

УДК 624.074: 692 (575.2) (04)

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

В.С. Семенов

Предложена новая, основанная на принципах системных исследований и проектного анализа, классификация пространственных конструкций.

Ключевые слова: пространственные конструкции; покрытия; системные исследования; классификация.

1. Об общей классификации несущих систем в строительстве

Весь окружающий нас материальный мир, будь то живое существо, дерево, дом или машина существует благодаря способности образующих их структур или несущих конструкций сохранять свою форму под воздействием различных внешних воздействий. Благодаря этой функции несущие конструкции превращаются в средство материального оформления среды, т.е. непосредственно в элемент архитектуры.

Все это определяет как основную функцию несущих конструкций – восприятие нагрузок, так и возможный принцип их классификации. В связи с тем, что функционирование несущих конструкций подчинено законам механики, в основу их классификации может быть положен принцип работы, т.е. механизм сопротивления внешним нагрузкам.

Из курса сопротивления материалов известно, что в зависимости от вида и характера приложения нагрузок различают конструкции, работающие на растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Это внутренние усилия от которых в сечениях элементов конструкций возникают напряжения. В свою очередь, напряжения зависят от формы конструкции, характера и направления действия усилий. Например, если усилие действует только в одном направлении, то напряженное состояние называется линейным или одноосным (растянутый трос).

Если усилия действуют одновременно в двух направлениях, то говорят о двухосном или плоском напряженном состоянии (гибкая пластинка или мембрана). Если материал конструкции сжимается или растягивается во всех направлениях, то такое напряженное состояние называется трехосным или пространственным (объемным).

Наряду с видом напряженного состояния несущие системы разделяются по геометрическому признаку на линейные, двумерные (плоские) и пространственные (трехмерные). В линейных системах материал конструкции концентрируется вдоль прямой (балка, колонна), кривой (арка, трос) или ломаной линии (рама). В двумерных несущих системах, таких как пластинки и оболочки, два измерения (размеры в плане) велики по сравнению с третьим (толщиной). Материал в таких системах образует поверхность, которая может быть плоской, пространственной или складчатой (многогранной). В зависимости от характера внешней нагрузки двумерные несущие системы могут быть напряжены одноосно или двухосно. К двумерным несущим системам можно отнести конструкции, образованные из соединенных между собой линейных, одноосно напряженных элементов. Примерами таких систем служат ферма и тросовая сетка.

Трехмерные несущие системы (их еще иногда называют массивными) имеют все три измерения одного порядка и могут иметь любую форму. Они образуются из линейных или плоских элементов, в которых может быть одноосное или двухосное напряженное состояние. По этому признаку различают пространственные стержневые (решетчатые) и пластинчатые системы.

В материальном мире отдельные виды напряженного состояния встречаются редко. Чаще всего возникают различные комбинации этих состояний и, соответственно этому, видов несущих систем. Чтобы разобраться в этом сплетении нагрузок, напряженных состояний и форм несущих конструкций архитектор Хайно Энгель предложил разделить все существующие в строительстве несущие системы на пять видов (рис. 1) [1].

К первому отнесены “активные по форме” (формулировка Х. Энгеля) несущие системы, т.е.

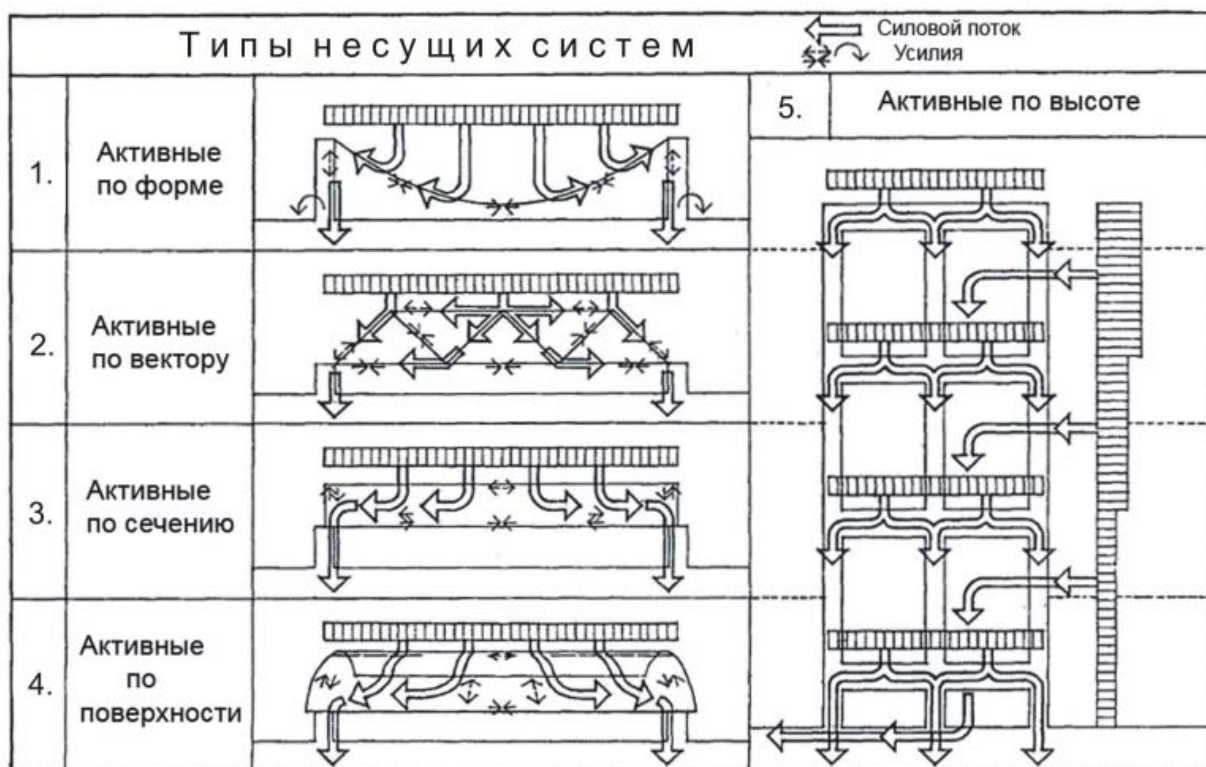


Рис. 1. Классификация несущих систем по Х. Энгелю.

криволинейные системы из одноосно напряженных гибких или жестких элементов (арки, ваны и т.п.). Ко второму типу относятся “активные по вектору” несущие системы. В таких системах внешние нагрузки уравниваются внутренними усилиями сжатия и растяжения, возникающими в жестких элементах плоских или пространственных решеток. К третьему типу Х. Энгель относит “активные по сечению” системы (балки, рамы, панели). Элементы таких систем работают преимущественно на изгиб и внешние нагрузки компенсируются нормальными и касательными напряжениями, возникающими в их поперечных сечениях.

Наиболее интересным, на наш взгляд, типом являются так называемые “активные по поверхности” несущие системы. К ним относятся пластинки, складки и оболочки. Характерным признаком таких систем является восприятие внешних нагрузок за счет работы образующих их элементов на сжатие, растяжение и срез и “активной” форме поверхности.

И, наконец, к пятому типу отнесены “активные по высоте” несущие системы. В основном это

высотные здания и сооружения различных конструктивных схем (каркасные, ствольные и т.д.).

2. Классификация пространственных конструкций покрытий

Принимая во внимание существующие принципы общей классификации несущих систем, а также принципы и подходы системных исследований и проектного анализа [2, 3, 7], рассмотрим признаки, по которым можно объединить разные типы пространственных конструкций покрытий (ПКП).

В основу известных классификаций таких систем [4, 5] положен конструктивный признак. При этом и в одной, и в другой классификации сделана попытка связать конструктивную схему покрытия с его геометрией. В первой это ссылка на “вспарушенные”, “плоские” и “провисающие” покрытия. В другой, более наглядной классификации, форма покрытия представлена в виде рисунков.

Как в общей классификации несущих систем, так и в классификации пространственных конструкций покрытий (ПКП) можно выделить основные и второстепенные признаки (иерархия, один из подходов системных исследований).

Классификация пространственных конструкций покрытий

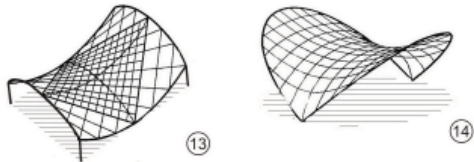
| Признаки | Пространственные конструкции покрытий | |
|---------------------------------------|---|---|
| 1. Геометрия поверхности | 1.1. Простая (единая) форма поверхности | 1.1.1. На плоской основе 1.1.2. Нулевой гауссовой кривизны 1.1.3. Положительной гауссовой кривизны 1.1.4. Отрицательной гауссовой кривизны |
| | 1.2. Составная форма 1.2.1. многогранная 1.2.2. волнистая | 1.2.1. Из элементов одной формы 1.2.2. Из элементов разной формы |
| | 1.3. Произвольная форма поверхности | |
| 2. Конструктивная схема | 2.1. Плиты - настилы, панели - оболочки | Комбинированные системы покрытий |
| | 2.2. Складки, шатры | |
| | 2.3. Жесткие оболочки | |
| | 2.4. Системы регулярной структуры | |
| | 2.5. Висячие системы | |
| | 2.6. Мягкие оболочки | |
| | 2.7. Трансформируемые покрытия | |
| 3. Структурные особенности | 3.1. Гладкие | оболочки, мембраны |
| | 3.2. Ребристые (подкрепленные) | кессоны, своды, купола |
| | 3.3. Складчатые | своды, купола |
| | 3.4. Сетчатые 3.4.1. однослойные, (стержневые) 3.4.2. многослойные | оболочки, купола, висячие покрытия |
| | 3.5. Пластинчатые | плиты - настилы, системы регулярной структуры |
| | 3.6. Покрытия комбинированной структуры | |
| 4. Характер работы основных элементов | 4.1. Сжатие | Комбинация усилий |
| | 4.2. Растяжение | |
| | 4.3. Изгиб | |
| | 4.4. Кручение | |
| 5. Форма плана | 5.1. Простая | правильная геометрическая фигура |
| | 5.2. Сложная (составная) | неправильная геометрическая фигура |
| | 5.3. Произвольная форма плана | |
| 6. Материал основных элементов | 6.1. Железобетон | Комбинация материалов |
| | 6.2. Армоцемент | |
| | 6.3. Металл | |
| | 6.4. Древесина | |
| | 6.5. Синтетические материалы (ткани, пленки) | |



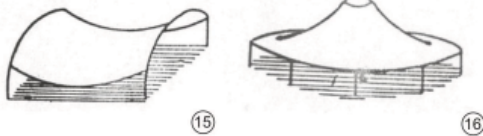
Рис. 2. Классификация ПКП по геометрическому признаку.

**ТИПЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ,
РАЗЛИЧАЕМЫХ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКОМУ ПРИЗНАКУ
(продолжение)**

покрытия двоякой - отрицательной гауссовой кривизны

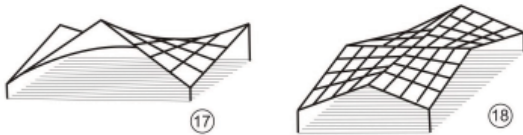


13 и 14 - гиперболические (седловидные) оболочки с прямолинейными (13) и криволинейными (14) образующими;

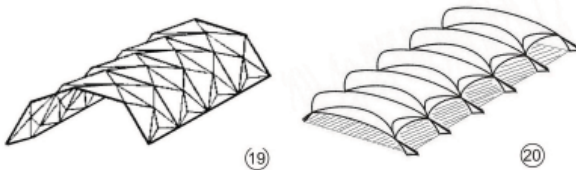


15 и 16 - оболочки висячего типа (седловидная и шатровая соответственно).

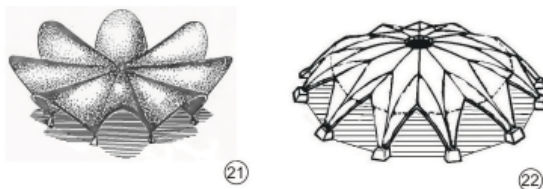
покрытия составной формы поверхности



17 и 18 - составные гиперболические оболочки (двухсекционная и четырехсекционная соответственно);



19 и 20 - складчатый и волнистый своды соответственно;



21 и 22 - зонтичная и купольно-складчатая оболочки соответственно;

покрытия сложной формы поверхности



Окончание рис. 2.

Главными или основными признаками классификации ПКП, на наш взгляд, являются:

- геометрия (форма) поверхности;
 - конструктивная схема;
 - характер работы основных элементов;
 - структурные особенности.
- К второстепенным относятся:
- материал, из которого изготовлены основные конструктивные элементы;
 - форма плана перекрываемого здания (помещения).

Дополнительными признаками являются способ изготовления и монтажа ПКП. Например, оболочки могут быть сборными, монолитными или сборно-монолитными. По способу монтажа ПКП можно разделить на монтируемые на проектной отметке и собираемые на уровне земли с последующим подъемом в проектное положение.

Для наглядности предлагаемая классификация пространственных конструкций покрытий представлена в таблице.

Почему мы разделяем признаки на главные и второстепенные? Попробуем объяснить это на конкретном примере. В практике современного строительства одну и ту же конструкцию можно изготовить из любого известного строительного материала. Например, балка и купол могут быть деревянными, стальными, железобетонными и даже стеклянными!

Вот, что говорил по этому поводу известный немецкий специалист по пространственным конструкциям д-р Герман Рюле: "...уже миновало время строгого разделения конструкций по материалам. Будущее принадлежит оптимально спроектированным конструкциям, в которых используются различные материалы в полном соответствии с их положительными свойствами и функциональными требованиями. Поэтому если сейчас еще удастся формально разделить железобетонные оболочки, стальные пространственные конструкции, висячие и вантовые покрытия, пневматические конструкции и т.д., *то по существу их нужно рассматривать как нечто единое (курсив мой – В.С.)*. Очень часто возможно весьма эффективное сочетание этих конструкций точно так же, как постоянно обнаруживается их общность в аспектах конструктивных решений и технологии изготовления. Единство формы, конструкции и технологии дополняется, таким образом, и единством подхода к материалу" [6].

То же относится и к форме перекрываемого плана, хотя вполне возможно по этому признаку разделить все покрытия на конструкции простой

или правильной (квадрат, прямоугольник, круг и т.п.) и сложной (составной, криволинейной и т.п.) формы плана. Для специалистов не секрет, что выбранная архитектором конфигурация плана сегодня может быть перекрыта практически любым типом ПКП (здесь не оцениваются эстетические и экономические критерии).

Что же касается основных признаков, то они вполне определенно характеризуют не только тот или другой тип ПКП, но и внутреннюю взаимосвязь между ними. Например, форма во многих случаях определяет и характер работы основных элементов.

Рассмотрим эти признаки подробнее. По геометрии поверхности ПКП можно разделить на покрытия с единой (постоянной) формой поверхности и на покрытия сложной или составной формы (рис. 2).

В свою очередь, ПКП с единой формой поверхности подразделяются на покрытия нулевой, положительной и отрицательной гауссовой кривизны. К покрытиям на плоской основе относятся покрытия с плоской формой поверхности (поверхности первого порядка) – пространственные плиты, панели, призматические складки.

Покрытия составной формы поверхности образуются сочетанием элементов либо с единой формой (волнистые и зонтичные оболочки), либо из элементов с различной формой поверхности (купольно-складчатые покрытия и др.).

Отдельный вид – покрытия сложной, произвольной формы поверхности. Такие поверхности в строительстве применяются достаточно редко, однако используются в авиа- и судостроении (корпусы летательных аппаратов, судов), гидроэнергетике (лопатки турбин и др.).

По конструктивным признакам все пространственные конструкции покрытий можно разделить на следующие типы: плиты и панели-оболочки; складки и шатры; жесткие оболочки; системы регулярной структуры; висячие системы; мягкие оболочки; трансформируемые покрытия и комбинированные пространственные покрытия.

Классификация ПКП по конструктивным схемам будет рассмотрена в следующей статье.

Таким образом, предлагаемая классификация пространственных конструкций покрытий охватывает практически все возможные их типы, расширяет кругозор архитекторов и конструкторов и позволяет им обоснованно использовать эти выразительные по форме и экономически эффективные по расходу материалов конструкции в практике проектирования.

Литература

1. *Энгель Х.* Несущие системы / Пер. с нем. Л.А. Андреевой. – М.: АСТ: АСТРЕЛЬ, 2007. – 344 с.
2. *Уемов А.И.* Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
3. *Zoltan Visy.* Building systems – system building. Proceedings symposium on “System Building”. Publ. 60. – Budapest, 1981. – P. 43–47.
4. *Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З.* Составные пространственные конструкции. – М.: Высшая школа, 1989. – 285 с.
5. *Морозов А.П., Василенко О.В., Миронков Б.А.* Пространственные конструкции обществен-
- ных зданий. – Изд. 2-е.; перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1977. – 168 с.
6. *Рюле Г., Кюн Э. и др.* Пространственные покрытия (Конструкции и методы возведения): В 2 т / Под общ. ред. Г. Рюле. Т. I. Железобетон, армоцемент / Пер. с нем. С.Б. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1973. – 304 с.
7. *Семенов В.С.* Эффективные пространственные металлические конструкции покрытий зданий в практике проектирования и строительства Кыргызстана. – Бишкек: Кырг. гос. ун-т строит., трансп. иarchit. – Бишкек, 2004. – 180 с.