

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ

*Ю.К. Осипов, О.В. Матехина*

*E-mail:* olgamatekhina@yandex.ru

**Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия**

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы применения пневматических конструкций для создания современных архитектурных сооружений как временных, так и стационарных, создающих новую искусственную среду обитания на базе природных форм.

*Ключевые слова:* пневматические конструкции, формообразование, архитектурная среда.

## PNEUMATIC STRUCTURES IN FORMATION OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

*Yu.K. Osipov, O.V. Matekhina*

*E-mail:* olgamatekhina@yandex.ru

**Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia**

*Abstract.* The paper focuses on the pneumatic structures used for designing modern architectural structures, both temporary and stationary, that create a new artificial habitat based on natural forms.

*Keywords:* pneumatic structures, form making, architectural environment.

Пневматические конструкции находят широкое применение во многих областях экономики. Популярность пневмоопорных (конструкции, которые обеспечивают свою структурную целостность за счет избытка внутреннего давления воздуха, действующего на гибкие оболочки) и пневмокаркасных (составляющие несущую основу сооружения арки или продольные блоки, заполненные сжатым воздухом) конструкций обусловлена, прежде всего, большой степенью компактности в упакованном виде, малым сроком монтажа-демонтажа, легкостью, возможностью использования в труднодоступных местах вследствие относительной простоты транспортировки.

Например, вес, приведенный к единице площади сооружения, железобетонных зданий пролетом 18 – 24 м составляет 300 – 350 кг/м<sup>2</sup>, строений из легких металлических ограждений – 40 – 50 кг/м<sup>2</sup>, а приведенный вес пневматических конструкций бьет все существующие рекорды и составляет 1,5 – 2,0 кг/м<sup>2</sup>. Если перекрыть надувной

оболочкой площадь 1000 м<sup>2</sup>, то вес такой оболочки составит всего две тонны, то есть для перевозки всего сооружения потребуется одна машина, а для его возведения – всего несколько часов.

На основе пневматических конструкций возводятся выставочные павильоны, спортивные сооружения, промышленные здания, кафе, рестораны, хранилища и так далее [1]. Надувные купола удобны в качестве «тепляков» для производства строительных работ в зимнее время. В странах с жарким климатом под надувными прозрачными куполами, отражающими инфракрасные солнечные лучи и пропускающими ультрафиолет, строятся стадионы и выставочные комплексы, в Заполярье купола из пленок позволяют сохранить благоприятный микроклимат.

Однако остается еще много проблем в конструировании пневмоопорных конструкций, в решении которых может помочь живая природа. Пневмоопорные конструкции ввиду их легкости и эластичности деформируются от сильных ветровых нагрузок, ливней, снеговых заносов, что

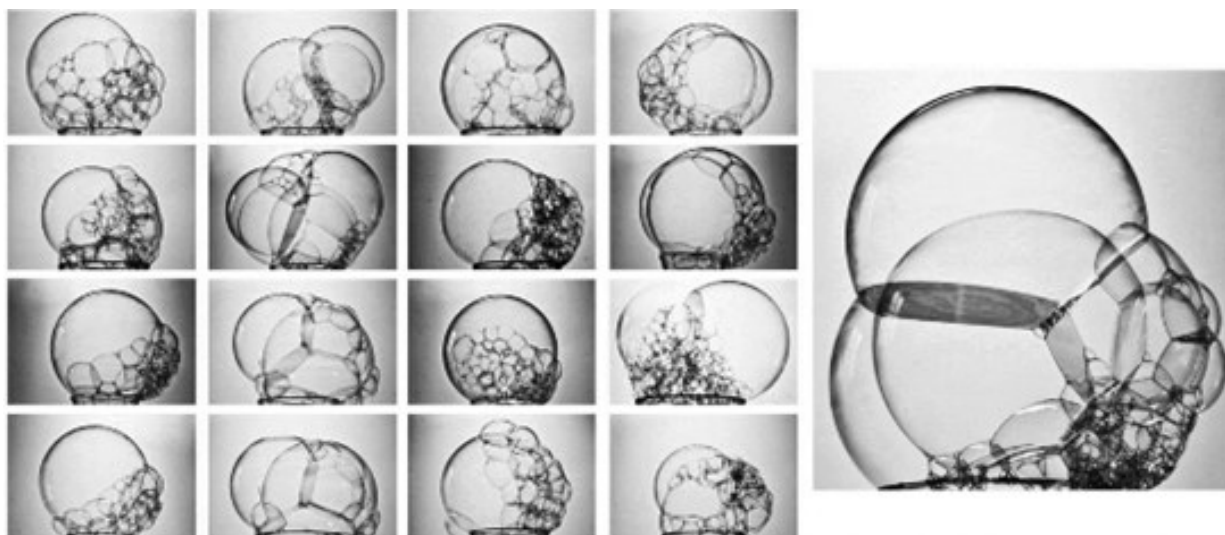


Рис. 1. Эксперименты Ф. Отто по поиску формы

представляет собой определенную проблему с точки зрения статики. Это приводит к необходимости использования более тяжелых материалов для оболочек и, следовательно, более мощного электрооборудования для поддержания внутреннего давления. Одно из возможных решений этой проблемы – поиск форм конструкций, геометрия которых способствует получению минимального аэро-гидродинамического коэффициента сопротивления [2]. Примеры оптимальных форм можно найти в живой природе, достижению которых способствуют те же конструктивные принципы и средства, которые действуют и применяются в пневмогидросистемах: преднапряженность клеток водой и воздухом, а также эластичность живых тканей. Примером могут служить листья и стебли растений, лепестки цветов, морские животные и рыбы и т.п. Их формы обтекаемы, но каждая приобретает свой характер в зависимости от условий той среды, в которой она находится.

Построенные человеком аэрогидростатические формы должны максимально отвечать характерным условиям нагрузок, действующих в конкретной среде и месте строительства, в этом случае можно говорить об их рациональности. Создание первых аэрогидростатических конструкций натолкнуло на мысль использовать ценные свойства живой природы в дальнейшем развитии таких систем. Аэрогидростатическое давление в живых организмах активно влияет на их формирование, в результате чего возникают разнообразнейшие комбинации форм (плавательные пузыри рыб, патиссоны, яблоки, помидоры и т.д.), в них почти отсутствуют арматурные ткани, тем не менее они упруги.

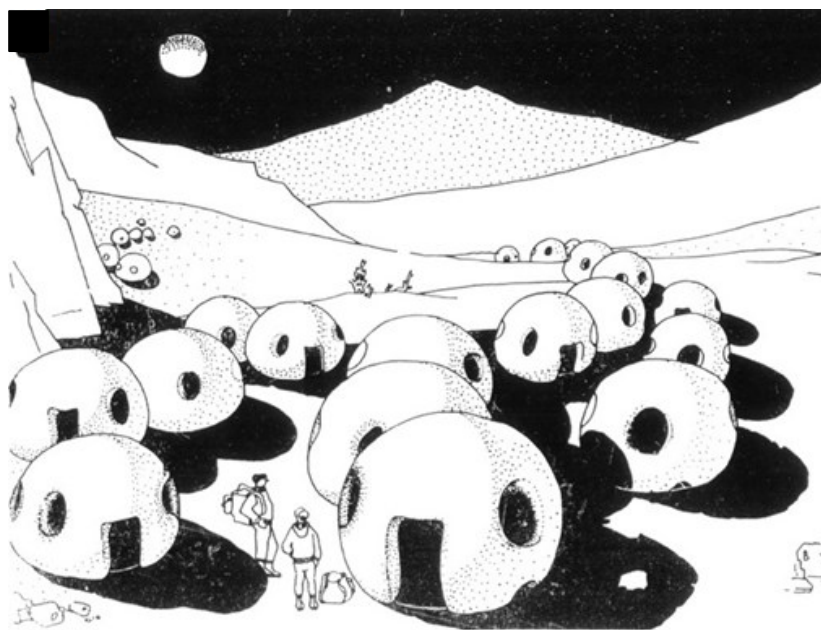
Родоначальником исследований по механизмам формообразования пневматических конструкций считается немецкий архитектор Ф. От-

то. Он пытался найти идеальную форму (с минимальной площадью поверхности) в ходе экспериментов с мыльными пузырями (рис. 1). Природные аналоги пневматических оболочек организованы симбиотически и нет различий между структурой, формой и материалом. Отто сотрудничал с учеными различных научных направлений (математиками, химиками, биологами) и создал множество типов пневматических форм.

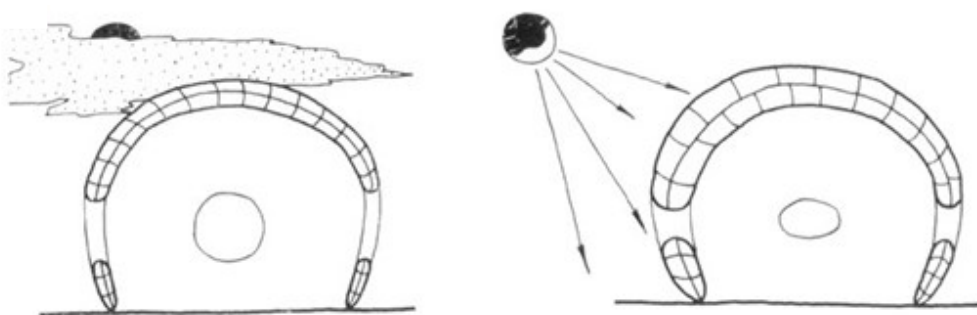
Попытки создания мобильных пневмоархитектурных сооружений одним из первых принял архитектор Ю.С. Лебедев, руководитель лаборатории архитектурной бионики. Им был предложен проект мобильного туристического городка из пневмокаркасных конструкций для условий жаркого климата (рис. 2). В конструкциях использовался принцип авторегуляции в аэрогидростатических системах, в частности свойства газов расширяться и изменять свой цвет в зависимости от изменения температуры и солнечного облучения. Смесь газов, заключенная между двумя упругими и прозрачными пленками (покрытия оранжереи или туристической палатки) под давлением, с усилением инсоляции увеличивалась бы в объеме и меняла цвет с теплых тонов на холодные и наоборот, повышая изолирующую способность покрытия.

«Использование свойств расширения воздуха или каких-либо смесей газов от перегрева создаст возможность автоматической регуляции микроклимата помещений. Здесь может дать эффект автоматического увеличения толщины покрытия надувных оболочек в связи с расширением от повышения температуры газов», – пишет Ю.С. Лебедев [3].

Мобильность и легкость пневматических конструкций позволяет их использовать в качестве временных сооружений в труднодоступных



*a*



*б*

Рис. 2. Авторегулирующаяся аэростатическая система, архитектор Ю.С. Лебедев:

*a* – общий вид туристического городка; *б* – схема изменения формы «палатки» в связи с изменением солнечного освещения

местах, а также в качестве передвижных легко-возводимых зданий. Как пример можно привести необычный концертный зал, получивший название «Ark Nova», сделанный из пропускающей свет мембраны фиолетового цвета (рис. 3). Авторы: британский скульптор Аниш Капур и японский архитектор Арата Исозаки, 2013 г. Форма здания напоминает гигантский пончик. В надутом виде зал высотой 35 м вмещает примерно 500 зрителей. Акустику в зале обеспечивают специальные панели и экраны. Сооружение может быть надуто всего за два часа, а полностью собрать или разобрать его рабочие могут за сутки.

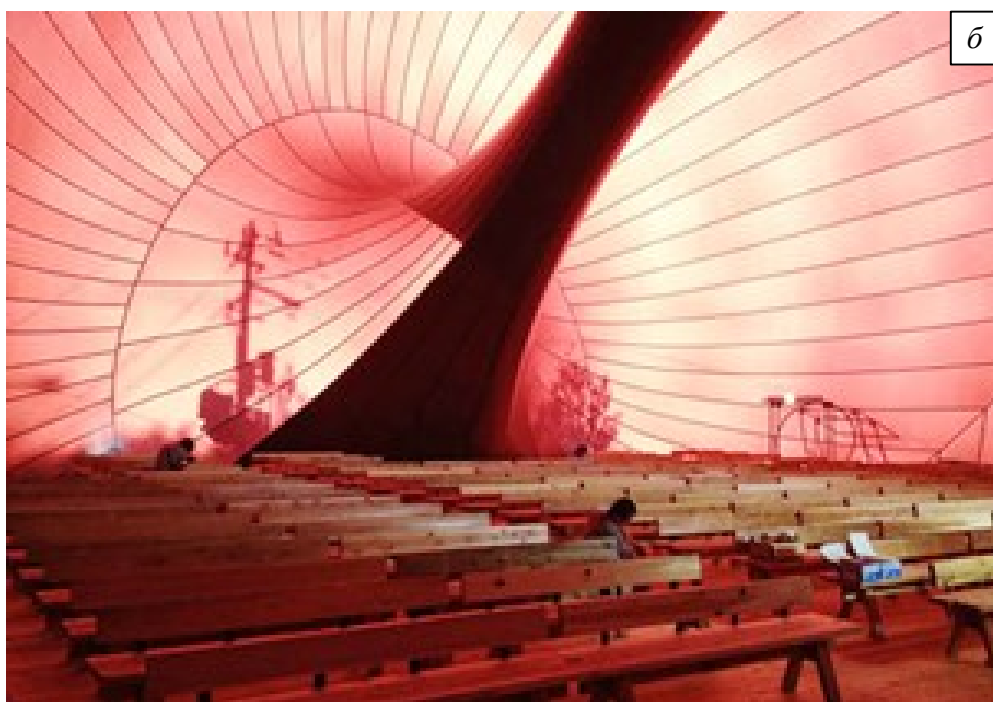
На всемирных выставках в Монреале и Осаке было возведено большое количество разнообразных павильонов с использованием пневматических конструкций. Выставочные сооружения носят временный характер, и использование таких конструкций наиболее оправдано. Ярким примером может служить павильон фирмы

«Фуджи» на ЭКСПО-70. Он состоит из 16 связанных между собой пневматических арок, объединенных продольными связями и установленными на кольцевом фундаменте диам. 50 м. Длина дуги арок – 71,3 м, диаметр сечения – до 4 м. Высота сооружения от 25 м, в середине до 31,6 м (рис. 4). Торцы павильона закрыты пневмооболочками. Внутренний объем помещения 87 тыс. м<sup>3</sup>.

Еще один пример продолжения работ Ф. Отто – построенный архитектором Николасом Гримшоу в графстве Корнуолл в Великобритании ботанический сад «Эдем». Дизайнер Садов Эдем был вдохновлен мыльными пузырями, которые с легкостью адаптируются к любой поверхности, на которую они опускаются. В составе комплекса – два оранжерейных комплекса «биома» из связанных друг с другом прозрачных полусфер (рис. 5). В одной из биом тропический климат, в другой – климат Средиземноморья.



а



б

Рис. 3. Общий вид (а) и интерьер (б) концертного зала «Ark Nova»

Этот ботанический сад стал частью программы «Миллениум», призванной продемонстрировать глобальную связь человека и растительного мира. Традиционный материал для оранжерейных и ботанических комплексов – стекло, но Сады Эдема исключение. На их геодезические купола из стальных шестиугольных рам натянут фторполимерный сверхлегкий прозрачный тефлон ETFE. Панели на основе ETFE весят на 99 % меньше, чем стеклянные, при этом материал пропускает 90 % солнечного света, что очень важно для растений. Сады Эдема являются самым «легким» ботани-

ческим садом в мире. При этом самый большой купол имеет высоту 50 м.

Современная архитектура использует новые материалы, которые обладают уникальными свойствами и позволяют осуществлять объемно-пространственную трансформацию сооружений [4, 5]. Это и стадион «Allianz Arena» архитекторов Херцог и де Мерон, Мюнхен, Германия, 2005 г., раздвижная крыша которой площадью 20 тыс. м<sup>2</sup> покрыта многослойными подушками ETFE и опирается на купольную конструкцию пролетом 310 м, и торгово-развлекательный





Рис. 4. Павильон фирмы Фуджи

центр Хан-Шатыр, Казахстан, 2006 г. (рис. 6), и спортивная арена «Singapore Sports Hub», бюро «Agur», Сингапур, 2014 г. с раздвижной крышей из пневматических оболочек.

#### **Выводы**

Пневматические конструкции, долгое время используемые только в качестве временных

(чаще всего промышленных) сооружений, теперь обретают новую жизнь. В настоящее время стало актуальным использовать мобильные пневматические сооружения, в частности ковидные госпитали, которые сыграли решающую роль в период быстрого роста заболеваний, в особенности в отдаленных регионах России.



Рис. 5. Сады Эдема, Корнуолл, Великобритания



Рис. 6. Торгово-развлекательный центр «Khan Shatyr», бюро «Foster and Partners», Астана, Казахстан

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Архитектурные конструкции гражданских зданий. В 3 ч. Ч. III. Крыши и большепролетные покрытия. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2020. – 138 с.
2. Колейчук В.Ф. Новейшие конструктивные системы в формировании архитектурной среды. – М.: БуксМАрт, 2016. – 127 с.
3. Лебедев Ю.С. Бионика и город будущего. – В кн.: Город и время. Сборник статей / Е. Беляева, М. Витвицкий, Э. Гольдзамт и др. – М.: Стройиздат, 1973. С. 160 – 178.
4. Пшеничникова К.А. Предпосылки формирования пневматических конструкций в современной архитектуре. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=823> (дата обращения: 01.02.2021 г.).
5. Пшеничникова К.А. Особенности формирования пневматической архитектуры в XXI веке. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=868> (дата обращения: 01.02.2021 г.).

© 2021 г. Ю.К. Осипов, О.В. Матехина  
Поступила 3 февраля 2021 г.