

Шумкаева Е. П.

Студент 4 курс

факультет «Атомной энергетики и технологий»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Россия, г. Балаково

Дрындина И. В.

Студент 4 курс

факультет «Атомной энергетики и технологий»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Россия, г. Балаково

Ращепкина С. А.

кандидат технических наук, доцент

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Россия, г. Балаково

БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены основные разновидности большепролетных пространственных конструкций покрытий, применяемых в зданиях и сооружениях различного назначения. Проанализированы их достоинства и недостатки, дана краткая характеристика и приведены примеры их применения. Показано, что рассмотренные пространственные конструкции позволяют осуществлять оптимальное распределение нагрузок, поскольку большая часть поверхности этих оболочек работает на сжатие,

в то время как растяжение концентрируется лишь в линейных элементах краев.

Ключевые слова: *покрытия, оболочки, гипары, складки, анализ.*

Shumkaeva E. P.

student 4rd year, Faculty of Nuclear Energy and Technology Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute). Russia, Balakovo

Dryndina I. V.

student 4rd year, Faculty of Nuclear Energy and Technology Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute). Russia, Balakovo

Rashchepkina S. A., *candidate of technical sciences, associate professor, Faculty of Nuclear Energy and Technology Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute). Russia, Balakovo*

LARGE-SPAN SPATIAL COATINGS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Annotation. *The article discusses the main varieties of large-span spatial structures of coatings used in buildings and structures for various purposes. Their advantages and disadvantages are analyzed, a brief description is given and examples of their application are given. It has been shown that the spatial structures discussed allow optimal load distribution, since most of the surface of these shells is compressed, while tension is concentrated only in the linear elements of the edges.*

Keywords: *coatings, shells, hyparas, folds, analysis.*

Введение. Пространственные большепролетные покрытия играют ведущую роль в создании сооружений с просторными внутренними объемами, таких как ангары, цирки, стадионы, торговые площади, автостоянки и другие объекты, требующие больших пролетов. Различные поверхности покрытий – оболочки, складки, гипары имеют различные поверхности, обладающие минимально возможной толщиной и, соответственно, весом и материалоемкостью; при этом выделяются своей высокой несущей способностью [1-13]. Эта характеристика достигается за счет их уникальной геометрии, позволяющей им функционировать как эффективные пространственные несущие системы.

Большепролетные конструкции широко рассмотрены многими исследователями. В работе [1] содержится информация и приближенный расчет широкого круга пространственных строительных конструкций; при этом особое внимание уделено покрытиям с применением металла. В работе [2] на основе анализа творческих концепций, архитектурной формы и конструкторских решений, значимых гиперболоидных решений делаются выводы о роли исследуемых поверхностей в строительной практике. Рассмотрены особенности и свойства гиперболических поверхностей, применение которых стало большим техническим прорывом. В статье [3] рассмотрено проектирование большепролетных, тонкостенных складчатых конструкций, где приведены основные виды и материалы конструкций, основное их применение «тогда и сейчас». Рассмотрен основной принцип работы большепролетных складчатых конструкций. В работе [4] содержатся основы конструктивного решения пространственных покрытий из железобетона. В статье [5] приводится расчет непологих оболочек, где получена полная система статических уравнений равновесия в прямоугольных координатах. Авторы не обнаружили четкого анализа покрытий с указанием достоинств, недостатков и применения пространственных покрытий в зданиях и сооружениях.

Цель работы – выявить особенности, преимущества, недостатки и применение каждого типа покрытия большепролетных конструкций в зданиях и сооружениях.

Для создания конструкций большепролетных покрытий применяются различные материалы: железобетон, дерево, армоцемент, металл, стекло.

Большепролетные покрытия классифицируют:

- ❖ цилиндрические оболочки;
- ❖ складчатые конструкции;
- ❖ шедовые покрытия;
- ❖ оболочки положительной и отрицательной гауссовой кривизны.

Рассмотрим каждый тип большепролетной пространственной конструкции покрытия подробнее.

1. Цилиндрические оболочки. Они определяются пролетом l_1 и шириной конструкции или длиной волны l_2 (рис.1). Отношение между пролетом l_1 и шириной l_2 существенно влияет на механизм действия оболочки. Оболочка с увеличенным пролетом l_1 демонстрирует поведение, аналогичное поведению балки, в то время как сокращение этого параметра приближает ее работу к арочной конструкции. Цилиндрические оболочки классифицируются на однопролетные и многопролетные, а также различают одноволновые, и многоволновые конструкции.

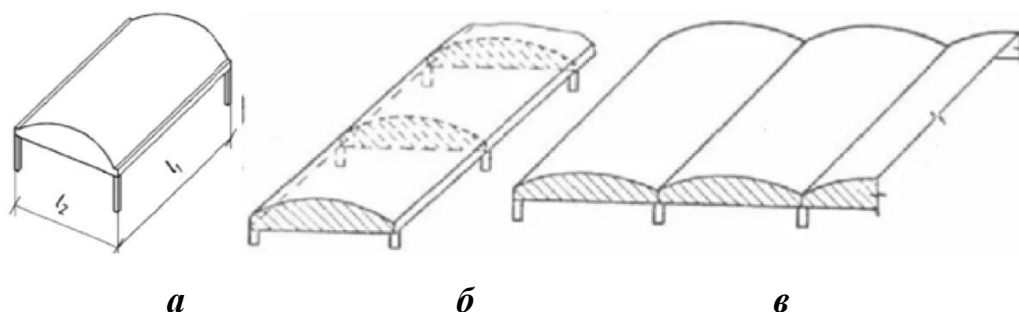


Рис. 1 – Типы цилиндрических оболочек [4]:

а – однопролетная; б – многопролетная; в – многоволновая

Конструкции оболочек способны охватывать расстояния от 15 м до 30 м, однако зафиксированы примеры охвата пролетов на 36 м и даже 50 м.

Достоинства:

- ❖ возможность перекрывать большие пролеты;
- ❖ высокая прочность и жесткость;
- ❖ простота изготовления и монтажа;
- ❖ эстетическая привлекательность;
- ❖ гибкость в дизайне.

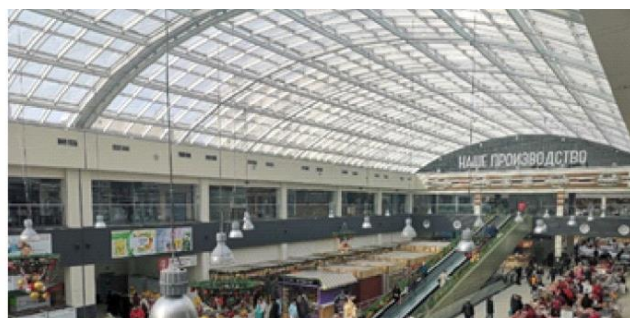
Недостатки:

- достаточно большая трудоемкость их изготовления;
- проблемы с теплоизоляцией из-за криволинейной формы;
- ограничение внутреннего пространства.

Применение. Цилиндрическое стеклянное покрытие используется в здании ЦУМа в г. Москве. Такое покрытие используют в рынках и павильонах, вокзалах; например, покрытие Центрального рынка в г. Воронеж (рис.2). Центральный вокзал в Германии также перекрывается цилиндрической оболочкой.



а



б

Рис.2 – Покрытия цилиндрическими оболочками: а – центральный вокзал, г. Франкфурт, Германия [7]; б – центральный рынок, г. Воронеж [8]

2. Складки. В складки некоторых случаях являются высокотехнологичными конструкциями, а эффективная их форма оказалась предпочтительнее по сравнению с цилиндрическими оболочками. Складчатые конструкции представляют собой систему, образованную наклонёнными плоскостями относительно горизонтали под углом в пределах 30°. Размеры пролётов таких покрытий обычно варьируются от 12 м до 36 м. Складки

образуются из последовательно повторяющихся элементов, которые по краям и в пролете опираются на диафрагму жесткости. Такие конструкции проектируют с одним или несколькими пролетами. Они могут быть одноволновые или многоволновые (рис.3). Наибольшее распространение получили железобетонные складчатые конструкции [3].

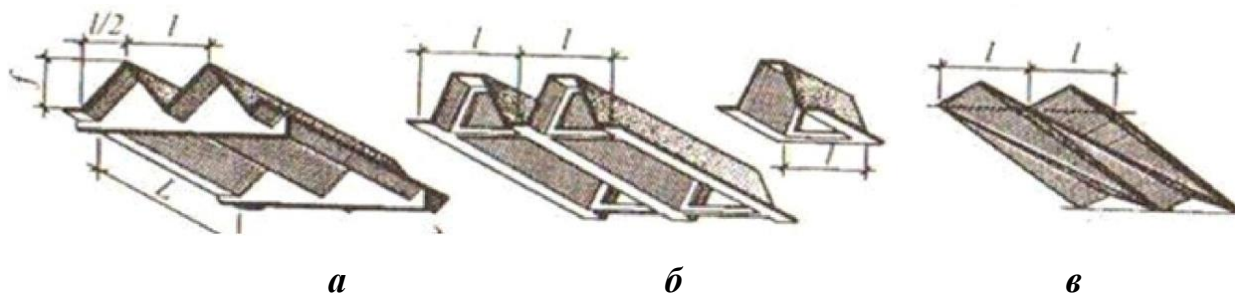


Рис. 3 – Виды складок для покрытий зданий [3]:

а – пилообразная; б – трапецидальная; в – треугольная

В качестве материала для складок можно использовать армированный железобетон и клеёная древесина. Наибольшую популярность для складок обрел профилированный металлический лист.

Достоинства:

- ❖ простота изготовления;
- ❖ возможность перекрытия больших пролетов;
- ❖ большие возможности заводского сборного изготовления;
- ❖ имеют малый собственный вес;
- ❖ многообразие форм.

Недостатки:

- проблемы с теплоизоляцией;
- большой расход материала.

Применение. Конструкции со складками треугольного типа применены в покрытии вокзала в Лиссабоне. Складчатая оболочка трапециидального типа нашла применение на Курском вокзале в г.Москва (рис.4, б).



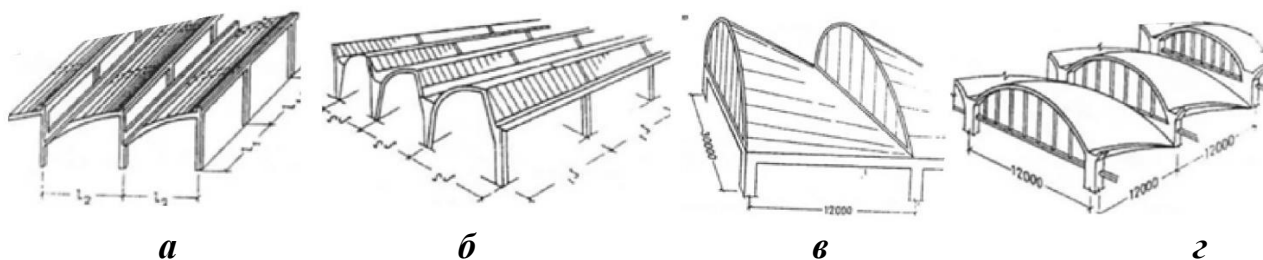
а



б

Рис. 4 – Складчатое покрытие: а – главный вход вокзала, г. Лиссабон, Португалия [9]; б – Курский вокзал, г. Москва [3]

3. Шедовые конструкции покрытия. Шедовое покрытие создается на основе цилиндрических элементов, которые располагаются под углом. Такая конструкция покрытия включает в себя следующие сечения: зубчатые, пилообразные или коноидальные (рис.5). Шедовое покрытие способно преодолевать пролеты до 48 м, имея при этом длину волны до 12м.



а

б

в

г

Рис. 5. Шедовые покрытия [1, 4]: а, б – с зубчатым и пилообразным профилем; в – с железобетонными арочными диафрагмами; г – коноидальная оболочка

Достоинства:

- ❖ интеграция несущих элементов и ограждающих структур;
- ❖ минимальное использование стройматериалов;
- ❖ повышенная жесткость и прочность;
- ❖ способность перекрытия достаточно больших пролётов.

Недостатки:

- большая затратность производства;
- постоянное обслуживание.

Применение. В настоящее время шедовые крыши используются не только в промышленных цехах и складах, но и в обычных домах, как энергоэффективный механизм [6]. Шедовая крыша зубчатого профиля иногда применяют в частном доме, Швейцария (рис. 6).



а

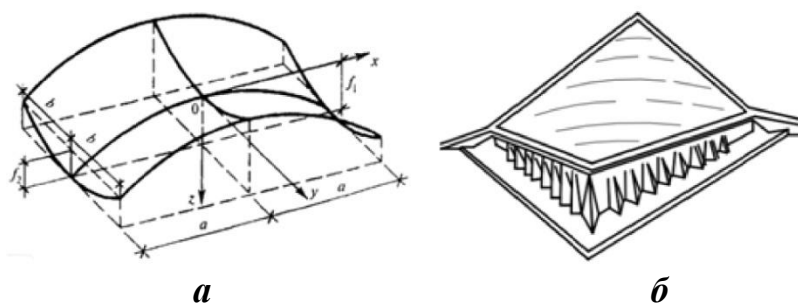
б

Рис. 6 – Шедовые покрытия в гражданских зданиях [10]:

а – вид здания; б – здание на возвышенности

4. Оболочки отрицательной гауссовой кривизны (гипары).

Конструкция покрытия с отрицательной кривизной представляет поверхность гиперболического параболоида (гипара). Эта форма создает оболочку, возвышающуюся над прямоугольным основанием с размерами в длину $2a$ и в ширину $2b$, которая формируется с помощью двух парабол. При этом одна из них изогнута вверх с высотой подъема f_1 над длинной стороной основания $2a$, а другая изогнута вниз с глубиной прогиба f_2 над короткой стороной основания $2b$ (рис.7).



а

б

Рис. 7 – Оболочки отрицательной гауссовой кривизны [1]:

а - схема оболочки; б – однолепестковый гипар

Покрытие в виде гипаров выполняется из монолитного и сборного железобетона, армоцемента, дерева с гладкой внутренней поверхностью, стекла. Конструкция покрытия в виде гипара способна перекрывать пролеты

10...70м, а иногда пролеты достигают до 100 м. Возникающий распор воспринимается затяжками и ребрами, расположенными по контуру. В монолитном строительстве гиперболических поверхностей широко применяется элемент, внешне напоминающий лепесток (рис.7, б). Гипары являются образцом передовых технологий в архитектуре и строительстве, которые объединяют в себе практичность и визуальную привлекательность здания и сооружения [2].

Достоинства:

- ❖ устойчивость и пространственная жесткость;
- ❖ равномерное распределение нагрузки;
- ❖ удобство отвода осадков;
- ❖ эстетическая привлекательность.

Недостатки:

- сложность проектирования;
- сложность обслуживания;
- большие затраты на строительство.

Применение. Такое покрытие можно найти не только в обычных зданиях, но и в мостостроении. Примером является мост Мира в г. Тбилиси, Грузия (рис.8, а). Данный объект архитектуры подразумевает наличие стального каркаса длиной 156 метров и облицовки из стекла. Основание моста формируют четыре прочные стойки. Примером многолепесткового гипара служит океанографический музей в г. Валенсия, Испания (рис.8, б).



а



б

Рис. 8 – Покрытия с оболочками с разной кривизны: а – мост Мира в Тбилиси, Грузия [11]; б - Валенсия, Испания [2]

5. Оболочки положительной кривизны. Создание такого покрытия происходит благодаря перемещению кривой с круговым (параболическим) профилем в двух направлениях. Эти оболочки эффективно используются для создания покрытий, имеющих приблизительно квадратные очертания. Железобетонные пологие оболочки могут перекрывать помещения с прямоугольным планом, приближающимся к квадратному, в пределах 12...120 м. Покрытие может иметь одноволновую или многоволновую оболочку (рис. 9).

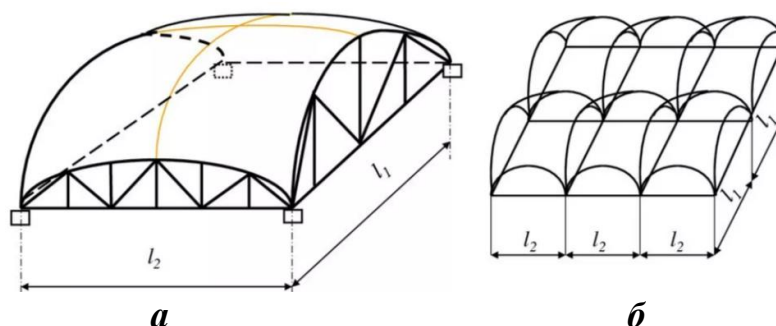


Рис. 9 – Покрытия оболочками положительной гауссовой кривизны [4]:

а – одноволновая; б – многоволновая

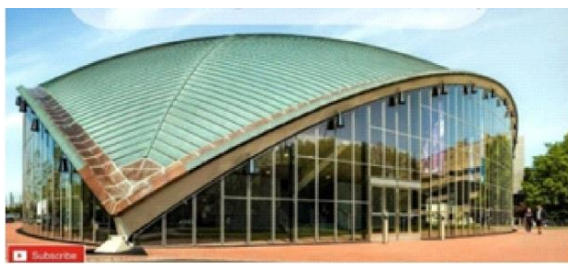
Достоинства:

- ❖ экономия материалов;
- ❖ простота возведения;
- ❖ возможность перекрывать большие пролеты.

Недостатки:

- сложность проектирования;
- большие требования к основанию.

Применение. Покрытие оболочкой двойкой кривизны было применено в технологическом институте (Кресжская аудитория) штата Массачусетс (рис. 10, а). Еще один пример оболочки двойкой кривизны – торговый центр в Челябинске (рис.10, б). Здание имеет размеры 102x102 м. Уникальность здания заключается в отсутствии внутренних несущих колонн по периметру здания.



а



б

Рис. 10 – Оболочки двоякой положительной кривизны: а – Кресжская аудитория, США [12]; б – торговый центр в г. Челябинск [13]

Заключение. Применение пространственных оболочек имеет значимые архитектурные и инженерные преимущества по сравнению с традиционными плоскими покрытиями. Пространственные конструкции позволяют осуществлять оптимальное распределение нагрузок, поскольку большая часть поверхности этих оболочек работает на сжатие, в то время как растяжение концентрируется лишь в линейных элементах краев и в местах опирания конструкции. Эта особенность конструктивного решения приводит к существенному снижению потребности в строительных материалах для обеспечения необходимой прочности, позволяя реализовывать проекты с большими пролетами без необходимости установки дополнительных опор. Кроме технических преимуществ, здания с пространственными оболочками выигрышно выделяются своей архитектурной уникальностью и визуальной привлекательностью.

Список литературы

1. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции / Н.В. Канчели // М.: АСВ. 2004. 120 с.
2. Ахметзянов Р. И. Геометрические и конструктивные особенности гиперболоидных конструкций / Р. И. Ахметзянов, Л. В. Данченко, Р. И. Рыбалкина // Известия КазГАСУ. 2014. №4 (30). С.59-64.

3. Свинцова А. С. Пространственные большепролетные складчатые конструкции покрытия (складки) / А.С. Свинцова // Вестник магистратуры. 2016. №8-1 (59). Т.1. С.24-26.

4. Денисова А.П. Тонкостенные пространственные конструкции покрытий зданий и сооружений /А.П. Денисова // Саратов: СГТУ. 2019. 160с.

5. Травуш В.И. Расчет непологих оболочек в прямоугольных координатах / Пространственные конструкции зданий и сооружений. Сб. статей, вып.8 // М.-Белгород: БелГТАСМ. 1996. С.83-92.

6. Крыша тут. [Электронный ресурс]. URL: <https://krishatut.by/blog/175-shedovaya-pilobraznaya-krysha> (дата обращения: 21.12.2024).

7. Центральный железнодорожный вокзал Франкфурта. [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/search/?text=> (дата обращения 21.12.2024).

8. Главный вход вокзала Ориенте в Лиссабоне. Португалия. [Электронный ресурс]. [https:// yandex.ru/search/?text=](https://yandex.ru/search/?text=) (дата обращения: 21.12.2024).

9. Покрытие центрального рынка в Воронеже. [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/search/?text=> (дата обращения 21.12.2024).

10. Дом с зубчатой крышей на склоне в Швейцарии. [Электронный ресурс]. URL: https://dzen.ru/a/Y4y5cJFYFylTeB_G (дата обращения: 04.01.2025).

11. Мост мира в Тбилиси. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 04.01.2025).

12. Массачусетский технологический институт. Кресжская аудитория. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/.jpg> (дата обращения: 04.01.2025).

13. Торговый центр в Челябинске перекрытый сборной оболочкой двойкой кривизны. [Электронный ресурс]. URL: [https:// yandex.ru/search/?text=&lr=11143](https://yandex.ru/search/?text=&lr=11143) (дата обращения: 21.12.2024).