

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 11.03.2026 11:56:50

Уникальный программный ключ: **Федеральное государственное бюджетное**

Об817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabf73e943df4a4851fda56d089

образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра промышленного и гражданского строительства

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 20 » 02

2026 г.



ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Методические указания по выполнению практических работ
по дисциплине «Пространственные конструкции зданий и сооружений»
для студентов направления подготовки 08.03.01

Курск 2026

УДК 624.012.4; 721.021:004; 624.011

Составитель: Л.В. Чайковская, Н.Ю. Кушнерев.

Рецензент

Кандидат экономических наук, доцент *А.В. Шлеенко*

Пространственные конструкции зданий и сооружений: методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Пространственные конструкции зданий и сооружений» для студентов направления подготовки 08.03.01 / Минобрнауки России, Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.В. Чайковская, Н.Ю. Кушнерев. – Курск, 2026. – 20 с.: – Библиогр.: с. 26.

Методические указания содержат рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «Пространственные конструкции зданий и сооружений».

Предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *20.02.26* . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,37.

Тираж 100 экз. Заказ *143* . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

Введение	4
1. Цель и задачи изучения	5
2. Общие указания по оформлению расчетно-графической работы.....	5
3. Пример расчета несущей способности пространственного покрытия в форме гиперболического параболоида	11
4. Пример расчета несущей способности покрытия в форме четырехлепесткового гиперболического параболоида.	13
5. Пример расчета устойчивости свода	17
6. Вопросы для собеседования	19
Библиографический список	26

Введение

В современных условиях значительного износа основных фондов страны, возросшей техногенной нагрузки на здания и сооружения, на фоне общего снижения уровня обеспечения условий технической эксплуатации и реконструкции жилого и производственного фонда, а также заметного снижения качественного уровня профессиональной подготовки инженеров-строителей, вопросы теории расчета и проектирования вновь возводимых и реконструируемых зданий и сооружений имеют важное значение. Особенно это относится к сложным конструктивным системам, к которым, несомненно, относятся и пространственные покрытия. В силу различных причин в высших учебных заведениях, а также в практике проектирования и строительства таким конструкциям уделяется недостаточно внимания. И если вопросы теории в той или иной степени освещены в технической и учебной литературе, то практические вопросы проектирования и, особенно, примеры расчета и конструирования конкретных типов оболочек почти отсутствуют. Без знаний «игры сил» в тандем сложных сооружениях невозможно вести их качественный анализ и квалифицированное проектирование, даже если расчеты выполняются с использованием компьютерных технологий современных программных комплексов. Более того, пользоваться компьютером начинающему инженеру, и тем более студенту, раньше, чем он получит четкое понимание работы конструктивной системы, просто недопустимо. Приближенные вычисления должны войти в практику и будущей инженерной деятельности, в том числе для принципиальной проверки расчетов. Формирование уравнений механики для расчета сложных пространственных систем показано на простейших примерах с приближенными расчетными схемами. Представляется, что такой подход позволит студенту получить полную информацию о ходе решения задачи, самостоятельно подойти к вопросу автоматизации расчета и, что особенно важно, вести качественный инженерный анализ получаемых в ходе расчета результатов.

1. Цель и задачи изучения

Цель изучения дисциплины: овладеть принципами методики расчета железобетонных пространственных конструкций покрытий.

Задачи изучения дисциплины:

- получение студентами основных знаний, касающихся общих положений проектирования тонкостенных железобетонных пространственных покрытий;
- приобретение знаний об алгоритмах расчета железобетонных пространственных конструкций покрытий;
- получение навыков в формировании уравнений механики для расчета сложных пространственных систем;
- подготовка специалистов широкого профиля, способных к активному освоению и применению в практике проектирования тонкостенных железобетонных пространственных конструкций покрытий.

2. Общие указания по оформлению расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа выполняется по заданию, выдаваемому преподавателем и в соответствии с приведенными примерами. Работа должна быть оформлена на писчей бумаге формата А4 (210x297 мм). При написании расчетно-графической работы студент должен руководствоваться требованиями к оформлению расчетно-графической работы приведенными в приложениях А, Б. Все расчеты в расчетно-графической работе должны производиться в единицах СИ, согласно СН 528-80 и сопровождаться соответствующими пояснениями.

В расчетно-графическую работу включаются:

- титульный лист;
- содержание;
- выполненные задания.

Общие сведения. Геометрия. Разновидности оболочек и область применения

Одной из распространенных моделей тонкостенных пространственных конструкций является оболочка — тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями; расстояние между которыми (толщина t) существенно меньше двух других характерных размеров. Толщина может быть постоянной или переменной. Поверхность, делящая в каждой точке толщину оболочки пополам, называется срединной поверхностью.

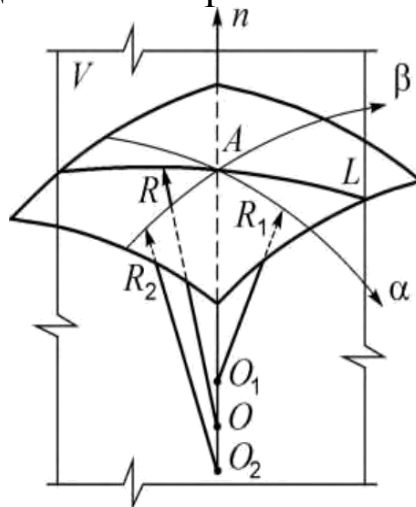


Рисунок 1- К определению геометрических параметров срединной поверхности оболочки.

Железобетонные оболочки и складки - сравнительно новый вид конструкций, они получают все большее применение в связи с необходимостью перекрытия больших площадей без промежуточных опор, например, выставочных и спортивных залов, торговых центров, заводских цехов. Наиболее рациональная область применения железобетонных оболочек и складок (на опыте уже построенных зданий) относится к пролетам 30...120 м.

Оболочка выполняет в покрытии одновременно две функции — несущей конструкции и кровли. Это также создает ей определенные преимущества перед плоскостными конструкциями, где эти функции обычно разделены. Благодаря кривизне поверхности оболочка приобретает пространственную жесткость, что придает ей большую несущую способность при минимальной массе и расходе материала. При прочих равных условиях эта желаемая цель достигается главным образом с помощью конструктивной формы, а не за счет прочностных

свойств материала.

Железобетонные тонкостенные пространственные конструкции различают по очертанию срединной поверхности, которая может быть либо задана уравнениями в декартовых, сферических, цилиндрических координатах, либо представлена в параметрической форме. Рассмотрим участок произвольной поверхности (рисунок 1). В произвольной точке A проведем нормаль n к поверхности. Рассекая поверхность плоскостью V , проходящей через нормаль, получим плоскую кривую L , радиус кривизны которой в окрестности точки A обозначим R , а центр кривизны — O . Величина $K = 1/R$ называется кривизной плоской кривой в точке A . Если вращать плоскость V вокруг нормали n , то из семейства кривых L на поверхности оболочки можно найти линии α и β , для которых кривизна будет наибольшей и наименьшей. Такие линии называют линиями главных кривизн. Им соответствуют минимальный и максимальный (соответственно R_1 и R_2) радиусы, которые называют главными радиусами кривизны поверхности в точке A . Величины $K_1 = 1/R_1$, и $K_2 = 1/R_2$ называют главными кривизнами. Знаки кривизн принимаются в зависимости от расположения центров кривизн по отношению к поверхности. [1]

Важной характеристикой поверхности является гауссова кривизна

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2} \quad (1)$$

В зависимости от знака различают поверхности положительной, отрицательной и нулевой гауссовой кривизны (рисунок 2).

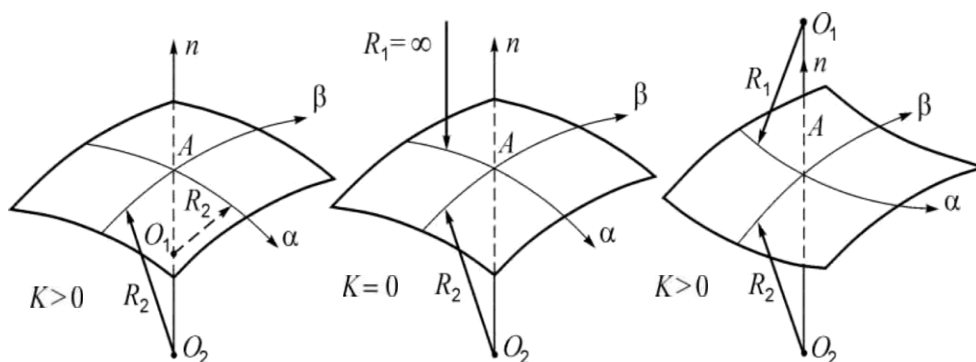


Рисунок 2 — Гауссова кривизна срединной поверхности
 В зависимости от очертания срединной поверхности

пространственные конструкции (рисунок 3) делятся на призматические складки с различной формой поперечного сечения ($a, б$), оболочки нулевой гауссовой кривизны ($в$), пологие оболочки положительной ($г, д$) и отрицательной ($е$) гауссовой кривизны, оболочки с вертикальной и горизонтальной осью вращения ($ж, з$), многогранники ($и$), составные оболочки ($к$), панели-оболочки на пролет ($л, м$).

По форме перекрываемой площади оболочки возводят на прямоугольном плане (рисунок 3, $б, в, з, и, л, ж$), на круглом плане (рисунок 3, $ж$), на треугольном (рисунок 3, $г$), квадратном (рисунок 3, $д$), полигональном (рисунок 3, $к$) и других формах плана. Кроме того, по конструктивным особенностям различают составные (рисунок 3, $к$), неразрезные многопролетные (рисунок 3, $в$), неразрезные многоволновые (рисунок 3, $з$), гладкие или ребристые, консольные оболочки, складки и многогранники.

По способу изготовления различают монолитные, сборные и сборно-монолитные оболочки. Сборные оболочки выполняются из отдельных плоских цилиндрических или других элементов. К сборным относятся и так называемые панели-оболочки и панели-складки, монтируемые в готовом виде и, как правило, не требующие замоноличивания швов между ними. В сборно-монолитных оболочках сборные элементы играют роль несущей опалубки.

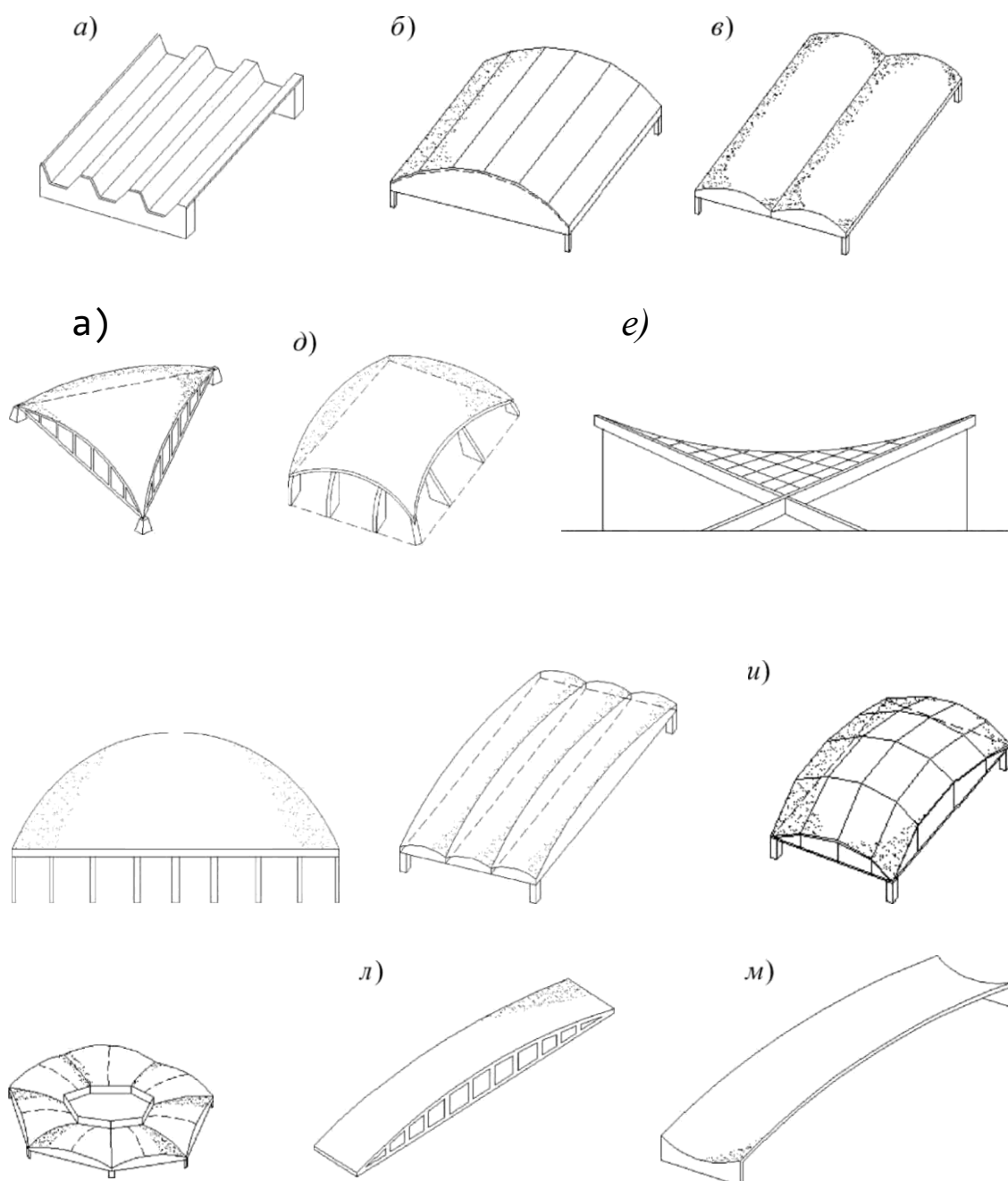


Рисунок 3 — Схемы поверхностей тонкостенных пространственных конструкций покрытий: *а, б* — призматические складки; *в* — цилиндрические оболочки; *г, д* — пологие оболочки положительной гауссовой кривизны соответственно на треугольном и прямоугольном плане; *е* — оболочка отрицательной гауссовой кривизны; *ж* — купол; *з* — бочарные своды; *и* — многогранники; *к* — составные оболочки; *л* — оболочки КЖС; *м* — панели-гипары

Выбор той или иной формы пространственных конструкций осуществляют с учетом их технической и экономической целесообразности. В технические требования включают технологические параметры и габариты сооружения, форму плана, техническую оснащенность (наличие подвесных и мостовых кранов, фонарей, технологических коммуникаций), условия строительства и эксплуатации и др.

Развитие железобетонных тонкостенных конструкций в нашей стране шло по пути применения монолитных конструкций, а с 60-х годов — сборных оболочек. Однако в ряде районов и, особенно, в зонах с сейсмической активностью были распространены монолитные и сборно-монолитные оболочки.

В настоящее время в России и странах СНГ железобетонными пространственными конструкциями перекрыто более 10 млн. м² зданий и сооружений различного назначения, среди которых есть уникальные, с пролетами 100 м и более. Например, Челябинский торговый центр со сборной, предварительно напряженной оболочкой положительной гауссовой кривизны размером 102x102 м и аналогичная оболочка размером 103 x103 м из легкого бетона в Минске. Особенно обогатилась практика возведения большепролетных пространственных конструкций в России в связи со строительством олимпийских спортивных объектов в Москве, отвечающих самым высоким эксплуатационным требованиям и оригинальным архитектурным замыслам. Интересным конструктивным решением отличается спортивный зал в Лужниках размером в плане 88x88 м, перекрытый половой железобетонной оболочкой, опирающейся на боковые железобетонные элементы складчатого профиля.

Наряду со строительством уникальных сооружений в стране широко внедрялись железобетонные, пространственные конструкции для зданий массового строительства. В частности, расширено применение сборных оболочек положительной гауссовой кривизны из унифицированных плоских панелей размером 3x3 м и цилиндрических панелей размером 3x6 или 3x12 м. Достаточно распространенными в массовом строительстве стали панели-оболочки и панели-складки на пролет (панели КЖС, панели-

гипары, панели КСО). В конце прошлого столетия ими ежегодно перекрывались более 300 тыс. м² покрытий. В промышленном строительстве наибольшее распространение получили так называемые складчатые покрытия пролетами 18 и 24 м и с шагом колонн 6 и 12 м, которые монтируются из сборных типовых унифицированных железобетонных элементов.[3]

Тонкостенные пространственные конструкции нашли применение и в сельскохозяйственном строительстве. Были разработаны и внедрены волнистые, цилиндрические и складчатые железобетонные и армоцементные своды из сборных элементов заводского изготовления, панели-оболочки КЖС, рамно-панельные и другие конструкции.

Развитие пространственных конструкций в мировой практике составляет одно из важных направлений научно-технического прогресса в строительстве, которое не только обеспечивает значительное снижение материалоемкости и стоимости зданий и сооружений, но и отвечает самым высоким архитектурным требованиям.

3. Пример расчета несущей способности пространственного покрытия в форме гиперболического параболоида

Оболочки отрицательной гауссовой кривизны в форме гиперболического параболоида на прямоугольном и квадратном планах (гипары) подразделяются на равносторонние и неравносторонние (рисунок 4, *а, б, в*). Равносторонние оболочки применяют как отдельно стоящими, так и из четырех оболочек, а неравносторонние, как правило, лишь в системе покрытия.

В практике проектирования и строительства находят применение следующие виды покрытий в виде гипар: покрытие с наклонными коньками и плоских контуром, покрытие с наклонными коньками и поднятыми углами, покрытие с горизонтальными коньками (рисунок 4, *г, д, е*). В качестве контурных конструкций используют стены, бортовые элементы. По линиям сопряжения отдельных оболочек составных гипаров, образующих систему, устраивают коньковые балки, которые рассчитывают на восприятие сдвигающих усилий.[4]

В конструкциях гипаров, выполняемых обычно из бетона высоких классов, армирование производят сетками из проволоки диаметром 3...5 мм класса В-I с шагом стержней 100...200 мм. Характерная особенность напряженного состояния гипар при равномерно распределенной нагрузке состоит в том, что вдоль главных направлений с отрицательной кривизной развивается растяжение, а вдоль главных направлений положительной кривизны - сжатие.

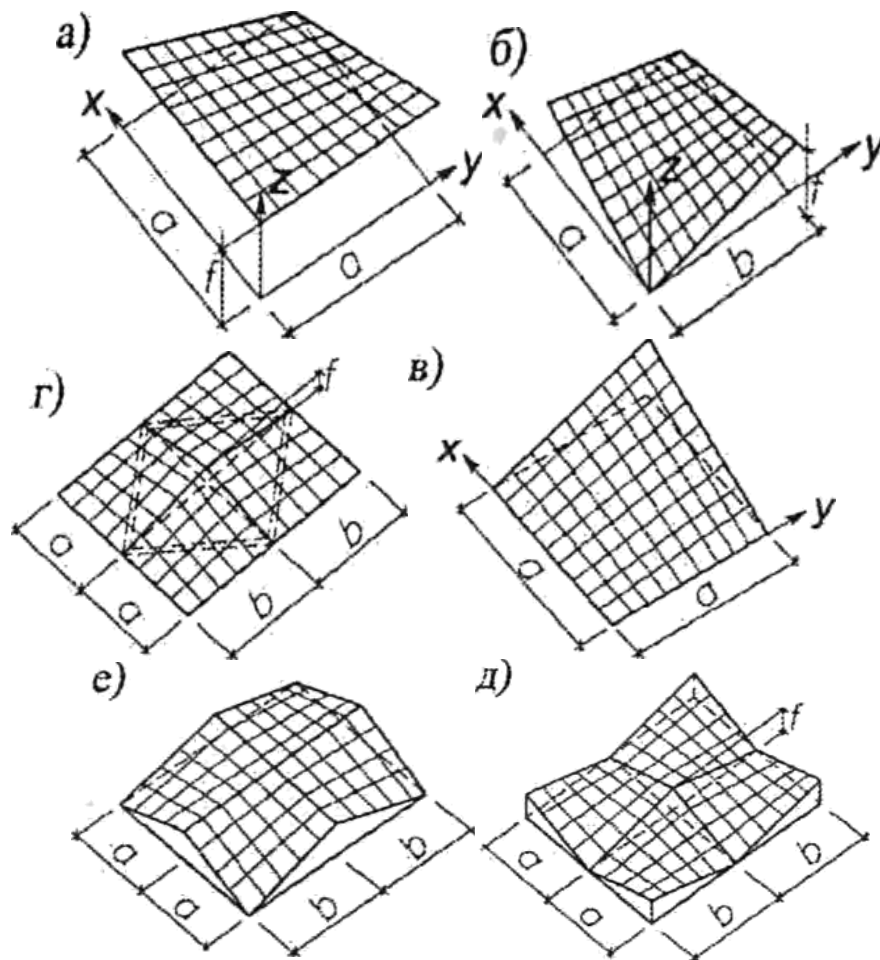


Рисунок 4 — Типы оболочек-гипар (а-в) и схемы покрытий из них (г-е): а, в — гипары равносторонние, б — неравносторонние, г — покрытия с наклонными коньками и плоских контуром, д- с наклонными коньками и поднятыми углами, е - с горизонтальными коньками

4. Пример расчета несущей способности покрытия в форме четырехлепесткового гиперболического параболоида.

Исходные данные (рисунок 7,8):

$t=0,06$ м, $f=3,2$ м, $b_r=0,2$ м, $h_r=0,4$ м, $l=21$ м, $s_x=s_y=0,1$ м, $s_1=0,07$ м, $A_{s1}=0,503 \cdot 10^{-4}$ м², $A_{si}=0,39 \cdot 10^{-4}$ м², $A_{s2}=6,16 \cdot 10^{-4}$ м², $d=4,0$ м, $\gamma_b=25$ кН/м³, $R_{bn}=22$ Мпа, $R_{sn3}=590$ Мпа, $R_{sn,i}=395$ Мпа, $R_{sn2}=390$ Мпа, $R_{sn1}=390$ Мпа.

1. Определение параметров, характеризующих геометрию и армирование конструкций гипара

$$\omega = \frac{A_{s1} R_{sn1} S}{A_{si} R_{sni} S_1} = \frac{0,503 \cdot 10^{-4} \cdot 390 \cdot 0,1}{0,39 \cdot 10^{-4} \cdot 395 \cdot 0,07} = 1,82;$$

$$u = \frac{t_s R_{bn}}{A_{si} R_{sn}} = \frac{0,06 \cdot 0,1 \cdot 22}{0,39 \cdot 10^{-4} \cdot 395} = 8,57;$$

$$\eta = \frac{2b_r h_r}{tl} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 0,4}{0,06 \cdot 21} = 0,127;$$

$$\xi = \frac{2d}{l} = \frac{2 \cdot 4}{21} = 0,381;$$

$$\delta = \frac{2h}{f} = \frac{2 \cdot 4}{3,2} = 0,25.$$

Предварительно задаются значения площади сечения затяжки $A_{sp}=57,3 \cdot 10^{-4}$ м² и определяют параметр v :

$$v = \frac{A_{sp} R_{sn3}}{A_{si} R_{sni}} = \frac{57,3 \cdot 10^{-4} \cdot 590}{0,39 \cdot 10^{-4} \cdot 395} = 219,5.$$

Затем, в случае изменения значения A_{sp} , параметр v уточняется методом итераций.

$$m = \frac{2S}{l} = \frac{2 \cdot 0,1}{21} = 0,0095;$$

$$n = \frac{A_{s2}R_{sn2}}{A_{si}R_{sni}} = \frac{6,16 \cdot 10^{-4} \cdot 390}{0,39 \cdot 10^{-4} \cdot 395} = 15,6.$$

2. Вычисляют коэффициент ψ_1 (ψ_4), характеризующий положение нейтральной оси линии излома и расчетный коэффициент k_i .

Для покрытий в форме четырехлепесткового гипара с наклонными коньками и поднятыми углами (см. рисунок 7):

$$\psi_1 = \frac{(1 + \omega\xi - u\eta)}{1 + \omega + u} = \frac{1 + 1,82 \cdot 0,381 - 8,57 \cdot 0,127}{1 + 1,82 + 8,57} = 0,053;$$

$\psi_1 \geq 0$ – нейтральная ось линии излома не пересекает ребер, а k_i вычисляют:

$$k_i = 2 + 1,5u\eta\delta + \omega\xi^2(3 - \xi) - 6(1 + \omega\xi - u\eta)\psi_1 + 3[2 + \omega(1 + \xi) + u(1 - \eta)]\psi_1^2 - 2(1 + \omega + u)\psi_1^3 = 2 + 1,5 \cdot 8,57 \cdot 0,127 \cdot 0,25 + 1,82 \cdot 0,381^2(3 - 0,381) - 6(1 + 1,82 \cdot 0,381 - 8,57 \cdot 0,127) \cdot 0,053 + 3[2 + 1,82(1 + 0,381) + 8,57(1 - 0,127)] \cdot 0,053^2 - 2(1 + 1,82 + 8,57) \cdot 0,053^3 = 3,0066 \approx 3,01$$

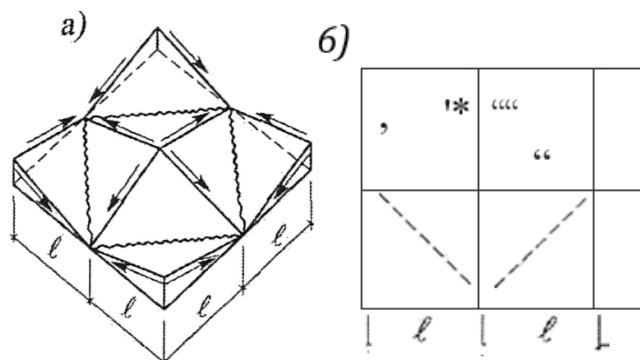


Рисунок 7 — Схема покрытия в форме четырехлепесткового гипара: а

— общий вид и схема разрушения; б — план покрытия

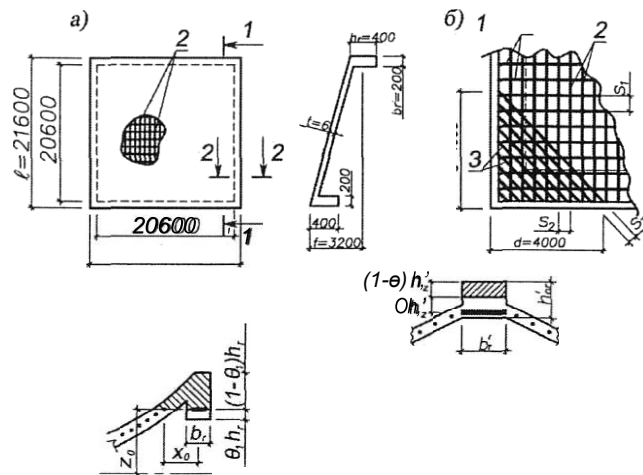


Рисунок 8 — Схема армирования гипара: а - общий вид, б - армирование нижнего угла, в — примыкание оболочки к бортовому ребру, г — то же, к коньковому ребру; 1 - арматура ребра, 2 — арматура поля оболочки, 3 — арматура угловой зоны

3. Определяют предельную нагрузку на оболочку:

$$q = \frac{2A_{si}R_{sni} \cdot f \cdot k_i}{S_l^2} = \frac{2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-4} \cdot 395 \cdot 3,2 \cdot 3,01}{0,1 \cdot 21^2} = 6,73 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

4. Определяют эквивалентную (по работе внутренних сил) равномерно распределённую нагрузку от веса контурных ребер (p_r):

$$p_r = 3\gamma_b t \eta = 3 \cdot 25 \cdot 0,06 \cdot 0,127 = 0,57 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

5. Определяют равномерно распределенную нагрузку от веса оболочки:

$$p_g = \gamma_b t = 25 \cdot 0,06 = 1,50 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

6. Находим интенсивность полной предельной полезной нагрузки на покрытие:

$$g = q - p_g - p_r = 6,73 - 1,5 - 0,57 = 4,66 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 0,00466 \text{ МПа.}$$

7. Вычисляют площадь сечения затяжки, обеспечивающей несмещаемость углов четырехлепесткового покрытия с наклонными коньками и поднятыми углами из условия:

$$A_{sp} \geq \frac{\bar{v} A_{si} R_{sni}}{R_{sn3}} = 57,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 > \frac{204,56 \cdot 0,39 \cdot 10^4 \cdot 395}{590} \\ = 53,41 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

В приведенном выше условии присутствует расчетный параметр \bar{v} .

Его значение зависит от выполнения условий положения нейтральной оси в оболочке, определяемое следующими условиями:

$$\psi_2 > 1 - \sqrt{1 - \delta}; \\ \psi_2 \leq 1 - \sqrt{1 - \delta};$$

Проверяем выполнение этих условий. Для этого вычислим ψ_2 :

$$\psi_2 = \frac{(1 - u\eta + 0,35vm)}{1 + u} = \frac{1 - 8,57 \cdot 0,127 + 0,35 \cdot 219,5 \cdot 0,0095}{1 + 8,57} \\ = 0,067, \\ \psi_2 = 0,067 < 1 - \sqrt{1 - \delta} = 1 - \sqrt{1 - 0,25} = 0,134,$$

следовательно, нейтральная ось пересекает ребро и параметр \bar{v} находим:

$$\bar{v} = \frac{(k_i - k_j)}{1,07m(1 - \psi_3 + 0,5\psi_3^2)} \\ = \frac{3,01 - 1,28}{1,07 \cdot 0,0095(1 - 0,185 + 0,5 \cdot 0,185^2)} = 204,56$$

Параметры ψ_3 и k_j для случая, когда нейтральная ось пересекает ребро вычисляют:

$$\begin{aligned}\psi_3 &= \frac{\delta + u\delta + u\eta - \sqrt{(\delta + u\delta + 2u\eta)^2 - 4u\eta\delta(1 + m(n + v))}}{2u\eta} \\ &= \frac{0,25 + 8,57 \cdot 0,25 + 2 \cdot 8,57 \cdot 0,127}{2 \cdot 8,57 \cdot 0,127} \\ &= \frac{0,25 + 8,57 \cdot 0,25 + 2 \cdot 8,57 \cdot 0,127^2 - \sqrt{4 \cdot 8,57 \cdot 0,127 \cdot 0,25(1 + 0,0095(15,6 + 219,5))}}{2 \cdot 8,57 \cdot 0,127} \\ &= 0,185;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_j &= 1 + 1,05mn\delta - 3(1 + 0,7mn)\psi_3 \\ &+ 3\left(1 + 0,5u + \frac{u\eta}{\delta} + 0,35mn\right)\psi_3^2 - \left(1 + u + \frac{3u\eta}{\delta}\right)\psi_3^3 \\ &+ \frac{0,75un\psi_3^4}{\delta} \\ &= 1 + 1,05 \cdot 0,0095 \cdot 15,6 \cdot 0,25 \\ &- 3(1 + 0,7 \cdot 0,0095 \cdot 15,6) \cdot 0,185 \\ &+ 3\left(1 + 0,5 \cdot 8,57 + \frac{8,57 \cdot 0,127}{0,25} + 0,35 \cdot 0,0095 \cdot 15,6\right) \\ &\cdot 0,185^2 - \left(1 + 8,57 + \frac{3 \cdot 8,57 \cdot 0,127}{0,25}\right) \cdot 0,185^3 \\ &+ \frac{0,75 \cdot 8,57 \cdot 0,127 \cdot 0,185^4}{0,25} = 1,28.\end{aligned}$$

5. Пример расчета устойчивости свода

Произвести расчет устойчивости бетонного свода из элементов в виде оболочек размером 3x12 м. Толщина поля оболочки $\delta = 0,04$ м, радиус кривизны поверхности $r_2 = 12,51$ м. Класс бетона В30 при относительной влажности воздуха 40—75 %. Объект находится в III снеговом районе. Нормативное значение нагрузки от собственного веса оболочки 1,6 кПа; от теплоизоляции, пароизоляции, гидроизоляции – 1,25.

Решение:

Для гладких коротких цилиндрических оболочек интенсивность полной расчетной нагрузки должна быть не более значения, определяемого по формуле:

$$q = 0,75E\left(\frac{\delta}{r_2}\right)^2 \frac{1}{\left(\frac{l_1}{\sqrt{\delta r_2}}\right)^{-1}} \quad (2)$$

При продолжительном действии нагрузки значение модуля деформаций бетона определяют по формуле*:

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1+\phi_{b,cr}} \quad (3),$$

где $\phi_{b,cr}$ - коэффициент ползучести бетона, принимаемый согласно 6.1.16. СП 63.13330.2018 "Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения".

Для класса бетона

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \phi_{b,cr}},$$

где $\phi_{b,cr}$ - коэффициент ползучести.

В соответствии с СП 52-101-2004 для бетона класса В30 при относительной влажности воздуха 40-75% коэффициент ползучести $\phi_{b,cr}=2,3$. Отсюда $E_{b,\tau}=32,5 \cdot 10^3/(1+2,3) = 9,8485 \cdot 10^3$ МПа.

При продолжительном действии нагрузки значение начального модуля деформаций составит $E_b = 32,5 \cdot 10^3 \cdot 0,85 = 27,625 \cdot 10^3$ МПа.

В соответствии с СТО 36554501-015-2009 длительно действующая часть снеговой нагрузки составляет 50%, полной $S_g = 1,5$ кПа. Тогда продолжительность действующей нагрузка (табл. 5.1) составит $g_t = 1,76 + 1,05 + 1,63 = 4,44$ кПа.

Заменив в Е на $E_{b,\tau}$ после вычисления, получим:

$$\begin{aligned}
 q &= 0,75 \cdot 9,8485 \cdot 10^6 \left(\frac{0,04}{12,51} \right)^2 \frac{1}{(12/\sqrt{0,04 \cdot 12,51})^{-1}} \\
 &= 0,75 \cdot 9,8485 \cdot 10^6 \cdot 1,02236 \cdot 10^{-5} \cdot 0,06264 \\
 &= 4,44 \text{ кПа} > 4,02 \text{ кПа.}
 \end{aligned}$$

Устойчивость обеспечена.[2]

* E_b - начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении согласно СП 52-101-2003 (таблица 5.4)

Коэффициент ползучести принимаем по таблице 5.5

6. Вопросы для собеседования

Обзор существующих пространственных конструкций

1. Дайте классификацию пространственных конструкций по очертанию срединной поверхности.
2. Дайте классификацию пространственных конструкций по форме перекрываемой площади.
3. Дайте классификацию пространственных конструкций по способу изготовления и возведения.
4. Дайте классификацию пространственных конструкций по материалам.
5. Что такое оболочки положительной гауссовой кривизны?
6. Что такое оболочки отрицательной гауссовой кривизны?
7. Каковы особые требования к определению усилий в пространственных конструкциях?
8. Каковы особые требования к определению деформаций в пространственных конструкциях?
9. Каковы особые требования к выбору метода расчёта пространственных конструкций?
10. Каковы особые требования к выбору расчётной схемы пространственных конструкций?
11. Опишите критерии выбора той или иной формы пространственных конструкций.
12. Охарактеризуйте технические требования к пространственным конструкциям.
13. Какие пространственные конструкции наиболее распространены в настоящее время в России и странах СНГ?

14. Какие пространственные конструкции распространены в сельском хозяйстве?
15. Дайте общую характеристику призматическим складкам.
16. Дайте общую характеристику цилиндрическим оболочкам.
17. Дайте общую характеристику пологим оболочкам положительной Гауссовой кривизны.
18. Дайте общую характеристику оболочкам отрицательной Гауссовой кривизны.
19. Дайте общую характеристику куполам.
20. Дайте общую характеристику бочарным сводам.
21. Дайте общую характеристику многогранникам.
22. Дайте общую характеристику составным оболочкам.
23. Дайте общую характеристику панелям-гипарам.
24. В чем преимущество пространственных конструкций относительно плоскостных?
25. Что такое «краевой эффект» в пространственных конструкциях?
26. В каких случаях наиболее эффективны пространственные конструкции?
27. Из чего состоят вантовые покрытия?
28. Укажите классификацию вантовых покрытий.
29. Из чего состоят мембраны?
30. Что такое мягкие оболочки?

Нагрузки и воздействия

1. Классификация нагрузок, объемные и поверхностные нагрузки.
2. Характеристика и примеры сосредоточенных и распределенных нагрузок.
3. Виды нагрузок по характеру действия.
4. Классификация нагрузок по продолжительности действия.
5. Приведите пример кратковременных нагрузок.
6. Приведите пример длительных нагрузок.
7. Приведите примеры особых нагрузок.
8. Сочетания нагрузок и их виды.

9. Что такое коэффициент сочетаний нагрузок?
10. Чем отличаются нагрузки от воздействий?
11. Дайте определение нормативной и расчетной нагрузки.
12. Как определить расчетную нагрузку, зная нормативную?
13. От чего зависит величина снеговой нагрузки на покрытие?
14. Что учитывает коэффициент γ_n ?
15. Что учитывает коэффициент γ_f и как найти его значение?
16. Как определить нормативное значение веса оборудования для нестандартного оборудования?
17. Какие воздействия ветра необходимо учитывать на здания и сооружения?
18. От чего зависит нормативное значение основной ветровой нагрузки?
19. Какой коэффициент учитывает отклонение от нормативного значения нагрузки в ту или иную сторону?
20. Как называется нагрузка, установленная нормами, гарантирующая нормальную эксплуатацию конструкции?
21. Какой коэффициент учитывает степень ответственности и капитальности зданий и сооружений?
22. Что такое подвижная нагрузка?
23. Особенности назначения нагрузок и воздействий на пространственные конструкции.
24. Учёт влияния изменения температуры.
25. К кому виду нагрузок относится снеговая нагрузка?
26. К кому виду нагрузок относится вес оборудования?
27. К кому виду нагрузок относится вес людей?
28. К кому виду нагрузок относится давление грунтов?
29. В какое сочетание входит ветровая нагрузка?
30. В какое сочетание входит сейсмическая нагрузка?

Особенности НДС пространственных конструкций

1. Начальные прогибы.
2. Предельные прогибы.
3. Учёт ползучести бетона.
4. От чего зависят напряжения в каждой точке нагруженного тела?

5. Что такое напряженное состояние в точке?
6. Какие вы знаете виды напряженного состояния?
7. Что такое линейное напряженное состояние?
8. Что такое плоское напряженное состояние?
9. Что такое объемное напряженное состояние?
10. В результате чего происходит деформирование тела?
11. Что такое главные оси деформированного состояния?
12. Что такое октаэдрическая площадка?
13. Какая зависимость существует между компонентами напряженного и деформированного состояний?
14. Что такое потенциальная энергия деформации?
15. Что такое опасные напряжения?
16. Какие бывают механические состояния материала в процессе деформирования?
17. Что влияет на переход от одного механического состояния в другое?
18. Что такое трехосное растяжение?
19. Трёхшарнирная система сегментных сводов из панелей-оболочек КЖС.
20. Стрела подъёма. Конструирование сегментных сводов.
21. Расчётная схема. Учёт нагрузки.
22. Расчёт по предельным состояниям первой группы.
23. Расчёт по предельным состояниям второй группы.
24. От чего зависит опасное напряженное состояние элемента конструкции?
25. Дайте краткую характеристику теории наибольших нормальных напряжений.
26. Дайте краткую характеристику теории наибольших относительных деформаций.
27. Дайте краткую характеристику теории наибольших касательных напряжений.
28. Дайте краткую характеристику энергетической теории.
29. В каких случаях используется теория прочности Мора?
30. Что такое статически определимые и статически неопределимые системы.

Основные требования к расчёту и конструированию

1. Конструирование шатровых конструкций.
2. Элементы шатровых конструкций.
3. Пространственная работа шатровых конструкций.
4. Расчётная схема. Учёт нагрузки.
5. Расчёт по предельным состояниям первой группы.
6. Расчёт по предельным состояниям второй группы.
7. Особенности расчета сборного складчатого покрытия.
8. Особенности расчета гипар.
9. В чем особенности расчета монолитных пространственных конструкций?
10. В чем особенности расчета элементов сборно-монолитных конструкций?
11. В чем особенности расчета сборно-монолитной конструкции после достижения бетоном замоноличивания проектной прочности?
12. Как рассчитывают сборные конструкции после достижения бетоном замоноличивания стыков проектной прочности и после раскружаливания?
13. На что должны быть проверены элементы сборных конструкций, в том числе укрупненных, при монтаже (до замоноличивания)?
14. Как определяется расчетный размер сторон оболочек, многогранников и складок в плане?
15. Каковы особенности выбора расчетной схемы сборно-монолитных пространственных конструкций?
16. Требования к прогибам покрытий в виде оболочек двойкой кривизны и многогранников пролетом 18-60 м.
17. Особенности усиления оболочек ребрами.
18. Порядок расчета железобетонных пространственных покрытий на обеспечение пожарной безопасности.
19. Бетоны, применяемые для пространственных конструкций. Арматура для пространственных конструкций.
20. Особенности расположения предварительно напрягаемой арматуры в пространственных конструкциях.
21. Главными напряжениями называются?
22. Сущность метода конечных элементов состоит?
23. Сущность метода конечных разностей (сеток) состоит?

24. Сущность метода граничных элементов состоит?
25. Сущность метода коллокаций состоит?
26. Какие типы конечных элементов могут быть использованы в методе конечных элементов?
27. Что называется пластичностью?
28. Главными напряжениями называются?
29. Как расположены главные площадки по отношению друг к другу?
30. Полубезмоментная теория оболочек?

Проектирование пространственных конструкций зданий и сооружений

1. Под поверхностными силами понимают?
2. Под объемными силами понимают?
3. Под напряжениями понимают?
4. Нормальными напряжениями называют?
5. Касательными напряжениями называют?
6. Закон парности касательных напряжений состоит в следующем?
7. Методом сил называют метод решения задач теории упругости, когда за неизвестные приняты?
8. Методом перемещений называют метод решения задач теории упругости, когда за неизвестные приняты?
9. Смешанным методом называют метод решения задач теории упругости, когда за неизвестные приняты?
10. Что называется пластичностью?
11. Особенности проектирования монолитных тонкостенных конструкций.
12. Особенности проектирования сборно-монолитных конструкций.
13. Особенности проектирования сборных конструкций.
14. Стыки сборных конструкций.
15. Отверстия и проемы в пространственных конструкциях.
16. Деформационные швы пространственных конструкций.
17. Виды сводов и особенности их расчетов.
18. Конструирование цилиндрических и призматических (полигональных) сводов.

19. Конструирование сводов с треугольным поперечным сечением складок.

20. Конструирование сводов с трапециевидным поперечным сечением складок.

21. Конструирование волнистых сводов.

22. Особенности расчета призматических складок треугольного сечения.

23. Особенности расчета призматических складок трапециевидного сечения.

24. Общие рекомендации по расчету длинных цилиндрических и складчатых оболочек.

25. Стадии напряженного состояния поперечных сечений оболочки (складки).

26. Выбор схемы и очертаний элементов цилиндрических оболочек.

27. Выбор схемы и очертаний элементов складчатых оболочек.

28. Предварительное определение сечений элементов оболочек.

29. Общие рекомендации по расчету коротких монолитных оболочек.

30. Особенности конструирования коротких монолитных оболочек.

Библиографический список

1. Разинкова, О. А. Проектная подготовка в строительстве : учебное пособие / О. А. Разинкова, В. А. Лихобабин. — Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2020. — 103 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/115499.html> (дата обращения: 19.01.2022). — Режим доступа: по подписке. — Текст : электронный.

2. Бахтинова, Ч. О. Основы предпроектной подготовки в строительстве : учебное пособие / Ч. О. Бахтинова, С. А. Бахтинов. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. — 109 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99313.html> (дата обращения: 19.01.2022). — Режим доступа: по подписке. — Текст : электронный.

3. Волков, С. В. Организация инженерных изысканий в строительстве, управление ими и их планирование : учебное пособие / С. В. Волков, Л. В. Волкова, В. Н. Шведов. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 80 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/30008.html> (дата обращения: 19.01.2022). — Режим доступа: по подписке. — Текст : электронный.

4. Саморегулирование в области инженерных изысканий, проектирования, строительства : сборник нормативных актов и документов / составители Ю. В. Хлистун. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2015. — 38 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/30282.html> (дата обращения: 19.01.2022). — Режим доступа: по подписке. — Текст : электронный.