планировочная схема в комбинации с ячейковой структурой. Для части зальных пространств культурного центра «The Shed» (рис. 2, в) предусмотрена возможность их трансформации – объединения, расширения или разделения и сокращения, на двух этажах здания представлена ячейковая планировочная схема (офисы и мастерские художников). Напротив, в планировочной структуре офисного здания «Media-ICT» (рис. 3, а) с

преобладающей ячейковой схемой три нижних этажа отведены под зальные пространства общественных мероприятий³.

На рис. 1-3 представлена классификация объектов мембранной архитектуры по типу планировочной структуры: зальной, комбинированной, ячейковой.



Рис. 1. Примеры объектов мембранной архитектуры с зальной планировочной структурой:
а – стадион «Allianz Arena»; б – стадион «Фишт»; в – оранжереи «Eden Project»; г – Ракетная башня Национального космического центра (иллюстрация авторов на основе материалов⁴ archi.ru, architime.ru, archdaily.com)

Анализ взаимосвязи положения светопрозрачных мембран в структуре объемной формы с планировочной структурой зданий позволил выявить следующие типы отношений.

³ Media-ICT Barcelona Technology Building, Architect, Modern Spanish Design. Isabelle Lomholt. March 22, 2010. URL: <https://www.e-architect.com/barcelona/media-ict> (accessed: 21.01.2025).

⁴ Grimshaw. National Space Centre Leicester, UK. URL: <https://grimshaw.global/projects/culture-and-exhibition/national-space-centre/> (accessed 27.01.2025).

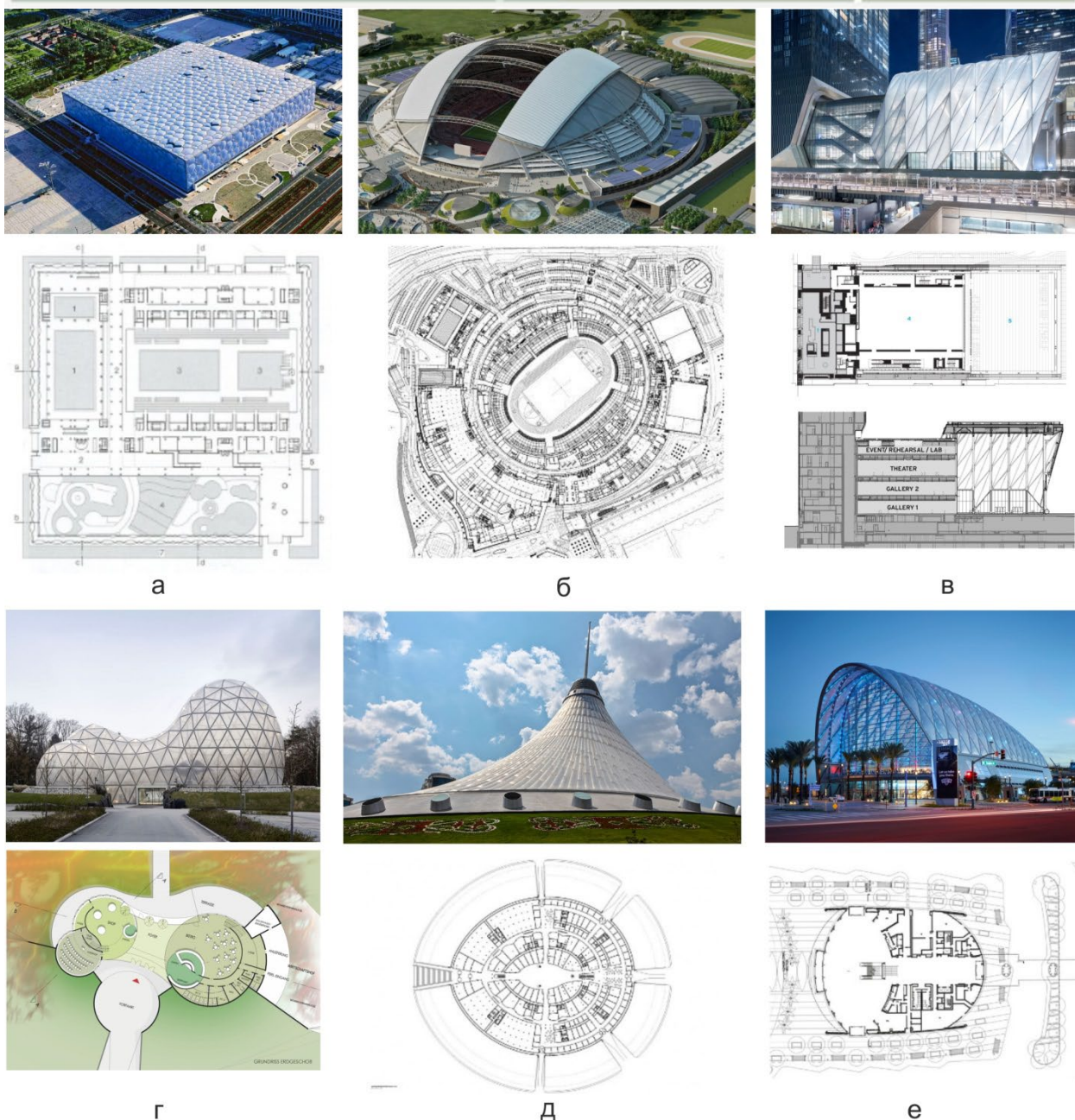


Рис. 2. Примеры объектов мембранной архитектуры с комбинированной планировочной структурой: а – Национальный центр водных видов спорта «Water Cube»; б – спортивный комплекс «Singapore Sports Hub»; в – Культурный центр «The Shed», Bloomberg Building; г – «Mitoseum», входное здание в тематический «Парк динозавров»; д – ТРК «Хан Шатыр»; е – Транспортный центр «Anaheim Regional Transportation Intermodal Center» (ARTIC) (иллюстрация авторов на основе материалов⁵ archi.ru, archdaily.com)

Для зданий с зальным и комбинированным типами планировки более характерны полные оболочки из светопрозрачных мембран. Мембраны ETFE обеспечивают высокий уровень естественного освещения внутренних пространств, а также могут осуществлять дополнительные функции:

⁵ Watercube Beijing: National Swimming Centre China. David McManus. September 8, 2008. URL: <https://www.e-architect.com/beijing/watercube-beijing> (accessed: 22.01.2025).

теплоизоляцию и аккумулирование солнечной энергии. Например, в «Water Cube» мембранная оболочка позволяет обогревать помещения спортивного центра и воду в бассейнах, что значительно повышает энергоэффективность здания⁶. Наибольшая площадь мембранной оболочки в таком случае становится предпочтительной.

Мембранная оболочка также может выполнять функцию медиафасада благодаря светодиодной подсветке, установленной между мембранами. Светопрозрачность мембран начинает работать не только на освещенность внутреннего пространства здания, но и на внешнюю среду. В этом случае здание становится носителем разнообразной визуальной информации и значимым ориентиром в городской и природной среде как, например, стадион «Allianz Arena» (рис. 1, а), ТРК «Хан Шатыр» (рис. 2, д) и Транспортный центр ARTIC (рис. 2, е). В двух последних примерах разноцветная подсветка одновременно повышает и декоративные качества внутреннего пространства здания.

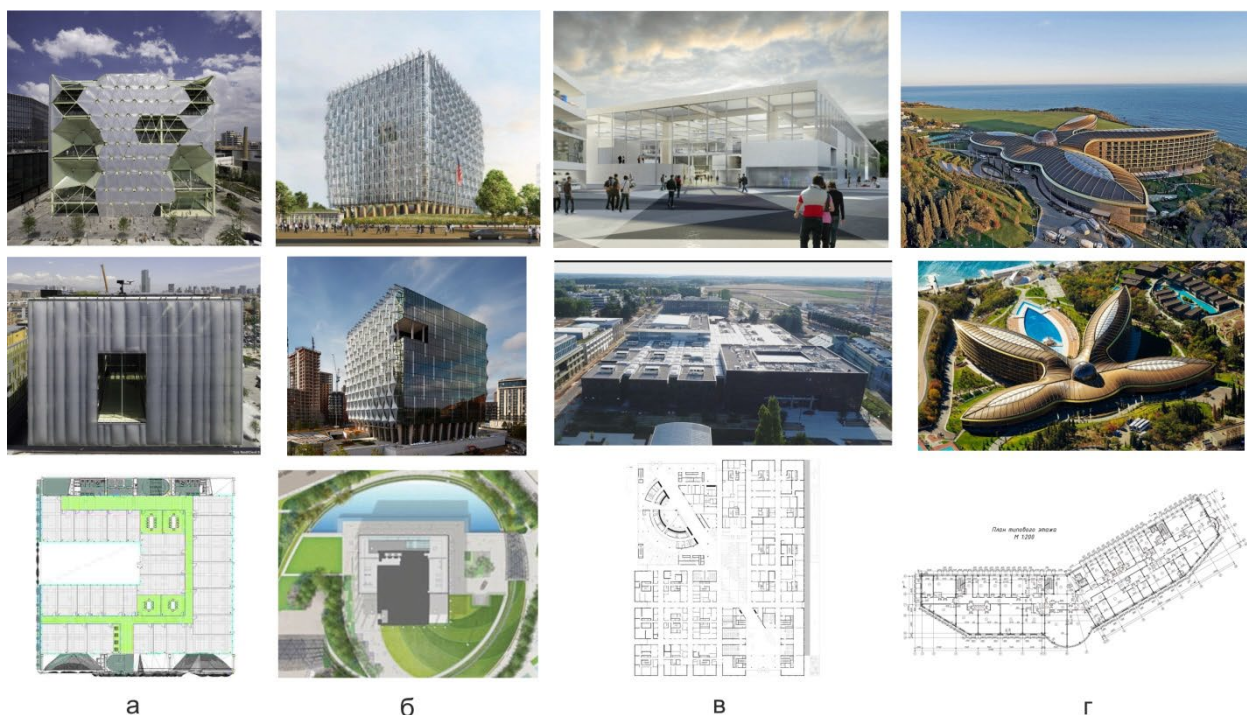


Рис. 3. Примеры объектов мембранной архитектуры с ячейковой планировочной структурой: а – Media-ICT⁷; б – Посольство США; в – Инженерное училище «Centrale Supélec», корпус «Эйфель»; г – Отель «Mriya Resort & Spa» (иллюстрация авторов на основе материалов⁸ archi.ru, archdaily.com)

⁶ Watercube Beijing: National Swimming Centre China. David McManus. September 8, 2008. URL: <https://www.e-architect.com/beijing/watercube-beijing> (accessed: 22.01.2025).

⁷ Media-ICT Barcelona Technology Building, Architect, Modern Spanish Design. Isabelle Lomholt. March 22, 2010. URL: <https://www.e-architect.com/barcelona/media-ict> (accessed: 21.01.2025).

⁸ «Lab City Centrale Supélec / OMA» 31 августа 2017 г. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/878822/lab-city-centralesupelec-oma> ISSN 0719-8884 (accessed 27.01.2025).

В зданиях с ячейковой планировочной структурой мембраны преимущественно расположены по горизонтальному и вертикальному направлениям в виде неполных оболочек или покрытий. Горизонтальная ориентация мембран позволяет осветить коммуникационные пространства (холлы, коридорные связи и галереи вокруг атриумов) благодаря расположению в структуре кровли по типу световых фонарей, как в отеле «Mriya Resort» (рис. 3, г), и протяженных мембранных плоскостей, как в Инженерном училище «Centrale Supélec» (рис. 3, в). В объемно-планировочном решении здания Инженерного училища реализована концепция «Лаб-Сити», то есть «города» из отдельных капсул-лабораторий со светопропускающей кровлей, покрывающей почти весь объем этого «образовательного инкубатора»⁹. В этих примерах положение мембран привязано к планировочной структуре зданий.

При расположении мембран ETFE в структуре фасадов их функцией может стать не только проницаемость для естественного освещения, но и контроль климата внутри помещений (затенение, охлаждение). В таком случае мембраны располагают на наиболее освещенных фасадах в качестве дополнительного слоя ограждающих конструкций поверх сплошного фасадного остекления. Например, в «Media-ICT» (рис. 3-а) мембраны установлены только на южном и западном фасадах, в Посольстве США (рис. 3, б) – на всех фасадах, кроме северного. Архитектурное решение фасадных мембранных структур при этом может следовать поэтажному ячейковому членению фасадов (южный фасад «Media-ICT»), следовать ему со смещениями (все мембранные фасады Посольства) или демонстрировать альтернативные членения (западный фасад «Media-ICT»). Таким образом, преобладающая ячейковая планировочная структура здания может быть в разной степени отражена в структуре мембранных фасадов.

4. Заключение

Светопрозрачные мембраны ETFE используются в общественных зданиях разных типов: спортивных (стадионы и спортивные комплексы), культурных (выставочные, зрелищные здания), офисных, учебных и многих других. Тип здания определяет его планировочную структуру – зальную, комбинированную, ячейковую. Объемы зданий мембранной архитектуры могут быть разной степени сложности (цельные или составные), разной формы (бионической, геонической, ортогональной, сферической и т.д.). В структуре объемной формы светопрозрачные мембраны занимают различное положение – от фрагментарных вставок в покрытие (по типу световых фонарей) и конструкций навесных фасадов до заполнения всей оболочки здания. В проектах акцентируются разные свойства мембран ETFE

⁹ «Lab City Centrale Supélec / OMA» 31 августа 2017 г. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/878822/lab-city-centralesupelec-oma> ISSN 0719-8884 (accessed 27.01.2025).

(светопрозрачность, легкость, теплоизоляционные свойства и т.д.), что определяется концепциями функциональной организации, формообразования и энергосбережения, конкретными средовыми условиями.

При всей широте спектра возможностей использования светопрозрачных мембран и разнообразии примеров их реализации можно обнаружить некоторые существенные отличия в применении мембран ETFE в зданиях с зальной и ячейковой планировочной структурой.

В зданиях зального типа планировки (спортивные, культурные, транспортные и другие объекты) чаще используется полная мембранная оболочка на цельных или составных объемных формах. Такая оболочка может выполнять сразу несколько функций – освещения, теплоизоляции, медиа-функций. В зданиях с ячейковой структурой (офисные, учебные и другие объекты) светопрозрачные мембраны используются чаще в виде неполной оболочки на цельных или составных объемах. В структуре покрытий мембраны используются для естественного освещения внутренних коммуникационных пространств. При установке на фасадах мембранные структуры используются в качестве средств солнцезащиты и энергосбережения, в качестве медиафасадов.

Взаимосвязь внешней формы, в которой расположены светопрозрачные мембраны, с внутренней планировочной структурой наиболее выражена в зданиях с ячейковой планировкой и неполной мембранной оболочкой. Полная мембранная оболочка чаще выполняет функции не только освещения, но и защиты внутренней среды от внешних факторов. Такое здание может иметь любую планировочную структуру, не имеющую отображения во внешней форме. Особенно часто это наблюдается в примерах зданий с комбинированной планировочной структурой, что связано с современными тенденциями многофункциональности и гибкости, трансформируемости внутренних пространств.

Список литературы

1. Ожиганова И. С. Особенности формообразования архитектурных объектов на основе мембранных систем // Архитектура и современные информационные технологии. – 2016. – № 2(35). – С. 1-14. – EDN XXRGBJ.
2. Monticelli C., & Zanelli A. Structural membranes in architecture: an eco-efficient solution for the future? // TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment. – 2018. – No. 16, P. 235–246. <https://doi.org/10.13128/Techne-23041>.
3. Сафонова Е.В. Инновационные текстильные и пленочные материалы в архитектуре: анализ и перспективы // Архитектон: известия вузов. – 2024. – №2(86). – URL: https://archvuz.ru/2024_2/7/ – doi: [https://doi.org/10.47055/19904126_2024_2\(86\)_7](https://doi.org/10.47055/19904126_2024_2(86)_7).

4. Giulia Procaccini and Carol Monticelli. The application and potentialities of textile facade retrofit strategies for energy-efficient and resilient buildings // E3S Web Conf. Volume 546, 2024 2nd International Conference on Green Building (ICoGB 2024) DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454603005>.

5. Souza, Eduardo. How Do Tensile Structures Work and What Materials Can Be Used? [Como funcionam as estruturas tensionadas e quais materiais podem ser usados?] 26 Apr 2022. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/980473/how-do-tensile-structures-work-and-what-materials-can-be-used> ISSN 0719-8884 (accessed: 27.01.2025).

6. Елюхина В.А., Краснобаев И.В. К вопросу о взаимосвязи архитектуры и строительных технологий (по материалам зарубежных публикаций) // Известия КГАСУ. – 2019. – №2(48). – С. 40-47.

7. Patrick Lynch. «What is ETFE and Why Has it Become Architecture's Favorite Polymer?» 06 Apr 2019. – ArchDaily. – URL: <https://www.archdaily.com/784723/etfe-the-rise-of-architectures-favorite-polymer> ISSN 0719-8884 (accessed: 26.01.2025).

8. Серегин Д.В., Прокофьев Е.И. Тенденции развития бионического подхода в архитектуре // Известия КГАСУ. – 2024. – № 2(68). – С. 205-220. – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.18. – EDN RIRXHF.

9. Серегин Д.В., Прокофьев Е.И., Сулейманов А.М. Тенденции развития геонического подхода в архитектуре // Известия КГАСУ. – 2024. – № 3(69). – С. 160-176. – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.15, EDN: PPTYCC.

10. Колосков И. С., Забрускова М. Ю. Особенности становления концепций прозрачности в зарубежной теории архитектуры новейшего времени // Архитектон: известия вузов. – 2023. – №3(83). – URL: http://archvuz.ru/2023_3/1/ – doi: 10.47055/19904126_2023_3(83)_1.

11. Романцов Р.В., Краснобаев И.В. Повышение эксплуатационной пригодности концепции крытых поселений с искусственным микроклиматом к сложным геоэкологическим условиям Заполярья // Известия КГАСУ. – 2017. – №1(39). – С.73-81.

12. Пономарев Е.С., Арсентьева К.Е. Моделирование жилой среды на основе принципов динамической архитектуры для экстремальных условий // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика. – 2023. – 1 (1). – С. 4-12.

13. Кокорина Е. В., Воронова В.А. Тенденции формообразования в новейшей архитектуре // Наука и мир. – 2018. – № 12-3(64). – С. 64-72. – EDN KFAQWX.

14. Шаймарданова К.А., Прокофьев Е.И., Чебинев А.И. Анализ системы транспортно-пересадочных объектов г. Казани // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика. – 2024. – № 2(4). – С. 4-13.

15. Медяник Ю.В., Рачкова О.Г., Ермакова А.Н. Современные тенденции в архитектуре многофункциональных культурно-досуговых

комплексов // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика. – 2024. – № 2(4). – С. 24-38. – EDN AZCJIA.

References

1. Ozhiganova I. Features of form-building of architectural objects based on membrane systems // Architecture and Modern Information Technologies. – 2016. – No. 2(35). – P. 1-14. – EDN XXRGBJ.
2. Monticelli C., & Zanelli A. Structural membranes in architecture: an eco-efficient solution for the future? // TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment. – 2018. – No. 16, P. 235–246. <https://doi.org/10.13128/Techne-23041>.
3. Safonova E.V. Innovative textile and film materials in architecture: analysis and prospects // Architecton: news of universities. – 2024. – №2(86). – URL: https://archvuz.ru/2024_2/7/ – doi: [https://doi.org/10.47055/19904126_2024_2\(86\)_7](https://doi.org/10.47055/19904126_2024_2(86)_7).
4. Giulia Procaccini and Carol Monticelli. The application and potentialities of textile facade retrofit strategies for energy-efficient and resilient buildings // E3S Web Conf. Volume 546, 2024 2nd International Conference on Green Building (ICoGB 2024) DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454603005>.
5. Souza, Eduardo. How Do Tensile Structures Work and What Materials Can Be Used? [Como funcionam as estruturas tensionadas e quais materiais podem ser usados?] 26 Apr 2022. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/980473/how-do-tensile-structures-work-and-what-materials-can-be-used> ISSN 0719-8884 (accessed: 27.01.2025).
6. Elyukhina V.A., Krasnobaev I.V. On the question of relationship of architecture and building technologies (upn the materials of foreign publications) // News of KSUAE. – 2019. – No. 2(48). – P.40-47.
7. Patrick Lynch. «What is ETFE and Why Has it Become Architecture's Favorite Polymer?» 06 Apr 2019. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/784723/etfe-the-rise-of-architectures-favorite-polymer> ISSN 0719-8884 (accessed: 26.01.2025).
8. Seregin D. V., Prokofiev E.I. Trends in development of the bionic approach in architecture // News of KSUAE. – 2024. – No. 2(68). – P. 205-220. – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.18, EDN: RIRXHF.
9. Seregin D.V., Prokofiev E.I., Suleymanov A.M. Trends in the Development of the Geonic Approach in Architecture // News of KSUAE. – 2024. – No. 3(69). – P. 160-176. – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.15, EDN: PPTYCC.
10. Koloskov I. S., Zabruskova M. Yu. Formation features of the transparency concepts in western contemporary architectural theory // Architecton: news of universities. – 2023. – №3(83). – URL: http://archvuz.ru/2023_3/1/ – doi: [10.47055/19904126_2023_3\(83\)_1](https://doi.org/10.47055/19904126_2023_3(83)_1).

11. Romancov R.V., Krasnobaev I.V. Improving operational suitability of the concept of covered settlements with artificial microclimate to complex permafrost conditions of Polar Region // News of KSUAE. – 2017. – No. 1(39). – P.73-81.
12. Ponomarev E.S., Arsenteva K.E. Modeling of the living environment based on the principles of dynamic architecture for extreme conditions //A. R. D.U. – 2023. – 1 (1). – P. 4-12.
13. Kokorina Ye.V., Voronova V.A. Form making trends in the newest architecture // Science and world. – 2018. – No. 12 (64). Vol. III. P.64-72. – EDN KFAQWX.
14. Shaimardanova K.A., Prokofiev E.I., Chebinev A.I. Analysis of the system of transport transfer facilities in Kazan //A. R. D. U. – 2024. – 2 (4). – P. 4-13.
15. Medyanik Yu.V., Rachkova O.G., Ermakova A.N. Modern trends in the architecture of multifunctional cultural and leisure complexes // A. R. D. U. – 2024. – No. 2(4). – P. 24-38. – EDN AZCJIA.