

## Применение структурных мембран в реконструкции исторических зданий

*А.В. Северин, В.С. Петрова, А.А. Коробкова*

*Тульский государственный университет, Тула*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные принципы использования структурных мембран в реконструкции зданий и сооружений. Подробно описаны три принципа вмешательства в существующую архитектуру. Даны характеристики целей, на достижение которых направлен каждый из перечисленных принципов. На примере нескольких зданий проанализировано использование текстильных мембран для достижения основных целей реконструкции, описаны положительные и отрицательные аспекты реставрации с использованием текстильных мембран. В заключение сделаны выводы о преимуществах использования мембран для сохранения исторического наследия и возможных перспективах развития областей применения данной конструкции.

**Ключевые слова:** архитектура, мембраны, реконструкция, реставрация, структурные конструкции.

### 1. Введение

Структурные мембраны особенно хорошо подходят для реконструкции существующих зданий и городских пространств, особенно исторических, когда возникает необходимость увеличения площади пола или модернизации существующих площадей [1]. В то время как в прошлом структурные мембраны использовались главным образом в качестве системы покрытия, в настоящее время возникает более широкий круг требований. Таким образом, множество разнообразных решений в области текстильной архитектуры может значительно удовлетворить многие нюансы, связанные с защитой и оценкой культурного наследия [2].

### 2. Принципы вмешательства в существующие здания

Текстильная архитектура и структурные мембраны потенциально предлагают несколько преимуществ, таких как высокая гибкость, низкое визуальное воздействие, естественные формы, модульность, пригодность для любой геометрии, возможность многократного использования, легкая несущая конструкция, легкая транспортировка, низкие требования к

---

техническому обслуживанию и быстрая установка или демонтаж. Тем не менее, необходимо изучить характеристики материалов, а также методологию проектирования, чтобы обеспечить качество решений в конкретном контексте, который тесно связан с особенностью существующих зданий.

В соответствии с принципами Международного совета по сохранению памятников и достопримечательных мест (ИКОМОС) вмешательства на исторических зданиях и местах должны:

- 1) Сохранить исторический характер и особое значение объекта наследия;
- 2) Быть неинвазивными и совместимыми с существующими размерами, масштабом и архитектурными ценностями объекта наследия;
- 3) Отличаться от исторических частей и быть обратимыми.

Первый принцип относится в первую очередь к подходу замены, стремящемуся воссоздать недостающий участок или компонент (чаще всего крышу) здания, который был передан нам из предыдущей эпохи. Этот подход требует наивысшего уровня точности на этапе проектирования, чтобы:

- 1) сохранить, насколько это возможно, исторический характер наследия;
- 2) избегать эксплуатационных проблем в будущем (например, конденсация);
- 3) обеспечивать обмен воздуха и оптимальную вентиляцию под восстановленной зоной.

Второй принцип должен учитываться главным образом в подходе интеграции. Добавление функций к старому зданию требует дополнительного пространства, и это приводит к обзору всей структуры и поиску диалога между новыми и старыми компонентами здания [3]. Все это приводит к кропотливой работе с целью найти:

- 1) языковую согласованность;
  - 2) структурную совместимость;
  - 3) возможную связь между различными материалами и методами.
-

Третий принцип является более сложным. Меньше случаев, когда архитекторам удается правильно выделить разницу между тем, что завещали нам предыдущие столетия, и тем, что добавляется. Такой подход должен обеспечивать четкое различие между объемами и позволять зрителю интерпретировать динамику и контрасты между новыми и старыми элементами. В контексте мембранных структур подобный вид вмешательства обусловлен подходом сопоставления исторических и новых элементов, когда текстильный материал становится легким мостом между средой прошлого и настоящего.

Несмотря на большое количество рассмотренных тематических исследований становится понятно, что невозможно установить точное количество лучших практик по применению мембран в архитектурном наследии [4]. Благодаря нескольким приведенным ниже примерам можно подчеркнуть, что подход сопоставления не только кажется совместимым с эстетикой мембранных структур, но также чаще всего является предпочтительным и технически легко осуществимым.

### **3. Примеры реконструкции сооружений с использованием мембран.**

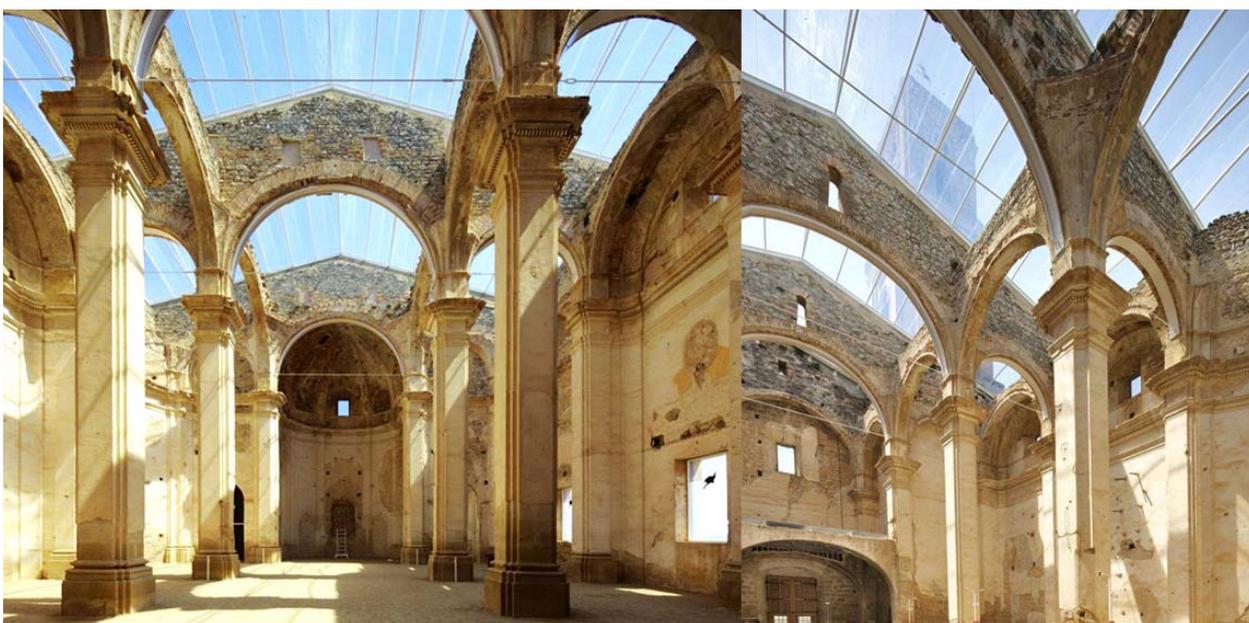


Рис. 1 – Корбера д'Эбр реставрация церкви.

Завершение новых строительных работ в церкви без крыши на холме в Корбера-д'Эбре является ярким примером восстановления здания при сохранении его архитектурного облика (рис. 1). Крыша была разрушена во время гражданской войны в Испании (1936-1939 гг.), а ее руины остались памятником событиям, которые сильно повлияли на город и его жителей. Тем не менее, 75-летняя церковь начала разваливаться, что соответственно ограничило ее использование для культурной, социальной или религиозной деятельности. По этой причине была предложена новая прозрачная крыша из ETFE [5]. Идея прозрачности крыши возникла из-за необходимости как можно больше поддерживать характер постройки, сохранять ощущение пребывания на улице, держать церковь открытой для неба [6]. Идея состояла в том, чтобы сделать крышу легкой (из ETFE, а не из стекла), была цель как можно меньше повлиять на существующие стены, которые были увенчаны железобетонным кольцом. Таким образом, ряд кольцевых пластин мог быть закреплен в кольце, которое поддерживает конструкцию. Сама крыша состоит из рамы, изготовленной из холоднокатаных U-стальных швеллеров [7]. Мембрана опирается на арки, а кабели растягивают ее и обеспечивают двойную кривизну. Кроме того, путаница между добавленными элементами и старыми не возникает из-за зазора, оставленного между рамой и несущими стенами. Таким образом, был добавлен прозрачный, простой слой крыши ETFE, чтобы дать возможность вернуть старую церковь горожанам, превратив ее в новое и безопасное многофункциональное общественное пространство (рис. 2)

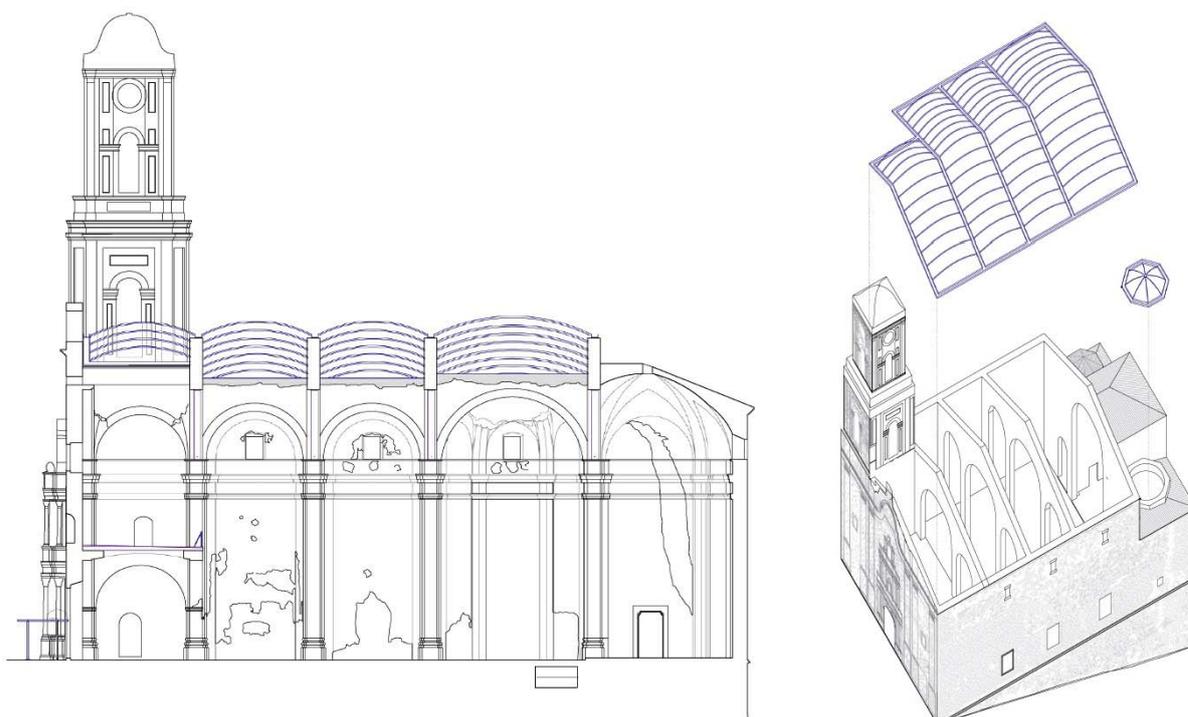


Рис. 2 – конструкция реставрации церкви на холме в Корбера д'Эбр.

«Паласио де Минерия» в старом центре Мехико был спроектирован архитектором Мануэлем Толса и построен между 1797 и 1813 годами. Он считается шедевром латиноамериканского неоклассицизма, который необходимо сохранить. Здесь находится несколько учреждений, а его двор размером 26 х 26 м часто используется для проведения различных социальных, культурных, коммерческих и научных мероприятий, таких как книжные ярмарки, конференции, концерты, курсы, выставки и показы мод. Чтобы обеспечить тень и защиту от дождя, в 2002 году был спроектирован и изготовлен «чехол», который стал символом текстильной архитектуры в Мексике. После девяти лет эксплуатации конструкция все еще находилась в хорошем механическом состоянии, но на ее внешний вид сильно повлиял высокий уровень загрязнения и отсутствие регулярного технического обслуживания [8]. Поэтому покрытие было заменено в 2011 году, что дало возможность усовершенствовать материал от полиэстера Précontraint 705 с ПВХ-покрытием Serge Ferrari до стойкого к загрязнению, 100% пригодного

для повторного использования и долговечного нового материала того же производителя (рис. 3).



Рис. 3 - Крыша для центрального двора «Паласио де Минерия», Мехико.

План включал требование не изменять ни существующую конструкцию, ни внешний вид, а это означает, что никаких элементов конструкции крыши не должно быть видно с улицы. Это требование подразумевало, что вмешательство должно быть минимальным и что высота мачт будет ограничена. Кроме того, для того чтобы уменьшить воздействие до минимума, пластины для крепления и поддержки мачт были заделаны в бетонную плиту, залитую в 1973 году во время реставрационных работ по замене бывших деревянных балок и крыши. Мачты имеют высоту 9 м и предварительно напряжены с помощью стяжек, чтобы уменьшить изгиб и поперечное сечение.

Полупрозрачная мембранное покрытие 35 x 35 м было создано при помощи программного обеспечения «Easy - TechNet GmbH» и изготовлено компанией «Carpas y Lonas El Carrusel SA» (Clever, Mexico) в виде единого элемента, чтобы избежать стыков, уменьшить трудозатраты и свести к минимуму отверстия [9]. Его радиальная схема определяет четыре гиперболические параболоидные поверхности, разделенные четырьмя V-образными формами. Оно поддерживает оси здания, подчеркивая его центральную симметрию. Общая двойная кривизна и тонкая, белая форма напоминает и чтит сооружения Феликса Канделы, которые составляют другие достопримечательности города.

Мансардное окно имеет диаметр 2,5 м и поднимается на 23 м над уровнем пола. Оно состоит из кольца из оцинкованного швеллера и угловых стальных профилей, охватывающих прозрачную, термоформованную, ударопрочную акриловую поверхность [10]. Мансардное окно было предусмотрено, чтобы обеспечить верхнее освещение во дворе, способствуя легкой сборке и демонтажу крыши, учитывая, что один из принципов, на которых основывалась крыша, заключался в том, что ее можно было снять, если потребуется, чтобы оставить внутренний двор здания, как это было изначально задумано.

Для монтажа мембрана и окно были раскинуты на полу, а на крыше подняли мачты. Подъем осуществлялся с помощью электродвигателей, тросов и шкивов таким образом, чтобы различные этапы процесса монтажа можно было обдумать на месте [11]. Таким образом, историческое здание было улучшено за счет функциональности мембраны, которая была разработана с учетом официальных правил Паласио-де-ла-Минтерия, чтобы сохранить архитектурный облик. Мембрану было легко установить и легко демонтировать, она достаточно легка, чтобы опираться на существующую

конструкцию без специальной арматуры. Кроме того, если убрать крышу, все ее элементы исчезнут, и двор вернется в исходное состояние.

В следующем тематическом исследовании представлен современный велариум как вмешательство в наследство, относящееся к стратегии интегрированного проектирования. Выдвижную крышу во дворе резиденции в Зальцбурге (рис. 4) нельзя строго рассматривать как замену, поскольку наличие более старого велариума не задокументировано, но это выглядит как яркий пример интеграции по двум причинам:

- 1) она представляет собой другой подход к защите территории под открытым небом
- 2) результат в значительной степени согласуется с превентивный принципом, в котором обратимые и сезонные структуры предпочтительнее постоянных.

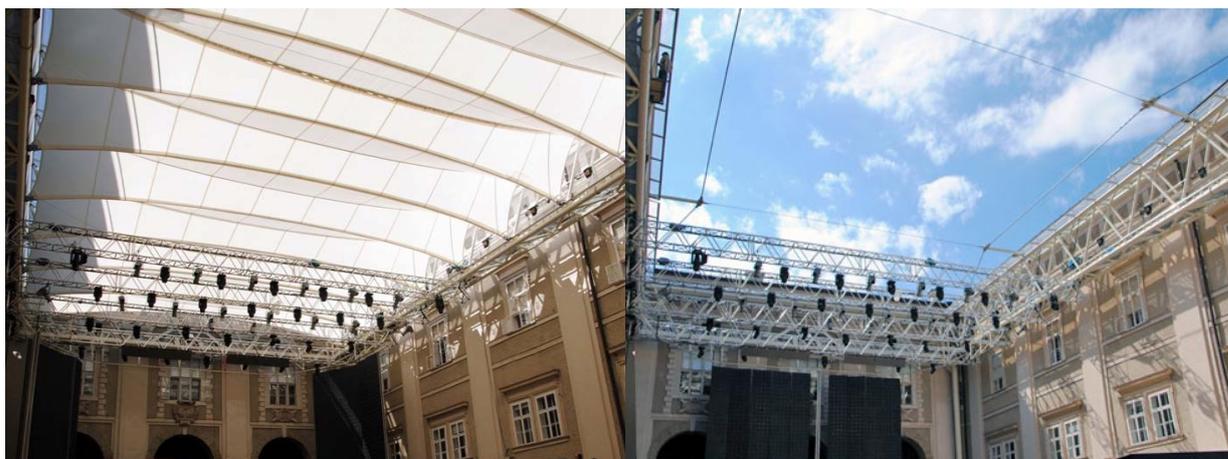


Рис. 4 – Выдвижная крыша в Зальцбургской резиденции.

Поскольку в Зальцбургской резиденции уже несколько лет проходит Зальцбургский фестиваль во внутреннем дворе, убирающаяся мембрана защищает двор, открываясь и закрываясь автоматически в течение нескольких минут. Вся кровельная конструкция, разработанная Kugel Architects (Stuttgart, Germany) в 2012 году, будет собираться и разбираться в течение многих лет. Имея это ввиду, зданию не требуются альтернативные помещения для защиты от плохих погодных условий. Части здания, которые

---

необходимо сохранять, остаются без изменений, поскольку только незначительные горизонтальные силы передаются на фасады [12].

Стальной каркас, поддерживаемый четырьмя стальными колоннами, служит мостиком для осветителей, расположенных на высоте 14 м над уровнем земли. Прямоугольная покрывающая поверхность размером 22 x 37 м может быть закрыта параллельной складной текстильной мембраной, перемещающейся вдоль каркасных балок. При открытии крыши, мембрана становится предварительно напряженной в обоих направлениях, чтобы выдержать ветровые нагрузки. Когда крыша открывается, мембрана складывается под укрытие на восточной стороне, которое также закрывает несимметричную часть двора.

Исторические города полны дворов под открытым небом, в которых в течение разных сезонов проводится несколько мероприятий. Таким образом, хорошо спроектированные и долговечные мембранные структуры предпочтительнее плохих и временных решений. Подобные подходы должны быть приняты во внимание в уже застроенной среде.

#### **4. Заключение**

Ведущие мировые органы по защите глобального наследия все больше поддерживают разработку качественных текстильных конструкций в качестве системы защиты архитектурного наследия, находящегося под угрозой исчезновения, в соответствии с высокими стандартами защиты, гибкости и обратимости. Поскольку текстильные конструкции по своей природе гибкие и полупрозрачные, они могут выполнять множество различных сложных функций, удовлетворяя требования защиты объектов культурного наследия. Отбор тематических исследований направлены на то, чтобы показать широкий спектр возможных применений структурных мембран при реконструкции и выделить передовые методы в их нынешнем применении. Тем не менее, текстильные материалы и конструкционные

---

мембраны, по-прежнему недостаточно используются при ремонте по сравнению с другими строительными материалами.

В целях оптимизации сохранения и видимости культурного наследия выбор соответствующих материалов для укрытия и защиты старых зданий и древних памятников является одним из наиболее важных вопросов, требующих дальнейшего изучения. Его необходимо обновить, чтобы включить новые материалы и строительные технологии, доступные в настоящее время. Дальнейшие сравнительные исследования легких материалов, позволят структурным мембранам играть все более важную роль в сохранении и передаче нашего сконструированного наследия будущим поколениям.

### Литература

- 1.Бадьин, Г. М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 288 с.: ил.
- 2.Oñate E., Kröplin B., Bletzinger U. Structural Membranes 2015 - VII International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. CIMNE, Barcelona, 2015. pp.105-114.
- 3.Bögner-Balz H., Mollaert M. TensiNet Symposium. Sofia: University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Brussels:Tensinet, 2010. pp.311-360.
- 4.Boxer K., Scheuermann R. Tensile Architecture in the Urban Context. Architectural Press, 1996. pp.24-37.
- 5.Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л. Нанокompозитные органоминеральные гибридные материалы // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476)
- 6.Oliva J.G., Valdez-Olmedo E. The design and application of lanterns in tent structures. Structural Membranes 2011 - V International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, CIMNE, Barcelona, 2011. pp.233-243.

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

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

9.Zanelli A. Innovative solutions for ultra-lightweight textile shelters covering archaeological sites. Second International Conference on Structures & Architecture ICOSA 2013, 2013. Volume: Proceedings of the Second International Conference on Structures & Architecture ICOSA 2013. pp. 1-8. doi.org/10.1201/b15267-184

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.Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. М.: АСВ, 2008 – 126с.

12.Zanelli A. Architectural fabric structures in the refurbishment of archaeological and cultural heritage areas. Fabric Structures in Architecture, 2015. pp.481-527. doi.org/10.1016/B978-1-78242-233-4.00015-2

### 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.Oñate E., Kröplin B., Bletzinger U. Structural Membranes 2015 - VII International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. CIMNE, Barcelona, 2015. pp.105-114.

3.Bögner-Balz H., Mollaert M. TensiNet Symposium. Sofia: University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Brussels:Tensinet, 2010. pp.311-360.



4.Boxer K., Scheuermann R. Tensile Architecture in the Urban Context. Architectural Press, 1996. pp.24-37.

5.Kudrjavcev P.G., Figovskij O.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476)

6.Oliva J.G., Valdez-Olmedo E. The design and application of lanterns in tent structures. Structural Membranes 2011 - V International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, CIMNE, Barcelona, 2011. pp.233-243.

7.Eremeev, Pavel Georgievich. Prostranstvennye tonkolistovye metallicheskie konstrukcii pokrytij [Spatial sheet metal structure coatings]. P. G. Eremeev. Moskva: Izd-vo Assoc. stroit. vuzov, 2006. – 560p.:il.

8.Kudishin Ju.I., Drobot D.Ju. «Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij», 2008. pp. 36-43.

9.Zanelli A. Second International Conference on Structures & Architecture ICSA 2013, 2013. Volume: Proceedings of the Second International Conference on Structures & Architecture ICSA 2013. pp. 1-8. [doi.org/10.1201/b15267-184](https://doi.org/10.1201/b15267-184)

10.Figovskij O.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/512](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/512)

11.Kancheli N.V. Stroitel'nye prostranstvennye konstrukcii [Construction and spatial design]. M.: ASV, 2008. 126p.

12.Zanelli A. Fabric Structures in Architecture, 2015. pp.481-527. [doi.org/10.1016/B978-1-78242-233-4.00015-2](https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-233-4.00015-2)