

М. М. Копытов, А. С. Пляскин

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**М.М. Копытов, А.С. Пляскин**

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ**

Учебное пособие

Томск  
Издательство ТГАСУ  
2019

УДК 624.074.014  
ББК 38.54

**Копытов, М.М.** Пространственные стержневые конструкции покрытий : учебное пособие / М.М. Копытов, А.С. Пляскин. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2019. – 104 с. – Текст : непосредственный.  
ISBN 978-5-93057-895-9

В настоящем учебном пособии рассмотрены основные вопросы проектирования металлических пространственных стержневых конструкций покрытий. Изложены принципы изготовления, конструирования и расчёта структур. Представлены справочные данные, нормативные требования и рекомендации, необходимые для разработки проектной документации. Приведены примеры расчёта и конструирования структурной плиты большепролётного покрытия.

Учебное пособие предназначено для магистрантов по направлению «Строительство», бакалавров и магистрантов специальности 270800 «Промышленное и гражданское строительство», специалистов по специальности 271101.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» специализации «Строительство высотных и большепролётных зданий и сооружений». Пособие может быть использовано студентами других специальностей и инженерно-техническими работниками.

**УДК 624.074.014**  
**ББК 38.54**

**Рецензенты:**

**Р.П. Моисеенко**, докт. техн. наук, профессор кафедры строительной механики ТГАСУ;

**С.А. Арзамасцев**, канд. техн. наук, руководитель научного отдела ООО «СТИ ТДСК».

ISBN 978-5-93057-895-9

© Томский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2019  
© Копытов М.М.,  
Пляскин А.С., 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Общая характеристика пространственно-стержневых конструкций</b> .....	5
<b>2. Одноярусные пространственно-стержневые композиции</b> .....	12
2.1. Сетчатые оболочки .....	12
2.1.1. Основы расчёта цилиндрических оболочек .....	16
2.1.2. Основы расчёта сетчатых пологих оболочек .....	21
2.1.3. Основы расчёта сетчатой оболочки в форме гиперболического параболоида.....	26
2.2. Сетчатые купола .....	28
2.3. Оболочковая система каркасов высотных зданий.....	37
<b>3. Структурные плиты</b> .....	43
3.1. Конструкции структур и узлы сопряжений .....	43
3.2. Опирающие структурные плиты .....	50
3.3. Устройство кровли по структурным плитам .....	54
3.4. Особенности расчёта структурных плит .....	56
3.4.1. Определение усилий в плитах .....	57
3.4.2. Определение усилий в поясах и раскосах .....	63
3.4.3. Подбор сечений стержней структурной плиты .....	65
3.4.3.1. Изменение сечений в стержнях структурной плиты.....	66
3.4.4. Пример расчёта структурного покрытия.....	68
3.4.5. Особенности автоматизированного расчёта структурных плит .....	76
3.5. Серийные конструкции структурных покрытий из круглых труб .....	78
3.6. Изготовление и монтаж структурных конструкций.....	83
<b>4. Структурные блоки покрытий</b> .....	89
4.1. Структурные блоки с поясами из двутавров.....	89
4.2. Структурные блоки с поясами из пятигранных труб.....	92
<b>Контрольные вопросы</b> .....	98
<b>Заключение</b> .....	99
<b>Библиографический список</b> .....	100

## ВВЕДЕНИЕ

Пространственно-стержневые конструкции широко применяются в современной практике строительства. Они позволяют создавать конструктивные формы с оригинальной архитектурной выразительностью и используются не только в пространственных конструкциях покрытий. В последнее время они нашли применение в оболочковых каркасах высотных зданий и других уникальных сооружениях.

Такие конструкции не только экономичны. Они отличаются высокой надёжностью, технологичностью, транспортабельностью. Благодаря повышенной жёсткости ими можно перекрывать пролёты до 200 м практически любого очертания в плане.

В компактной форме сконцентрированы сведения, обобщающие отечественный и зарубежный опыт развития и применения пространственных стержневых конструкций покрытий. Рассмотрены кристаллические структурные композиции, конструкции структурных блоков и сетчатые системы.

В настоящем пособии, состоящем из 4 разделов, представлены конструктивные решения, основные принципы проектирования, изготовления и монтажа пространственных стержневых конструкций. Приведены примеры расчёта и конструирования структурной плиты приближённым способом с использованием прилагаемых таблиц. Для самостоятельного контроля полученных знаний в конце издания приведён перечень контрольных вопросов.

Целью данного учебного пособия является формирование у студентов принципов расчёта и конструирования пространственных стержневых конструкций покрытий зданий различного назначения, в том числе и большепролётных.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННО-СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Пространственно-стержневыми конструкциями* называются конструкции, у которых оси несущих стержней не лежат на одной плоскости.

Пространственные стержневые системы можно разделить на три основные группы: стержневые плиты, цилиндрические оболочки и оболочки двойкой кривизны.

Характерными свойствами пространственно-стержневых систем являются регулярность и многосвязность. Отсюда вытекает целый ряд их преимуществ по сравнению с традиционными линейными конструктивными элементами (балками, фермами, арками).

Основные преимущества пространственно-стержневых конструкций:

- пространственность работы системы;
- повышенная надёжность и живучесть;
- максимальная унификация узлов и стержневых элементов;
- возможность перекрывать большие пролёты;
- повышенная жёсткость двухпоясных систем;
- поточность изготовления элементов и возможность монтажа укрупнёнными блоками;
- транспортабельность;
- архитектурная выразительность и гибкость применения для зданий различного назначения.

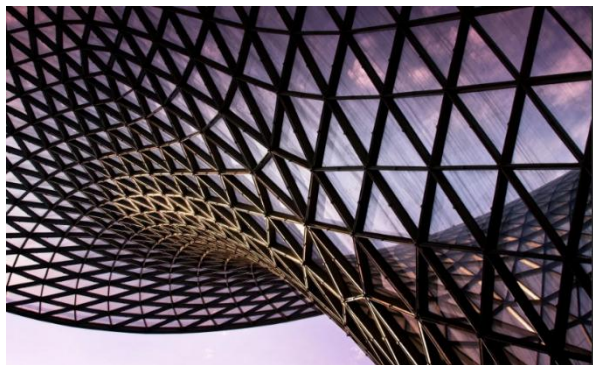
Существенными недостатками таких конструкций являются сложность узловых решений и трудоёмкость укрупнительной сборки на строительной площадке.

Вследствие многосвязности такие конструктивные формы многократно статически неопределимы. С этим связана повышенная надёжность пространственно-стержневых конструкций. Резерв живучести таких систем заключается в возможности перераспределения усилий после отказа какого-либо элемента.

При проектировании уникальных зданий ГОСТ 27751–2014 [12] требует проверки надёжности от лавинообразного обрушения или принятия конструктивных мер по предупреждению подобного обрушения. Именно такие меры и заложены в самой системе структурных композиций.

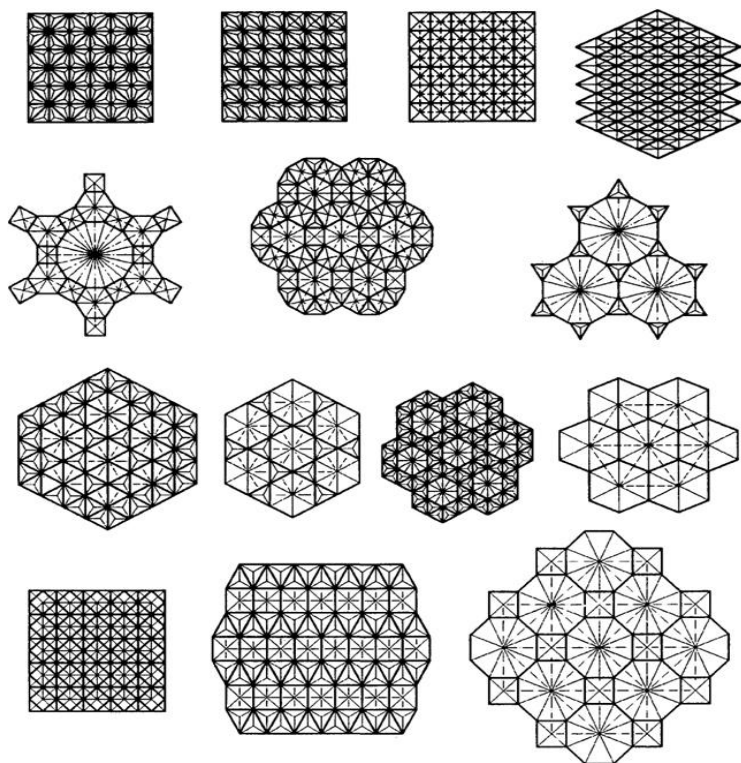
Благодаря пространственной жёсткости строительная высота таких конструкций минимальна и составляет для структурных плит  $1/20$ – $1/25$ , а для двухсетчатых оболочек – до  $1/100$ – $1/150$  пролёта. Это позволяет перекрывать пространственно-стержневыми конструкциями пролёты до 150 м при небольшой строительной высоте несущих конструкций. Кроме того, появляется возможность подвески кранового оборудования даже при больших пролётах структурных плит.

Архитектурная выразительность структурных композиций позволяет создавать уникальные конструктивные формы (рис. 1.1).



*Рис. 1.1.* Сетчатая оболочка Нормана Фостера

Регулярными структурами могут быть перекрыты пролёты как простейшего, так и самого причудливого очертания в плане. При этом форма кристаллической решётки может быть весьма разнообразна (рис. 1.2).



*Рис. 1.2. Схемы конструкций регулярной структуры*

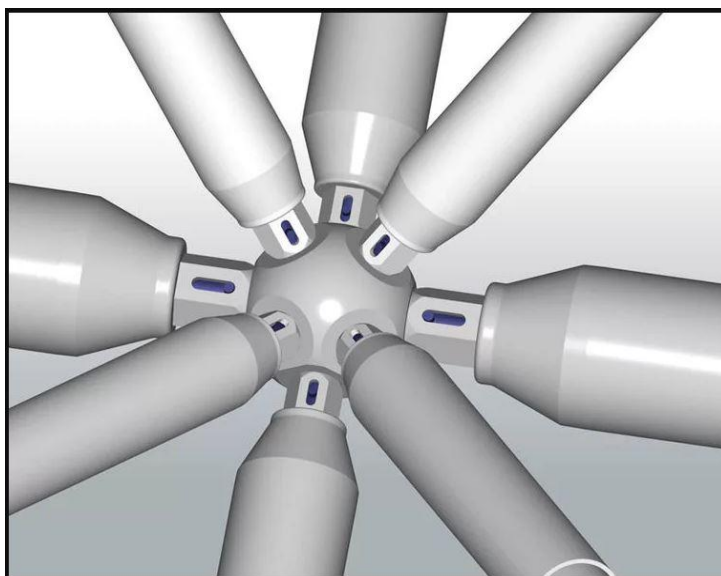
Существенным недостатком таких конструктивных форм является сложность узлов сопряжения и опирания пространственно-стержневой системы (рис. 1.3).

В узлах структур сходятся шесть, а иногда и более, стержней. От конструкции узла, от того, насколько высокую прочность при изготовлении она предполагает, зависит и сложность, а значит трудоёмкость изготовления.

Именно конструкция узлов определяет главным образом и трудоёмкость сборки конструкций на монтажной площадке. Трудоёмкость сборки конструкций, приведённой к единице



площади покрытия, для различных конструктивных систем может отличаться более чем в 10 раз.



*Рис. 1.3. Узел системы меро*

В большепролётных уникальных зданиях пространственные решётчатые конструкции позволяют органично сочетать проблему архитектурной выразительности с рациональным выбором конструктивной формы, а также унификации её элементов и удобства монтажа.

На рис. 1.4, *а* показано здание бейсбольного стадиона, построенного в 1997 г. в г. Нагоя. Сетчатый купол перекрывает спортивный комплекс вместимостью 40,5 тыс. зрителей. Интерьер помещения показан на рис. 1.4, *б*.

Элементами пространственно-стержневых конструкций являются короткие прокатные стержни из круглых труб, уголков, швеллеров, гнутосварны прямоугольных профилей. Густая

сетка несущих элементов, пространственно-ориентированных в системе покрытия, позволяет исключить или свести к минимуму вспомогательные элементы (прогоны, связи и др.).



*а*



*б*

*Рис. 1.4.* Бейсбольный стадион Нагоя в Японии:  
*а* – общий вид стадиона; *б* – интерьер помещения стадиона

Регулярность структур определяет повторяемость размеров и, как следствие этого, максимальную унификацию стерж-

*Учебное издание*

*Копытов Михаил Михайлович  
Пляскин Андрей Сергеевич*

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ

Редактор Т.А. Титоренко  
Оригинал-макет подготовлен Т.А. Титоренко

Подписано в печать 25.10.2019.  
Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 6,04. Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 100 экз. Зак. № 165.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.