



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

Ф.К. Жихарев, А.С. Силантьев, Е.В. Домарова

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОДНОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
С ТОНКОСТЕННЫМ
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ
В ВИДЕ ОБОЛОЧКИ ПЕРЕНОСА**

Учебно-методическое пособие



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ф.К. Жихарев, А.С. Силантьев, Е.В. Домарова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОДНОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
С ТОНКОСТЕННЫМ
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ
В ВИДЕ ОБОЛОЧКИ ПЕРЕНОСА

Учебно-методическое пособие

2-е издание

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2020

УДК 624.012
ББК 38.626
Ж75

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *А.Г. Тамразян*, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ;
кандидат технических наук, доцент *А.И. Плотников*,
главный конструктор ООО «Метрополис»

Жихарев, Ф.К.

Ж75 Проектирование одноэтажного здания с тонкостенным пространственным покрытием в виде оболочки переноса : учебно-методическое пособие / Ф.К. Жихарев, А.С. Силантьев, Е.В. Домарова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра железобетонных и каменных конструкций. — 2-е издание. — Москва: Издательство МИСИ — МГСУ, 2020. — 104 с.
ISBN 978-5-7264-2122-3

В учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы конструктивного решения зданий с тонкостенными пространственными покрытиями, приближенные методы расчета тонкостенных пространственных покрытий без использования ЭВМ. Описаны общие положения и требования к численному методу расчета здания с применением программных комплексов, а также приведен пример расчета здания с тонкостенным пространственным покрытием с помощью ПК «Лира-Сапр», необходимый для выполнения курсового проекта по данной специальности. Приведен пример расчета оболочки при свободном деформировании вдоль контурной конструкции.

Для обучающихся по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений специализации «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений».

УДК 624.012
ББК 38.626

ISBN 978-5-7264-2122-3

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

1. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

1.1. Область применения тонкостенных покрытий

Тонкостенные пространственные покрытия впервые начали применяться в 20-е годы XX века в качестве элементов покрытий зданий различного назначения. Это были купола, цилиндрические оболочки. С развитием методик расчета большее распространение стали получать и оболочки двойной кривизны на прямоугольном плане.

Тонкостенные пространственные покрытия обладают рядом существенных преимуществ: сниженная масса за счет малой толщины, низкий расход материалов (на 25–40 % меньше по сравнению с другими типами покрытий), возможность перекрытия значительных пролетов от 24 до 200 м, архитектурная выразительность.

В СССР применялись преимущественно сборные железобетонные тонкостенные пространственные покрытия, что отвечало принципам индустриализации. В настоящее время ввиду состояния производственной базы массовое применение сборных конструкций покрытия оказывается весьма затруднительно.

Применение тонкостенных пространственных конструкций целесообразно в зданиях, где необходимо обеспечить значительные пролеты без устройства промежуточных опор. Как правило, это:

– общественные здания: здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений (театры, клубы, концертные залы, цирки, спортивные сооружения, библиотеки, музеи, выставки и др.), вокзалы, аэропорты, физкультурно-оздоровительные комплексы, здания образовательных учреждений и т.п.;

– промышленные здания: складские здания, стоянки автомобилей, книгохранилища, производственные здания, покрытия резервуаров и т.п.;

– специальные здания и сооружения: защитные оболочки ядерных реакторов, покрытия цехов АЭС и ТЭС.

В курсовом проекте рассматривается отдельно стоящее общественное здание различного назначения в монолитном исполнении

с опиранием гладкой монолитной оболочки переноса на ряды колонн. Контурная конструкция представлена криволинейным брусом.

1.2. Конструктивные решения монолитных тонкостенных покрытий

Оболочка. Конструкция покрытия в курсовом проекте представлена гладкой пологой оболочкой переноса с переменной толщиной. Конструктивное решение оболочки зависит от граничных условий, то есть от условий сопряжения тонкостенного покрытия с контурным брусом. Как правило, в монолитном исполнении оболочка опирается жестко на контурный брус без возможности перемещения вдоль контура, то есть обеспечивается полная совместная работа тонкостенной части покрытия и контурных конструкций.

Зоны утолщения определяют расчетом и устраивают в углах и по контуру здания. Угловые утолщения устраивают преимущественно для восприятия значительных сдвигающих и главных растягивающих усилий, а также для обеспечения прочности оболочки при разрушении по общей схеме. Контурные утолщения служат для размещения дополнительной арматуры вдоль контура, обусловленной растяжением приопорных зон, а также арматуры, ортогональной контуру — для восприятия местных изгибающих моментов.

Армирование оболочки выполняется четырьмя типами арматуры и определяется ее напряженно-деформированным состоянием (рис. 1.1). Армирование первого типа (т. н. косая арматура) устанавливается в углах оболочки в зоне углового утолщения. Ее назначение — восприятие главных растягивающих усилий. При значительных растягивающих усилиях арматуру этого типа выполняют преднапряженной. Армирование второго типа устанавливается ортогонально контурной конструкции и служит для восприятия отрицательных и положительных местных изгибающих моментов. Арматура третьего типа предусматривается для восприятия растягивающих усилий в надколонных зонах вдоль контурного элемента, причем может располагаться как в верхней зоне, так и одновременно в верхней и в нижней зонах в зависимости от уровня растягивающих усилий. Арматура четвертого типа устанавливается по всей площади оболочки, служит для уменьшения усадочных

и температурных деформаций, и в таком случае она устанавливается конструктивно. Вторым назначением арматуры четвертого типа является восприятие местных изгибающих моментов при действии сосредоточенных сил и на участках резкой смены величины равномерно распределенной нагрузки. Она устанавливается в количестве не менее 0,2 % с шагом стержней 200–250 мм. При толщинах оболочки менее 100 мм армирование этого типа устанавливается в виде одной сетки, при большей толщине — в виде двух сеток у нижней и верхней граней.

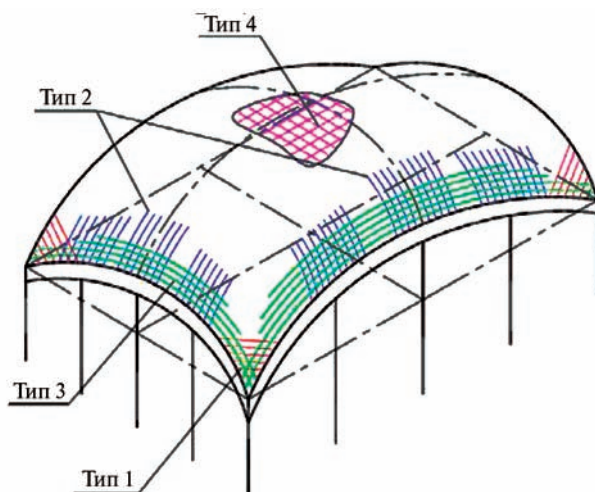


Рис. 1.1. Схема армирования оболочки

Контурные элементы. Контурные элементы проектируемого покрытия представлены криволинейным брусом, работающим как неразрезная балка как в своей плоскости, так и из нее. Ввиду эксцентричного приложения нагрузки от оболочки, в контурном брусе возникают существенные крутящие моменты, которые должны быть учтены при конструировании и расчете поперечного армирования. Сложное напряженно-деформированное состояние контурного бруса обуславливает необходимость установки расчетного продольного армирования не только в верхней и нижней зонах (определяется расчетом на действие изгибающих моментов в вертикальной плоскости), но и установку армирования боковых граней (из расчета на действие горизонтальной компоненты давления от

2. ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭВМ

2.1. Краткие сведения из теории поверхностей

Для анализа напряженно-деформированного состояния оболочки (НДС) необходимо понимание расчетной схемы конструкции тонкостенного пространственного покрытия, которая принимается в виде поверхности без учета ее фактической толщины. Задача определения напряжений и деформаций в пространственном теле сложной формы не имеет аналитического решения даже в приближенном виде.

Методы математического описания поверхностей

Для описания произвольной поверхности применяют различные методы. Функция поверхности может быть задана:

- явно в виде $z = f(x, y)$;
- неявно в виде уравнения $F(x, y, z) = 0$;
- параметрически в виде системы уравнений

$$\begin{cases} x = x(i, j, k), \\ y = y(i, j, k), \\ z = z(i, j, k). \end{cases}$$

В строительстве применяют поверхности, как правило, образующие односвязные области (участки шаровых, цилиндрических и т. п. поверхностей, когда любые две точки могут быть соединены кривой, не пересекающей границу поверхности). При таком ограничении целесообразно рассматривать параметрическую зависимость от двух параметров: координат в плане или в криволинейной двумерной системе координат, сориентированной с рассматриваемой поверхностью. Поверхности, заданные в виде однозначных, непрерывных и дифференцируемых функций называются регулярными.

Тогда уравнение поверхности может быть записано в виде зависимости радиуса-вектора от двух параметров — (x, y) — координаты в плане или (ξ, η) — на поверхности:

$$\vec{r}(\xi, \eta) = x(\xi, \eta) \cdot \vec{i} + y(\xi, \eta) \cdot \vec{j} + z(\xi, \eta) \cdot \vec{k},$$

где i, j, k — базисные векторы декартовой системы координат вдоль осей X, Y, Z соответственно.

При задании поверхности в параметрическом виде касательные векторы вдоль криволинейных осей ξ и η в точке определяются как

$$\vec{r}_{\tau\xi} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial \xi},$$

$$\vec{r}_{\tau\eta} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial \eta}.$$

Элементарное расстояние между точками (элемент линии на поверхности):

$$ds = \frac{\partial \vec{r}}{\partial \xi} \cdot d\xi + \frac{\partial \vec{r}}{\partial \eta} \cdot d\eta.$$

В каждой точке трехмерной поверхности существует в общем случае два радиуса кривизны (рис. 2.1). Для поверхности вводится понятие кривизны, равное величине, обратной радиусу кривизны в точке и определяемое как:

$$k \vec{v} = \frac{d^2 \vec{r}(s)}{ds^2},$$

где \vec{v} — вектор единичной нормали поверхности.

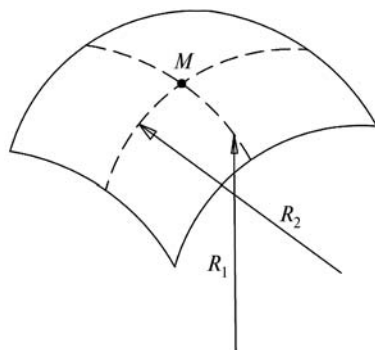


Рис. 2.1. Радиусы кривизны поверхности в точке M

Если поверхность задана однозначной явной функцией в декартовой системе координат, то ортогональные кривизны вдоль осей введенной системы координат определяются как:

$$k_x = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2},$$

$$k_y = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}.$$

Кривизна кручения

$$k_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \cdot \partial y}.$$

Для характеристики пространственной кривизны вводится понятие гауссовой кривизны:

$$\Gamma = \frac{1}{R_{m1} \cdot R_{m2}},$$

где R_{m1} и R_{m2} — радиусы главных кривизн поверхности, то есть радиусы кривизн в такой системе координат, когда кривизна кручения равна нулю. Гауссова кривизна также может быть получена и в декартовой системе координат:

$$\Gamma = \frac{k_x \cdot k_y - k_{xy}^2}{(1 + p^2 + q^2)^2},$$

где $p = \frac{\partial z}{\partial x}$, $q = \frac{\partial z}{\partial y}$.

Способы образования поверхностей

Поверхности могут быть образованы различными методами:

- поверхности вращения;
- поверхности переноса (трансляционные);

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	3
1.1. Область применения тонкостенных покрытий	3
1.2. Конструктивные решения монолитных тонкостенных покрытий.....	4
Вопросы для самоконтроля	7
2. ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭВМ	8
2.1. Краткие сведения из теории поверхностей	8
2.2. Краткие сведения из теории пологих оболочек	12
2.3. Методика вычисления усилий по безмоментной теории	13
2.4. Схемы разрушения оболочек положительной гауссовой кривизны	17
2.5. Приближенная оценка местных изгибающих моментов	19
2.6. Проверка устойчивости оболочки	20
Вопросы для самоконтроля	21
3. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ	22
3.1. Общие требования к расчету	22
3.2. Методы расчета	23
3.3. Назначение жесткостных характеристик	25
3.4. Анализ результатов расчета	27
Вопросы для самоконтроля	28
4. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗДАНИЯ С ТОНКОСТЕННЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ	29
4.1. Исходные данные	29
4.2. Нагрузки и воздействия.....	36
4.3. Предварительное назначение параметров жесткости	45
4.4. Формирование расчетной схемы	46
4.5. Анализ НДС	73
4.6. Определение требуемого армирования элементов здания.....	84
Вопросы для самоконтроля	90
5. РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННОГО ПОКРЫТИЯ (БЕЗ ЭВМ).....	91
5.1. Определение местных изгибающих моментов	95
5.2. Расчет прочности оболочки и конструирование	97
Вопросы для самоконтроля	101
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	102

Учебное издание

**Жихарев Федор Карпович, Силантьев Александр Сергеевич,
Домарова Екатерина Владимировна**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ТОНКОСТЕННЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ В ВИДЕ ОБОЛОЧКИ ПЕРЕНОСА

Редактор, корректор *М.Ю. Ледовский*
Компьютерная верстка и графика *О.Г. Горюновой*
Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 04.03.2020. И-22. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 6,05. Тираж 50 экз. Заказ 40

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.
Тел.: (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44