

Плужникова Анна Павловна,
Студент 2 курса кафедры основ архитектуры,
Государственный университет по землеустройству

Рябушкина Софья Евгеньевна,
Студент 2 курса кафедры основ архитектуры,
Государственный университет по землеустройству

Научный руководитель:
Кошкин Андрей Корнилович,
Старший преподаватель,
Государственный университет по землеустройству

ПНЕВМОКАРКАСНЫЕ КОНСТРУКЦИИ: ИННОВАЦИИ, РАСЧЕТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. Пневмокаркасные конструкции являются инновационным типом быстровозводимых сооружений, где несущая способность обеспечивается избыточным давлением воздуха в эластичных элементах. В работе рассматриваются история развития, принцип работы, конструктивные особенности и современные материалы, применяемые в данной технологии.

Ключевые слова: Пневмокаркасные конструкции, быстровозводимые сооружения, внутреннее давление воздуха, расчёт нагрузок, мембранные материалы.

Введение

Определение и общая характеристика пневмокаркасных конструкций

Пневмокаркасные конструкции представляют собой особый тип быстровозводимых сооружений, в которых несущая способность создаётся не благодаря традиционному жёсткому каркасу, а за счёт **внутреннего избыточного давления воздуха** в эластичных полых элементах. Эти элементы изготавливаются из прочных, многослойных материалов, устойчивых к механическим воздействиям и климатическим условиям. Благодаря простоте транспортировки, малому весу и возможности многократного использования такие конструкции часто применяются в условиях, где необходима оперативная организация функционального пространства.

Пневматический каркас выполняет роль гибкой, но достаточно жёсткой основы, позволяющей формировать сооружения самых разных конфигураций: от небольших палаточных модулей до крупных ангаров, спортивных павильонов и временных общественных зданий.



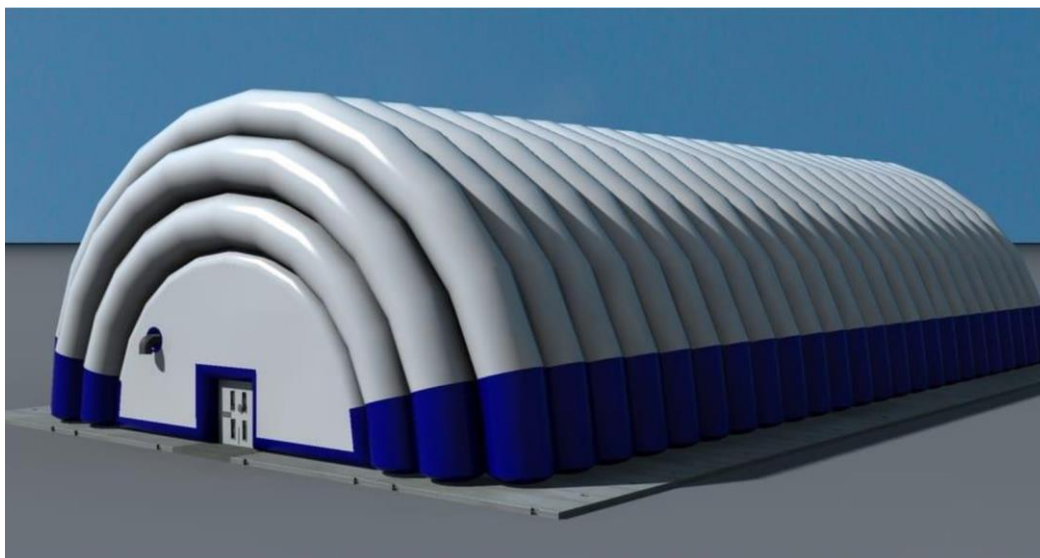


Рисунок 1. Пример арочной пневмокаркасной конструкции

История и эволюция пневмокаркасных конструкций

Истоки применения пневматических конструкций относятся к середине XX века, когда активно развивались технологии производства синтетических тканей и воздухонепроницаемых покрытий. Одними из первых пользователей таких систем стали военные подразделения и гуманитарные организации, нуждавшиеся в мобильных укрытиях для оперативного размещения личного состава, оборудования или медицинских пунктов.

В последующие десятилетия совершенствование полимерных материалов, появление армирующих волокон (кевлар, полиэфир, углеродные нити), а также прогресс в области автоматических компрессоров привели к созданию более прочных и долговечных конструкций.

Сегодня пневмокаркасные сооружения используются не только в экстремальных условиях, но и в гражданской архитектуре – от временных павильонов на массовых мероприятиях до стационарных спортивных комплексов. Технология продолжает развиваться, расширяя диапазон архитектурных и инженерных решений.

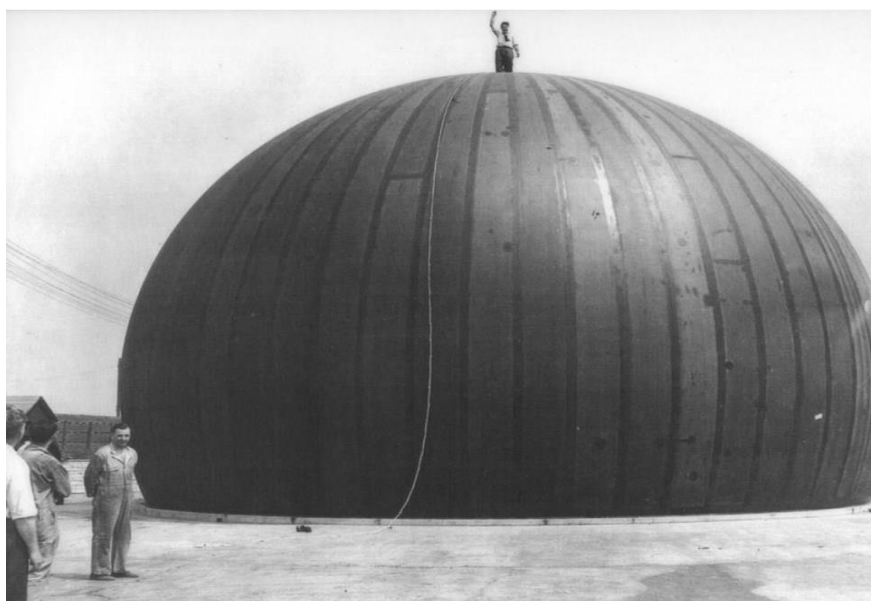


Рисунок 2. Первое в мире воздухоопорное здание.



Принцип работы и конструктивные особенности

Функционирование пневмокаркасной конструкции основано на принципе преобразования внутреннего давления в пространственную жёсткость оболочечных элементов. Каждый пневмоэлемент представляет собой герметичную трубчатую структуру, изготовленную из многослойного материала с высокой разрывной прочностью.

При подаче воздуха внутренняя полость расширяется, и элемент приобретает форму, заданную конструктивными ограничителями и конфигурацией оболочки. Совокупность таких элементов формирует стабильный каркас, на который устанавливается внешнее покрытие – тентовая ткань, мембрана или многослойная оболочка.

Современные конструкции могут включать:

- **встроенные системы поддержания давления**, позволяющие компенсировать его утечки;
- **дублирующие воздушные камеры**, повышающие надёжность;
- **жёсткие вставки**, регулирующие геометрию сооружения;
- **усиленные узлы крепления**, обеспечивающие герметичность и устойчивость.

Преимущества пневмокаркасных конструкций

Главными достоинствами таких систем считаются:

- **Высокая скорость монтажа.** Конструкция может быть развернута от нескольких минут до нескольких часов, что критически важно в условиях ЧС или быстрого изменения инфраструктуры.
- **Экономичность.** За счёт отсутствия металлических или деревянных каркасов сокращаются материальные и транспортные затраты.
- **Мобильность.** Пневмокаркасное сооружение легко переносить, перевозить и хранить, оно занимает минимум места в демонтированном виде.
- **Универсальность.** Конструкции успешно применяются как временные, так и долгосрочные решения.
- **Энергоэффективность.** Однородная оболочка сокращает теплопотери и улучшает внутренний микроклимат.

Недостатки и ограничения

Несмотря на значительные преимущества, технология имеет ряд специфических ограничений:

- Зависимость от насосного оборудования или систем контроля давления.
- Более ограниченный срок службы материалов оболочки по сравнению с капитальными строительными системами.
- Необходимость регулярного осмотра, профилактики и своевременной герметизации.
- Уязвимость к проколам или разрывам, хотя современные материалы позволяют значительно снизить риск критических повреждений.

Области применения

Благодаря адаптивности и простоте эксплуатации, пневмокаркасные конструкции используются в следующих сферах:

- **мероприятия и выставки** (павильоны, сцены, зоны ожидания);
- **медицинские и спасательные комплексы** (мобильные госпитали МЧС, временные операционные);
- **военные и гуманитарные лагеря**;
- **промышленность** (укрытия для техники, производственные модули);
- **спорт и туризм** (манежи, тренировочные залы, навесы, кемпинговые зоны).





Рисунок 3. Полевой лагерь МЧС

Технические аспекты

Современные пневмокаркасные сооружения изготавливаются из:

- многослойных ПВХ-материалов,
- термополиуретановых тканей,
- армированных синтетических полотен,
- композитных мембран.

Материалы обладают высокой устойчивостью к УФ-излучению, влаге, перепадам температур и механическим воздействиям.

Системы накачки бывают:

- ручные,
- электрические,
- автономные с датчиками давления.

Кроме того, большое значение имеют технологии сварки и склейки швов, обеспечивающие герметичность, а также конструктивные решения, позволяющие распределять нагрузки по поверхности.

Расчёт нагрузок пневмокаркасных конструкций

Корректный инженерный расчёт – ключевой этап проектирования. Он включает анализ:

1. Внутреннего давления.

Устанавливается исходя из максимальных возможных внешних воздействий. Формируется баланс между упругостью материала и ожидаемыми нагрузками.

2. Геометрии конструкции.

Конфигурация и размеры пневмоэлементов определяют их несущую способность. Крупные элементы требуют большего давления, но обеспечивают большую устойчивость.

3. Свойств материала.

Прочность, эластичность, сопротивление разрыву и проколу – основные параметры, определяющие возможность восприятия нагрузок.

4. Ветровых и снеговых воздействий.

Учитываются климатические нормы региона, аэродинамические особенности формы сооружения и условия эксплуатации.

5. Динамических нагрузок.

Колебания конструкции под влиянием деятельности людей, техники и оборудования могут вызвать усталостные повреждения, учитываться в расчётах.



Для анализа применяются методы компьютерного моделирования, включая метод конечных элементов, позволяющий оценить распределение напряжений и прогнозировать работу конструкции при различных условиях. Комплексный подход обеспечивается сочетанием численного моделирования и экспериментальных испытаний.

Будущее пневмокаркасных конструкций

Перспективы развития данной технологии связаны с созданием новых материалов — сверхпрочных композитов, нанополимеров, интеллектуальных тканей, способных автоматически регулировать давление или изменять жёсткость. Особый интерес вызывает использование пневмокаркасных систем:

- в малоэтажном и временном жилье,
- в строительстве инфраструктуры для труднодоступных регионов,
- в создании модульных комплексов для экстремальных условий,
- в проектировании автономных систем жизнеобеспечения.

Современные исследования направлены на повышение долговечности, энергоэффективности и экологичности таких конструкций.

Нагрузки могут вызывать колебания, которые учитываются при расчете на устойчивость.

Методы расчета нагрузок включают численные методы, такие как метод конечных элементов, и экспериментальные испытания моделей. Использование компьютерного моделирования позволяет учитывать множество факторов и оптимизировать конструкцию для конкретных условий эксплуатации.

Будущее пневмокаркасных конструкций.

Постоянные инновации в материалах и технологиях поддерживают развитие пневмокаркасных конструкций. Разработки новых полимеров и наноматериалов могут повысить прочность и долговечность. Перспективные направления включают использование в жилом строительстве и инфраструктуре для отдаленных районов.

Заключение

Пневмокаркасные конструкции представляют собой гибкое и перспективное направление в современной архитектуре и строительстве. Их способность быстро разворачиваться, экономить ресурсы и адаптироваться под различные задачи делает их востребованными в самых разных областях. Правильный инженерный расчёт, современная материальная база и инновационные технологии позволяют создавать надёжные, долговечные и универсальные сооружения, потенциал которых будет только расширяться в ближайшие годы.

Список литературы:

1. И.А. Синянский, А.В.Севостьянов, В.А.Севостьянов, Н.И. Манешина, «Типология объектов недвижимости» УДК 347.214.2(075.8), ББК 38я73, ISBN 978-5-4468-0232-6 Учебник для студентов учреждений высш. проф. образования М.: Издательский центр «Академия»2013.-320 с.-(Сер. Бакалавриат).
2. Кошкин А.К., Лазарева Т.Л. «Арболит - эффективный ресурсосберегающий материал для малоэтажного строительства».Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2017. Т. 3. С. 257-262.
3. И. А. Синянский, А. К. Кошкин, И. А. Леоненко. «Предложения по архитектурно-планировочным, конструктивным и экономическим решениям мобильных зданий для агропромышленного комплекса» (АПК). — Системные технологии. – 2023. – № 4 (49). – С. 120 - 126.
4. Allen, T., & Walker, P. (2021). Structural Analysis of Pneumatic Frameworks.

