

## К вопросу применения воздухоопорных конструкций

*А.С. Кудасова, А.Д. Тютина, Э.Б. Баширов, В.А. Турянская, В.Э. Нуриев*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** В работе представлены основные тенденции строительства воздухоопорных конструкций общественного назначения в городской среде, проанализированы различные виды конструкций-надувные и воздухоопорные, выявлены основные достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** воздухоопорное здание, временная конструкция, пневматическая структура, мембрана, купол, надувная конструкция, временное сооружение, мобильное сооружение, композитный материал, большепролетное сооружение, многоцелевое пространство.

«Временный» не означает «недолговечный» или «хрупкий», когда речь идет о временных сооружениях общественного назначения. Эти достаточно прочные конструкции имеют продолжительный срок эксплуатации и множество различных областей применения.

Временные строительные конструкции - это многоцелевые мобильные сооружения, которые обеспечивают защиту при любых погодных условиях [1]. Они являются отличной альтернативой традиционным капитальным конструкциям из стали, бетона, кирпича, черепицы, дерева и т.д., а также обладают следующими преимуществами: мобильность и низкая стоимость [2].

В последние годы в качестве многоцелевых переносных временных сооружений общественного назначения достаточно часто и успешно применяются пневматические конструкции. Первые эксперименты с пневматическими конструкциями были предприняты при разработке воздушных шаров. Бразильский священник Бартоломео де Гужман в Лиссабоне в 1709 году провел новаторский эксперимент. Братья Монгольфье построили воздушный шар диаметром 11 м, сделанный из льна и бумаги [3]. После изобретения нейлона, пневматика начала использоваться в военных операциях, в качестве аварийных убежищ и муляжей. История создания подобных структур достаточно продолжительна и уходит вглубь веков,

---

однако реальный отсчет времени для первых, используемых на практике, моделей пневматических зданий следует вести с 1917 года, когда Фредерик У. Ланчестер подал заявку на получение патента на конструкцию с воздушной опорой. В 1920 году Ланчестер зарегистрировал еще один патент на "купольный" выставочный зал с предполагаемым диаметром 329 м. Хотя ни одна из этих структур не была реализована, оба проекта фигурировали в ключевых архитектурных публикациях и могут быть зачислены в качестве предшественников новой технологии.

Пневматическая структура - это мембрана, которая несет нагрузку, возникающую из-за растягивающих напряжений [4]. Ее стабилизация осуществляется путем предварительного напряжения, либо посредством приложения внешней силы, растягивающей мембрану, которая обретает свою структурную целостность благодаря использованию внутреннего сжатого воздуха для надувания оболочки из податливого материала (т.е. структурной ткани). Пневматические формы неизбежно набирают популярность благодаря огромной свободе, которую они предоставляют архитекторам при проектировании больших свободных пространств внутри них.

Пневматическая конструкция обычно имеет форму купола, так как эта форма создает самую прочную структуру с наименьшим количеством материала [5]. Для поддержания структурной целостности конструкция должна находиться под давлением таким образом, чтобы внутреннее давление было равно или превышало любое внешнее давление, прилагаемое к конструкции снаружи, то есть давление ветра и возможных осадков.

Пневматические конструкции условно делятся на воздухоопорные и надувные.

Надувные конструкции состоят, как правило, из двух и более слоев мембран, соединенных вместе [6]. Полость, образованная между слоями,

---

герметизируется и наполняется воздухом, создавая жесткий структурный элемент, который позволяет проектировать конструкции с большими пролетами. Внутреннее давление в надувных конструкциях может быть равно атмосферному.

Воздухоопорные конструкции должны быть воздухонепроницаемыми, чтобы сохранить целостность. Собственная система компрессоров обеспечивает постоянное избыточное внутреннее давление, компенсируя любую утечку воздуха. Доступ к внутренней части помещения должен быть оборудован специальными выходами (шлюзами) т.е. системой дверей, или вращающейся дверью, что предотвратит неконтролируемую утечку воздуха. Поддерживаемые воздухом конструкции крепятся к земле тяжелыми грузами, якорями, прикрепленными к фундаменту, или их комбинацией.

Почти все тканевые конструкции, изготавливаемые сегодня, полностью синтетические. Наиболее распространенными волокнами, используемыми для мембраны, являются стекловолокно или полиэстер. В последнее время все чаще используются многослойные улучшенные композитные покрытия. Армирующие тросы, как правило, изготавливаются из стали, потому что они имеют низкую стоимость, доступность и длительный срок службы.

Новую эру в истории производства надувных тканей, используемых в пневматической архитектуре, ознаменовала технология воздушных ячеек. Надувные воздушные камеры представляют собой усовершенствованные конструкции (часто называемые пневматическими ячейками), изготовленные из двух слоев материала с перпендикулярными перепонками между ними. Надувные здания с воздушными ячейками (или пневматические здания) используются как постоянные конструкции, а не временные, имеют высокую жесткость на кручение, что позволяет им выдерживать ветер до 40 м/сек и снеговую нагрузку до  $140\text{кг/м}^2$ . Они обладают отличными тепло- и

---

звукоизоляционными свойствами и выдерживают температуры от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ожидаемый срок службы надувных зданий зависит от климата, в котором они установлены, и, в частности, от уровня ультрафиолетового излучения, которому подвергаются пневматические конструкции. Практически нет ограничений в отношении геометрии для надувных конструкций - современные спортивные сооружения способны воспроизводить практически любые формы. Однако, для создания необходимой жесткости, следует избегать больших горизонтальных плоскостей [7].

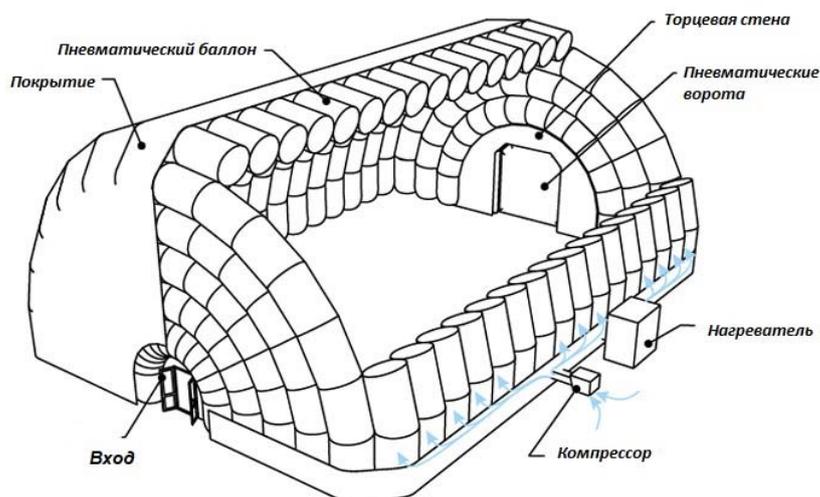


Рис. 1. Схема воздухоопорного здания

Ценные эксплуатационные качества пневматических зданий определяют их широкое применение в городских условиях и позволяют использовать их в самых разнообразных целях:

- пункты питания (кафе, столовые);
- торгово-развлекательные сооружения (театры, цирки, магазины, казино, супермаркеты, рынки);
- культурно-просветительные объекты (лекционные залы, клубы, библиотеки, выставки);

- временные медицинские сооружения (медпункты, госпиталя, пункты размещения населения и т.д.);
- спортивные сооружения (теннисные корты, ринги, игровые площадки, плавательные бассейны, беговые и ледяные дорожки, легкоатлетические сектора) [8].

Имеются определенные преимущества и недостатки по сравнению с обычными зданиями аналогичного размера и применения.

К преимуществам можно отнести:

- более низкую начальную стоимость, чем у зданий из традиционных материалов;
- снижение эксплуатационных расходов за счет простоты конструкции;
- простую и быструю установку, демонтаж и перемещение (только конструкции с воздушной опорой);
- открытое внутреннее пространство;
- использование полупрозрачной ткани, позволят увеличить проникновение естественного солнечного света до 40% [9].

И о недостатках:

- непрерывная работа вентиляторов для поддержания постоянного давления, часто требует резервирования или аварийного энергоснабжения;
- купол разрушается при потере давления или повреждении ткани;
- невозможно достичь нормативных значений теплоизоляции жестких конструкций, что увеличивает затраты на отопление и охлаждение;
- обычные здания имеют более длительный срок службы [10].

Итак, из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- пневматические конструкции в мировой практике все чаще замещают собой временные сооружения других типов;



- современные композитные многослойные мембраны позволяют значительно увеличить срок службы пневматических зданий и повысить их устойчивость к критическим нагрузкам;
- высокие технологические качества пневматических зданий приводят к расширению области их применения.

### Литература

1. Souder C. Temporary Structure Design, USA: John Wiley & Sons, 2014, pp. 145-146.
2. Wahl I. Building Anatomy (McGraw-Hill Construction Series): An Illustrated Guide to How Structures Work, USA: McGraw Hill Professional, 2006, 10 p.
3. Bensaude-Vincent B. Science and Spectacle in the European Enlightenment Science, Technology and Culture, 1700-1945, Great Britain: Routledge, 2016, pp. 5-6.
4. Wouters I., Voorde S., Bertels I, Espion B., Jonge K., Zastavni D. Building Knowledge, Constructing Histories, volume 2: Proceedings of the 6th International Congress on Construction History (6ICCH 2018), July 9-13, 2018, Brussels, Belgium, USA: CRC Press, 2018, pp. 176-177.
5. Allen E., Iano J. Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods, USA: John Wiley & Sons, pp. 64-65.
6. Watts A. Modern Construction Envelopes, Switzerland: Birkhäuser, 2014, pp. 486-487.
7. Silver P., McLean W. Fabrication, UK: Routledge, 2008, pp. 100-109.
8. Евтушенко А.И., Самсонова А.Н., Скуратов С.В. Формообразование конструктивных сетей многогранных непологих куполов // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4183](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4183).



9. Евтушенко А.И., Карамышева А.А., Колотиенко М.А., Брижанов Е. А. Инновационные разработки в области конструктивных и архитектурных решений светопрозрачных кровель аэропортов из стеклянных материалов // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5563](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5563).
10. LeCuyer A. ETFE: Technology and Design, Germany: Walter de Gruyter, 2008, 85 p.

### References

1. Souder C. Temporary Structure Design, USA: John Wiley & Sons, 2014, pp. 145-146.
2. Wahl I. Building Anatomy (McGraw-Hill Construction Series): An Illustrated Guide to How Structures Work, USA: McGraw Hill Professional, 2006, 10 p.
3. Bensaude-Vincent B. Science and Spectacle in the European Enlightenment Science, Technology and Culture, 1700-1945, Great Britain: Routledge, 2016, pp. 5-6.
4. Wouters I., Voorde S., Bertels I, Espion B., Jonge K., Zastavni D. Building Knowledge, Constructing Histories, volume 2: Proceedings of the 6th International Congress on Construction History (6ICCH 2018), July 9-13, 2018, Brussels, Belgium, USA: CRC Press, 2018, pp. 176-177.
5. Allen E., Iano J. Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods, USA: John Wiley & Sons, pp. 64-65
6. Watts A. Modern Construction Envelopes, Switzerland: Birkhäuser, 2014, pp. 486-487
7. Silver P., McLean W. Fabrication, UK: Routledge, 2008, pp. 100-109
8. Evtushenko A.I., Samsonov A.N., Skuratov S.V. Inzenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4183](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4183).



9. Evtushenko A.I., Karamysheva A.A., Kolotienko MA, Brizhanov E.A. Inzenernyj vestnik Dona (Rus), 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5563](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5563).
10. LeCuyer A. ETFE: Technology and Design, Germany: Walter de Gruyter, 2008, 85 p.