

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Є. Г. Стоянов

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
«ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ»

РОЗДІЛ 2 ТОНКОСТІННІ ПРОСТОРОВІ ПОКРИТТЯ

*(для студентів всіх форм навчання
та слухачів другої вищої освіти
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації
«Промислове і та цивільне будівництво»)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018

Стоянов Є. Г. Конспект лекцій з курсу «Проектування залізобетонних конструкцій». Розділ 2 Тонкостінні просторові покриття (для студентів всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації «Промислове і та цивільне будівництво») / Є. Г. Стоянов; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 25 с.

Автор канд. техн. наук, доц. Є. Г. Стоянов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н. О. Псурцева

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій, протокол № 7 від 03.02.2017.

Зміст

1	Загальні положення	4
2	Покриття із циліндричних оболонок	5
3	Покриття із призматичних складок	10
4	Куполи	11
5	Покриття із оболонок двовипуклої кривизни	14
6	Покриття із оболонок двоввігнутої кривизни	18
7	Висячі системи покриттів	19
	Список рекомендованих джерел	25

1 Загальні положення

Просторові покриття – це системи, що утворені із тонкостінних оболонок (тонких плит) і контурних бортових конструкцій у вигляді балкових, ферменних або аркових елементів.

Оболонки мають криволінійну або багатогранну поверхню.

Тонкостінні просторові покриття можуть бути виконані як:

- циліндричні оболонки;
- призматичні складки;
- оболонки обертання з вертикальною віссю (купола);
- оболонки двовипуклої або двоввігнутої кривизни;
- висячі (вантові) покриття.

Тонкостінні просторові покриття здатні перекривати прогони досить великої величини без проміжних опор. Ці покриття працюють в двох напрямках, за рахунок чого більш раціонально використовуються міцнісні якості матеріалів, значно зменшується вага конструкцій у порівнянні з покриттями із плоских елементів. Просторові покриття мають більш виразну архітектурну зовнішність.

В якості покриттів найчастіше використовують пологі оболонки з підйомом поверхні не більше $1/5 \dots 1/6$ розміру контуру в плані.

В загальному випадку в нормальних перерізах оболонки виникають нормальні сили N_x і N_y , зсувні сили N_{xy} і N_{yx} , згинальні моменти M_x і M_y , поперечні сили V_x і V_y , крутні моменти T_{xy} і T_{yx} (рис. 1).

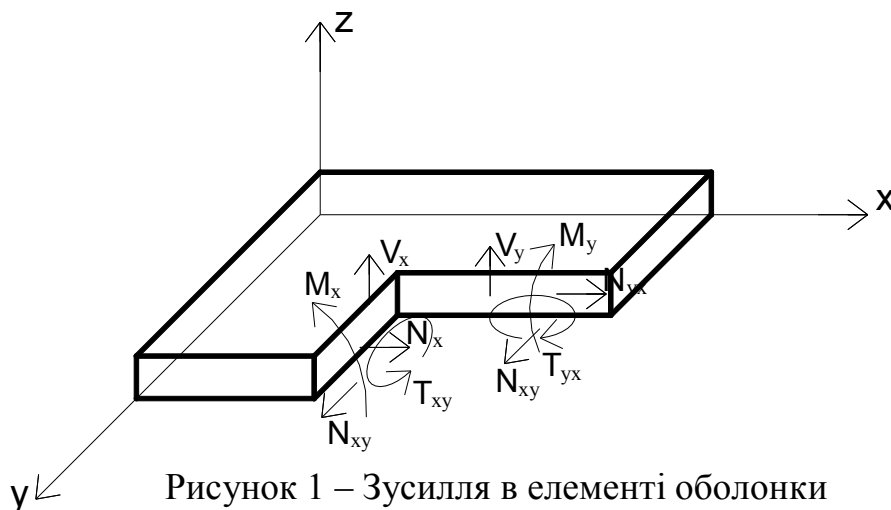


Рисунок 1 – Зусилля в елементі оболонки

Тонкостінні оболонки мають малу жорсткість проти дії сил, що розвиваються в серединній поверхні. Тому зовнішні навантаження, що діють перпендикулярно серединній поверхні, сприймаються переважно силами

N_x, N_y, N_{xy}, N_{yx} . В більшості оболонок майже на всій поверхні утворюється безмоментний стан, а повний напружений стан – лише в окремих місцях: в зонах примикання плити оболонки до бортових елементів або в зоні локальних і зосереджених навантажень.

Тонкостінні конструкції покриттів можуть бути монолітними або збірними. Збірні конструкції, як правило, виконують ребристими.

Контурні елементи доцільно виконувати попередньо напруженими.

Арматура в оболонках встановлюється відповідно до епюр нормальних і дотичних напружень, а також згинальних моментів.

Примикання плити оболонки до бортових елементів і діафрагм виконується плавним з армуванням подвійними арматурними сітками.

2 Покриття із циліндричних оболонок

2.1 Геометрія оболонок

Циліндричні оболонки (рис. 2) складаються з елементів:

- тонкої плити, сформованої за циліндричною поверхнею (саме оболонки);
- бортових елементів уздовж крайніх твірних;
- поперечних діафрагм на криволінійних краях, що спираються на колони або стіни.

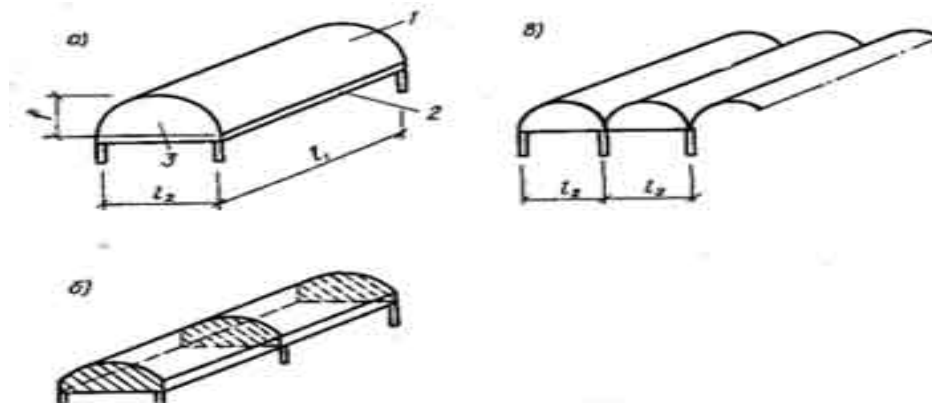


Рисунок 2 – Монолітні довгі циліндричні оболонки

а – окрема; б – двопрогінна; в – нерозрізна;

1 – плита-оболонка; 2 – бортовий елемент; 3 – діафрагма;

l_1 – прогон оболонки; l_2 – довжина хвилі; h – висота оболонки

При $l_1/l_2 \geq 1$ оболонка – довга, при $l_1/l_2 < 1$ – коротка.

Висота оболонок приймається $h = (1/15 \dots 1/20)l_1$;

стріла підйому $f > (1/6 \dots 1/8)l_2$.

Товщина плити оболонки $\delta = (1/200 \dots 1/300)l_2$.

В бортових елементах розташовують основну арматуру, переважно попередньо напружену. Бортові елементи рекомендовано приймати у вигляді балок, розташованих переважно нижче краю оболонки. Висота бортового елемента $h_1 = (0.3 \dots 0.5)h$; товщина $b = (2 \dots 4)\delta$.

В якості діафрагм використовують суцільні балки, ферми, арки.

2.2 Принципи розрахунку

На стадії визначення конструктивного рішення приймають спрощені методи розрахунку. На рис. 3 показано схема розрахункового напруженого стану в поперечному перерізі оболонки при загальному згині її уздовж напрямку l_1 .

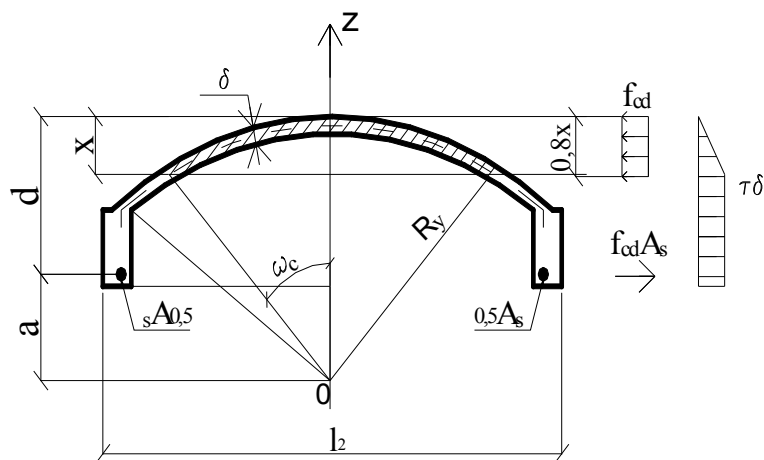


Рисунок 3 – Схема загального напруженого стану оболонки

Умови міцності нормальних перерізів оболонки:

$$1) \quad \sum M_0 = 0:$$

$$M_x \leq 0.8(2f_{cd}\delta R_y^2 \sin\theta_c - f_{yd} A_s a_0) \quad (1)$$

$$2) \quad \sum X = 0:$$

$$2f_{cd}\delta R_y \sin\theta_c = f_{yd} A_s, \quad (2)$$

де M_x – момент зовнішніх сил, що виникають як для балки прогоном l_1 .

Попереднє значення кількості робочої арматури в бортових елементах визначають з формули $A_s \sim M_x / 0.8f_{yd}d$.

Погонні згинальні моменти уздовж хвилі оболонки M_y в будь-якому перерізі оболонки визначаються як сума моментів від навантаження q і дотичних зусиль

$$\tau\delta = \Delta V \cdot S / I_z, \quad (3)$$

де ΔV – приріст поперечної сили на розглядуваній погонній ділянці оболонки.

Загальний вигляд епюри згинальних моментів M_y показаний на рисунку 4.

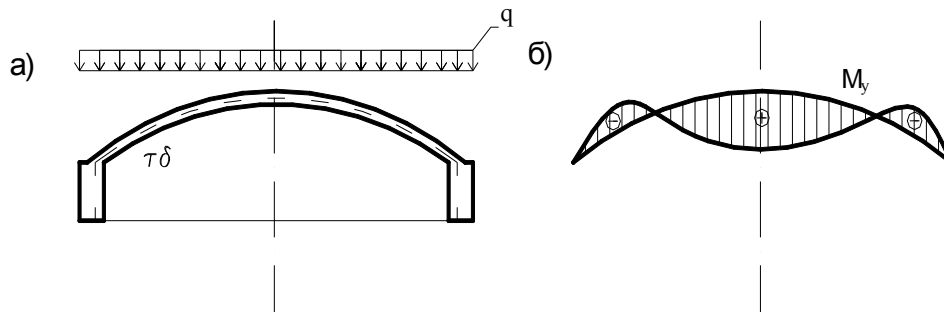


Рисунок 4 – Схема зусиль в оболонці уздовж хвилі
а – дотичні зусилля; б – згинальні моменти

Внутрішні зусилля в довгій циліндричній оболонці з невеликим приближенням можна отримати за безмоментним напруженим станом, що визначається рівнянням

$$k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - 2k_{xy} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = -q, \quad (4)$$

де q – зовнішнє розподілене навантаження;

$\varphi(x, y)$ – функція напружень, що пов'язана із внутрішніми зусиллями:

$$N_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad N_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad N_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \quad (5)$$

k_x, k_y, k_{xy} – кривизни поверхні відповідно в напрямку осей OX, OY і кривизни крутіння:

$$k_x = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad k_y = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}, \quad k_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}.$$

Повний (моментний) напружений стан визначається рівнянням

$$k_x N_x + k_y N_y + 2k_{xy} N_{xy} - D \frac{d^4 w}{dx^4} = -q, \quad (6)$$

де D – циліндрична жорсткість оболонки на згин:

$$D = E_{cm} \delta^3 / 12, \quad (7)$$

w – прогин серединної поверхні оболонки.

Для пологої циліндричної оболонки рівняння (4), (6) спрощуються:

$$k_x = 0, \quad k_{xy} = 0, \quad D = 0, \quad k_y = 1/R_y, \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -q R_y.$$

Уздовж l_1 біля діафрагм в плиті оболонки виникають локальні моменти M_x^I , що визначаються залежно від типу з'єднання оболонки з діафрагмою. Так, при шарнірному з'єднанні

$$M_{x \max}^I = 0.0937 q R_y \delta ; \quad (8)$$

в перерізі на відстані від діафрагми

$$x_I = 0.597 \sqrt{R_y \delta} \quad (9)$$

при жорсткому з'єднанні

$$M_{x \min}^I = -0.289 q R_y \delta , \quad (10)$$

$$M_{x \max}^I = 0.058 q R_y \delta \text{ на відстані від діафрагми } x_I = 1.2 \sqrt{R_y \delta} . \quad (11)$$

Епюри локальних згинальних моментів в плиті-оболонці показані на рисунку 5.

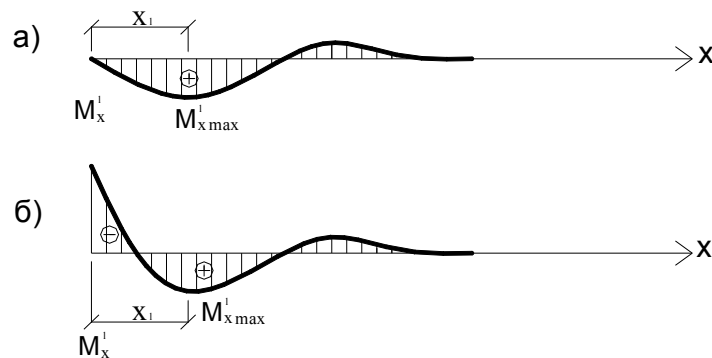


Рисунок 5 – Епюри локальних згинальних моментів:

а – при шарнірному з'єднанні оболонки з діафрагмою; б – при жорсткому з'єднанні

2.3 Конструювання оболонок

Армування оболонки виконують за результатами статичного розрахунку. Схема армування показана на рисунку 6.

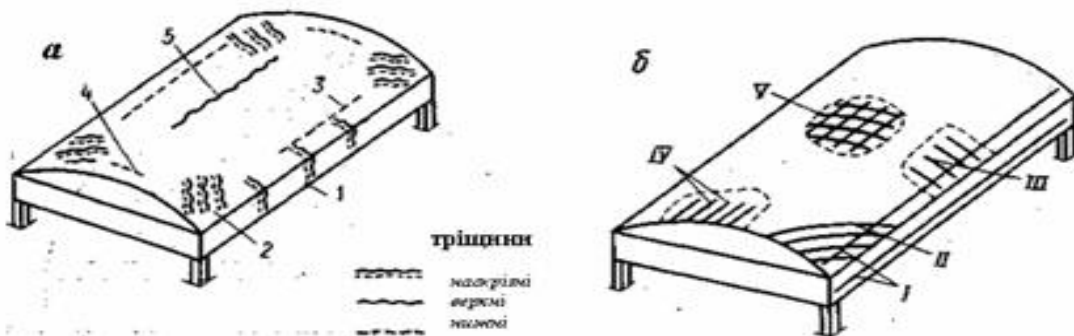


Рисунок 6 – Армування довгої циліндричної оболонки
а – схема тріщиноутворення; б – схема армування

Арматура типу I – поздовжня, розташована в бортових елементах, як правило, попередньо напружена; може бути стрижневою, дротовою, канатною.

60% поздовжньої арматури концентрують в нижній частині бортових елементів, решту розподіляють по всій площині бортових елементів, частково – в розтягнутій зоні плити оболонки.

Арматуру типу II розраховують на дію дотичних зусиль N_{xy} і розташовують у кутових зонах між бортовими елементами і діафрагмами.

Арматура типу III сприймає негативні згинальні моменти M_y і розташовується біля бортових елементів.

Арматуру типу IV розраховують на дію локальних моментів M_x^I і розташовують в місцях примикання оболонки до діафрагм.

Арматура типу V – у вигляді сітки з чарункою 200...250 мм загальною площею перерізу не менше 0.2% від площі перерізу бетону. Сітка укладається по всій поверхні оболонки. Площа перерізу арматури в напрямку хвилі визначається за найбільшими значеннями моменту M_y .

2.4 Проектування коротких циліндричних оболонок

Оболонки розраховують за спрощеною методикою.

В напрямку l_1 оболонку розраховують як балку. Максимальний момент

$$M = \frac{ql_2 l_1^2}{8} . \quad (12)$$

Необхідна кількість арматури

$$A_s = \frac{ql_2 l_1^2}{4.5 f_{yd} h} . \quad (13)$$

Арматуру A_s розташовують в бортових елементах. Біля бортових елементів оболонку армують додатковими сітками на довжині 1.25...1.5 м.

В напрямку l_2 оболонку розраховують як балку таврового профілю з ребром-діафрагмою змінної висоти h (рис. 7).

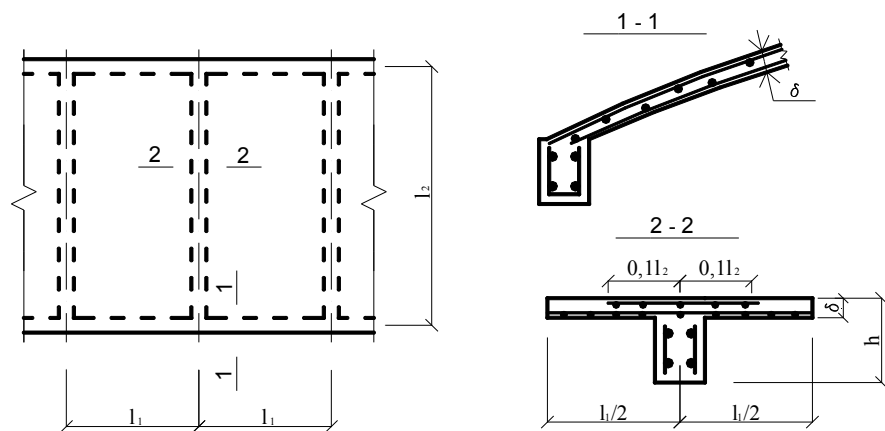


Рисунок 7 – Розрахункова схема короткої оболонки. Армуння

Плита оболонки – стиснута. Найбільші зусилля стиску мають місце у верхній точці оболонки і дорівнюють $N_{y \max} = qR_y l_1$.

3 Покриття із призматичними складками

Покриття утворюються із плоских плит-граней, бортових елементів і діафрагм (рис. 8).

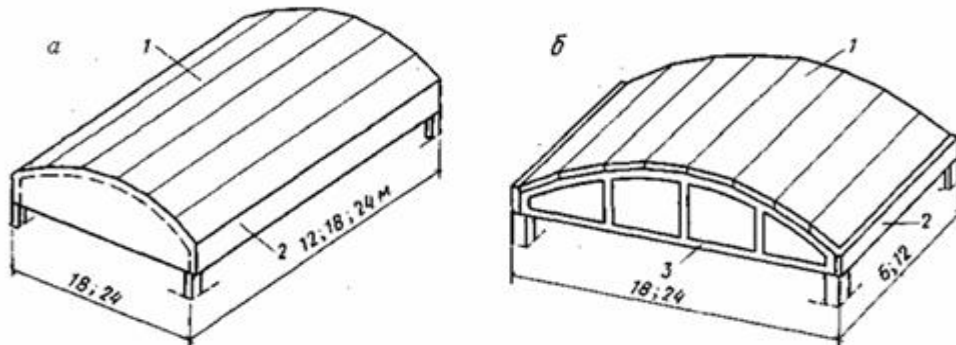


Рисунок 8 – Призматичні складки

а – довга; б – коротка; 1 – грань складки; 2 – бортовий елемент;
3 – діафрагма

Грані складок проектують шириною $(0.25...0.4)l_2$. Висоту складок приймають $h = (1/7...1/10)l_1$. В більшості рішень $l_1 > l_2$. Висоту бортових елементів і товщину плити грані приймають як для довгих циліндричних оболонок.

Розрахунок складок в напрямку l_1 виконують як і довгих оболонок. В напрямку l_2 грані працюють на згин як багатопрогонні балочні плити з ламаною віссю (рис. 9).

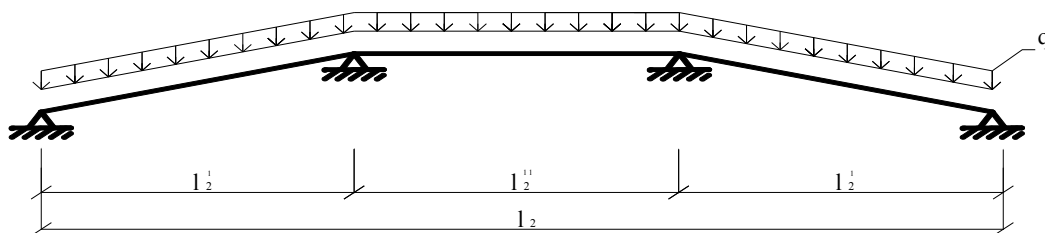


Рисунок 9 – Розрахункова схема складки в напрямку хвилі

Грані складки армують уздовж хвилі відповідно до епюри згинальних моментів M_2 (рис. 10).

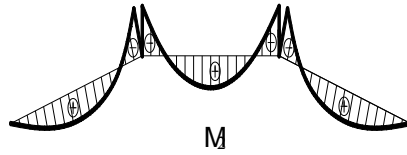


Рисунок 10 – Епюра згинальних моментів уздовж хвилі

Поздовжню арматуру в гранях в напрямку l_1 встановлюють конструктивно з кроком 200...250 мм. Поздовжню арматуру, що розрахована на загальний згин, встановлюють в бортових елементах.

4. Куполи

4.1. Загальні положення

Куполи проектується для покриттів будівель та споруд круглих або полігональних в плані (спортивні і виставочні зали, резервуари, тощо).

Купол складається з двох головних елементів: оболонки обертання відносно вертикальної осі і розтягнутого кільця (рис. 11). Якщо в куполі проектується центральний отвір, то влаштовують верхнє кільце, що облямовує отвір.

Підйом купола приймають $h \geq R_2/10$. Опорне кільце може спиратись на суцільну основу (стіну) або на окремі колони.

Товщину оболонок куполів приймають $\delta = (1/600...1/800)R_1$, але не менше 5 см. Опорне кільце сприймає розпір, тому його переважно проектують попередньо напруженим.

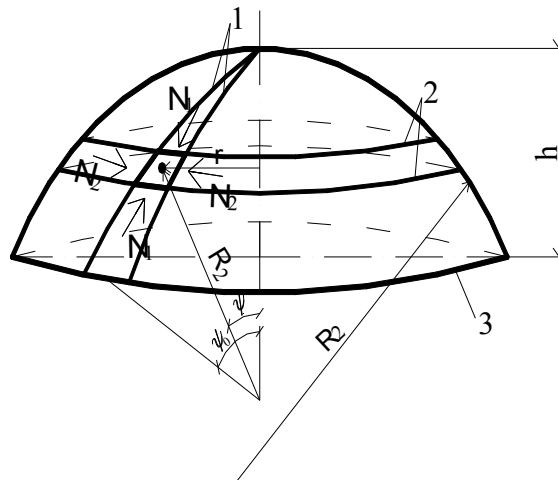


Рисунок 11 – Загальний вигляд куполу

1 – меридіональні перерізи; 2 – кільцеві перерізи; 3 – опорне кільце

4.2 Принципи розрахунку куполів

Тонкостінні куполи можна розраховувати за безмоментною теорією.

При симетричному навантаженні рівняння (4) з урахуванням (5) може бути записане у вигляді

$$N_1/R_1 + N_2/R_2 = q_\psi, \quad (14)$$

де ψ – кутова координата;

N_1 – зусилля уздовж меридіану, що визначають за формулою

$$N_1 = Q_\psi / 2\pi \sin\psi; \quad (15)$$

Q_ψ – навантаження на сегмент, що обмежений кутом ψ ;

q_ψ – складова навантаження, що направлена нормально до поверхні куполу.

Розпір в розглядуваній точці

$$H = N_1 \cos\psi. \quad (16)$$

Розпір в опорному кільці

$$H_0 = N_1 \cos\psi_0 = Q_{\psi_0} / 2\pi R_2 \operatorname{tg}\psi_0. \quad (17)$$

Зусилля розтягу в опорному кільці

$$N_0 = Q_{\psi_0} / 2\pi \operatorname{tg}\psi_0. \quad (18)$$

Величину кільцевого зусилля N_2 визначають з (14):

$$N_2 = R_2 (q_\psi - N_1/R_1). \quad (19)$$

Якщо зверху є отвір, то зусилля в кільці отвору

$$N_k = q_k R_k \cos\psi_k, \quad (20)$$

де q_k – навантаження на 1 пог. м кільця;

ψ_k – кутова координата кільця.

Зусилля N_1 – стискаючі, зусилля N_2 можуть змінювати знак залежно від геометрії куполу. В загальному випадку епюри зусиль N_1 , N_2 мають вигляд, показаний на рисунку 12.

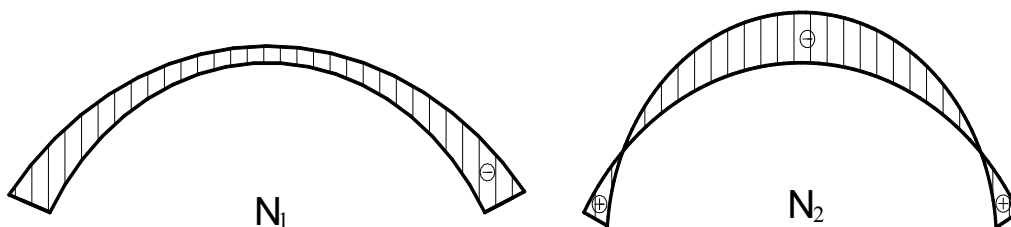


Рисунок 12 – Зусилля в куполі

В реальних конструкціях оболонка куполу жорстко закріплюється в опорному кільці, у зв'язку з чим на контурі оболонки виникають додаткові

статично невизначені величини - згинальний момент M_0 в напрямку меридіану і радіальний розпір N_0 (зусилля кураєвого ефекту). Ці зусилля визначають за умови сумісності деформацій оболонки і опорного кільця. Вплив контурного закріплення має місце тільки біля опорного кільця і накладається на загальний безмоментний напружений стан (аналогічно кураєвому ефекту для циліндричних оболонок). На рисунку 13 показані епюри моментів і кільцевих зусиль в куполі, що жорстко закріплений на контурі.

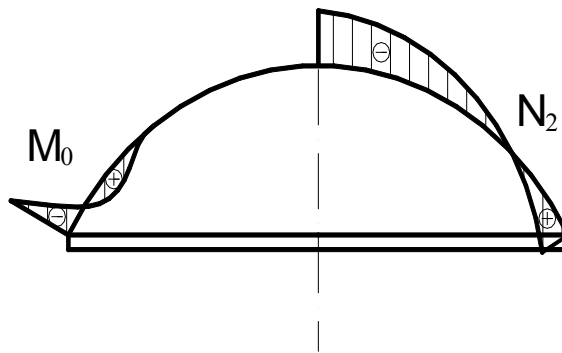


Рисунок 13 – Зусилля в куполі при жорсткому його закріпленні в опорному кільці

4.3 Конструювання куполів

Купольні покриття переважно виконують у вигляді пологої кульової поверхні або у вигляді конусу.

Основні навантаження – власна вага оболонки разом з утеплювачем та покрівлею, а також снігове навантаження. Обидва навантаження приймають діючими осесиметрично.

Вітрові навантаження для пологих куполів можуть не прийматись до уваги.

Куполи виконують у монолітному або збірному варіантах.

Оболонки пологих куполів, за винятком біляопорних зон, – стиснуті; їх армують конструктивно – арматурною сіткою з чарункою 150...200 мм. Біля опорного кільця встановлюють додаткову меридіональну арматуру, що сприймає краєві моменти M_0 і додаткову кільцеву арматуру для сприймання розтягуючих зусиль N_2 .

Робочу арматуру в опорному кільці приймають у вигляді кільцевих стрижнів діаметром 20...28 мм без попереднього напруження, яку з'єднують

за допомогою зварювання, або застосовують попередньо напружену арматуру (переважно дровову або канатну).

Принципове армування куполу показано на рисунку 14.

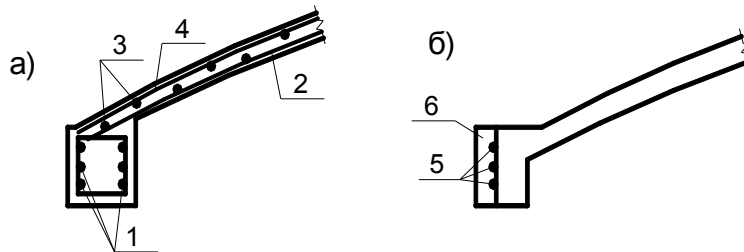


Рисунок 14 – Армування куполу

а – при звичайному армуванні; б – з попереднім напруженням кільцевої арматури ; 1 – робоча арматура опорного кільця; 2 – конструктивна сітка на усій поверхні оболонки; 3 – кільцева арматура за розрахунком на N_2 ; 4 – додаткова арматура за розрахунком на M_x ; 5 – напружена арматура; 6 – торкрет-бетон

5 Оболонки переносу двовипуклої кривизни

5.1 Загальні положення

Покриття з оболонок переносу двовипуклої (позитивної гауссової) кривизни складаються з тонкостінної плити, що зігнута в двох напрямках, і контурних діафрагм (рис. 15).

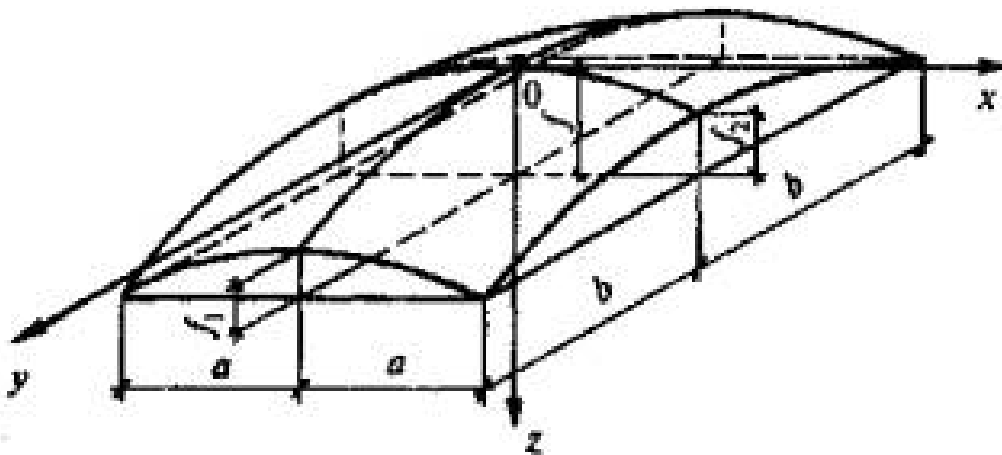


Рисунок 15 – Оболонка двовипуклої кривизни

Оболонки виконують пологими, де співвідношення висоти підйому до розміру в плані не перевищує 1:5.

В практиці проектування найчастіше приймають в якості твірних ліній кругові криві.

Діафрагми виконують у вигляді арок, ферм, балок.

Такими оболонками перекривають прогони 25...40 м.

5.2 Принципи розрахунку

Тонкостінні оболонки при незначній жорсткості на згин при визначенні зусиль можна розраховувати як безмоментні. Згинальні моменти, що виникають в зонах локального згину біля опорного контуру, визначають окремо.

На більшій частині поверхні оболонки виникають стискаючі зусилля N_x , N_y . При несиметричному навантаженні також виникають зсувні зусилля N_{xy} .

В практичних розрахунках зусилля у найбільш розповсюдженій квадратній в плані оболонці (рис. 16) від рівномірно розподіленого навантаження q (кН/м²) можна визначити за формулами:

а) в напрямку вісі X за лінією $Y = 0$

$$N_x = k_{N1}ql^2 / \delta ; \quad (21)$$

$$M_x = k_Mql^2 ; \quad (22)$$

б) в напрямку вісі Y за лінією $X = 0$

$$N_y = k_{N2}ql^2 / \delta ; \quad (23)$$

в) поперечні сили по граням оболонки

$$V = k_Vql ; \quad (24)$$

г) в напрямку діагоналі в кутових зонах

$$N_{гол.} = k_{гол.}ql^2 / \delta , \quad (25)$$

де коефіцієнти k_{N1} , k_{N2} , k_M , k_V , $k_{гол.}$ визначаються з таблиць 1, 2 залежно від геометрії оболонки, що характеризується величиною $\lambda = 1.17\sqrt{f/\delta}$.

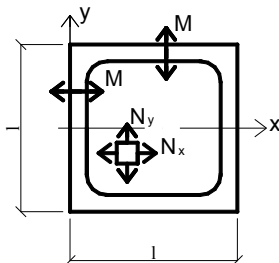


Рисунок 16 – До розрахунку оболонок позитивної та негативної кривизни

Таблиця 1 – Коефіцієнти k_{N1} , k_{N2} , k_M , k_V

x/l	λ						
	4	5	7	9	11	14	18
	$k_{N1} \cdot 10^2$						
0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.1865	0.114	0.0587	0.0358	0.0238	0.0146	0.0088
0.1	0.3655	0.2245	0.1153	0.0698	0.0468	0.0287	0.0176
0.2	0.681	0.42	0.216	0.131	0.0879	0.0539	0.0327
0.3	0.915	0.567	0.298	0.1768	0.1188	0.0733	0.0442
0.4	1.056	0.6563	0.3385	0.205	0.1379	0.0848	0.0512
0.5	1.1023	0.6864	0.354	0.2144	0.1441	0.0884	0.0535
$k_{N2} \cdot 10^2$							
0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.7324	0.5963	0.4177	0.306	0.234	0.162	0.1043
0.1	1.252	0.959	0.584	0.38	0.259	0.156	0.091
0.2	1.582	1.056	0.523	0.303	0.1985	0.1229	0.0743
0.3	1.412	0.906	0.4164	0.2506	0.1684	0.1039	0.0618
0.4	1.2	0.727	0.3695	0.2236	0.1498	0.0924	0.0551
0.5	1.1023	0.6864	0.354	0.2144	0.1441	0.0884	0.0535
$k_M \cdot 10^2$							
0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.1743	0.1225	0.0667	0.0388	0.0232	0.0109	0.0038
0.1	0.2016	0.1196	0.0438	0.0155	0.0047	0.0001	-0.0004
0.2	0.1028	0.0351	0.0003	-0.0009	-0.0008	0	0
0.3	0.0163	0	-0.0002	-0.0001	0	0	0
0.4	-0.0998	-0.0001	0	0	0	0	0
0.5	-0.0178	-0.0001	0	0	0	0	0
k_V							
0	0	0	0	0	0	0	0
0.02	0.0328	0.0296	0.0256	0.0224	0.0204	-	-
0.05	0.0512	0.044	0.032	0.0268	0.0224	-	-
0.1	0.0628	0.0504	0.036	0.0284	0.0228	-	-
0.2	0.0616	0.0484	0.032	0.0248	0.0204	-	-
0.3	0.0584	0.0448	0.032	0.0252	0.0208	-	-
0.4	0.0564	0.0448	0.0316	0.0248	0.0204	-	-
0.5	0.056	0.0456	0.0316	0.0248	0.0208	-	-

Таблиця 2 – Коефіцієнти $k_{гол.}$

x/l	y/l	$k_{гол.}$ при λ						
		4	5	7	9	11	14	18
в напрямку діагоналі								
0	0.5	2.7015	1.917	1.061	0.711	0.5	0.344	0.225
0.1	0.4	2.4215	1.71	0.968	0.607	0.41	0.249	0.1471
0.2	0.3	2.082	1.367	0.68	0.398	0.2623	0.162	0.098
0.3	0.2	1.6037	0.988	0.48	0.289	0.1941	0.12	0.0756
0.5	0	1.1023	0.6864	0.354	0.2144	0.1441	0.0884	0.0535

в напрямку перпендикулярно діагоналі								
0	0.5	-2.702	-1.917	-1.061	-0.711	-0.5	-0.344	-0.225
0.1	0.4	-1.309	-0.7643	-0.3	-0.1428	-0.0873	-0.0547	-0.0362
0.2	0.3	0.1373	0.1704	0.0912	0.0424	0.024	0.0173	0.009
0.3	0.2	0.817	0.5	0.23	0.1374	0.093	0.0571	0.0314
0.5	0	1.1023	0.6864	0.354	0.2144	0.1441	0.0884	0.0535

5.3 Конструювання оболонок

За результатами розрахунків майже на всій оболонці маємо зону двовісного стиску, і лише в кутових зонах виникає стиск в одному напрямку і розтяг – в іншому. В припорних зонах виникають невеликі згинальні моменти.

Оболонки армують у відповідності з розрахунковими зусиллями.

По всій оболонці укладають конструктивну арматуру (сітку типу III). У кутах укладають арматуру типу I для сприймання головних розтягуючих зусиль.

В приконтурних зонах біля діафрагм встановлюють арматуру типу II для сприймання локальних згинальних моментів (рис. 17).

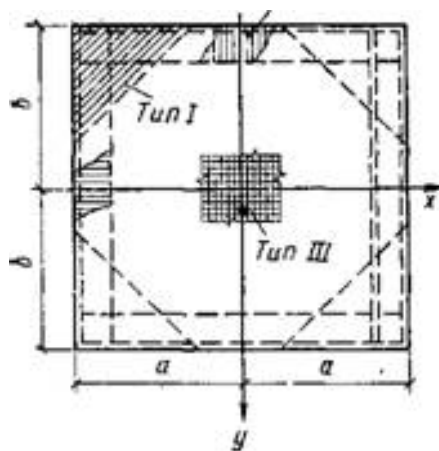


Рисунок 17 – Схеми армування оболонки

Плиту в приконтурних зонах оболонки рекомендовано виконувати збільшеної товщини, щоб мати можливість встановлення двох шарів арматурних сіток (верхньої та нижньої).

6 Покриття з оболонок двоввігнутої (негативної гауссової) кривизни

Оболонки у формі гіперболічного параболоїда (гіпара) застосовують для перекриттів будівель з розмірами в плані до 70 м і більше.

Вони можуть бути двох типів:

- як оболонки переносу, де твірна лінія має кривизну одного знаку, а лінія переносу – протилежну кривизну іншого знаку (рис. 18);
- як оболонки, що сформовані рухом твірної прямої, що перетинає дві схрещені спрямовуючі прямі (рис. 19).

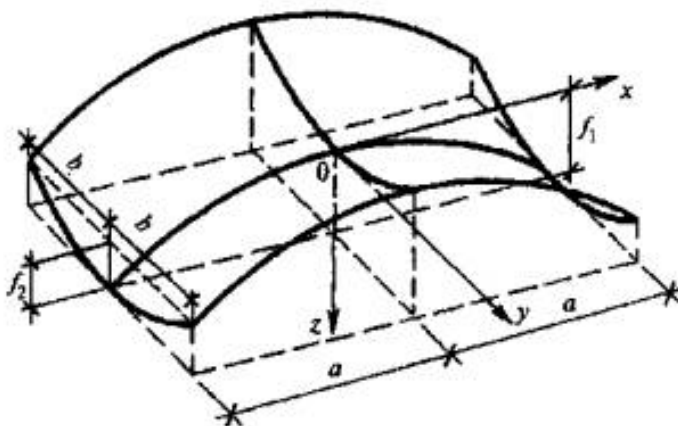


Рисунок 18 – Оболонка типу 1

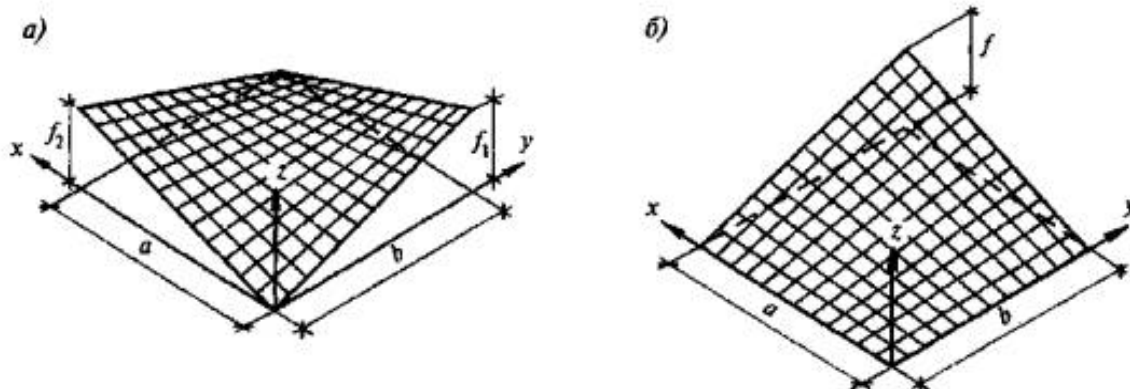


Рисунок 19 – Оболонки типу 2

Розрахунок оболонок переносу типу 1 виконують за методикою розрахунку двовипуклих оболонок. При цьому, треба враховувати, що

кривизна в напрямку вісі ОХ – негативна, і зусилля N_x будуть розтягуючі ми. В напрямку позитивної кривизни лишаються зусилля стиску.

Розтягуючі зусилля сприймаються робочою арматурою. Принцип армування оболонки такий же, як для двовипуклої оболонки.

В оболонках типу 2 зусилля $N_x = 0$; $N_y = 0$ на всій поверхні оболонки. В цілому оболонка знаходиться в умовах чистого зсуву. Розтягуючі зусилля виникають в напрямку лінії головної негативної кривизни. Ці зусилля дорівнюють

$$N_{zol} = \pm qab / 2f. \quad (26)$$

Головні розтягуючі зусилля сприймаються робочою арматурою діагонального напрямку. Дотичні зусилля N_{xy} з оболонки передаються на контурні конструкції (стіни або діафрагми).

Принцип армування оболонок показаний на рисунку 20.

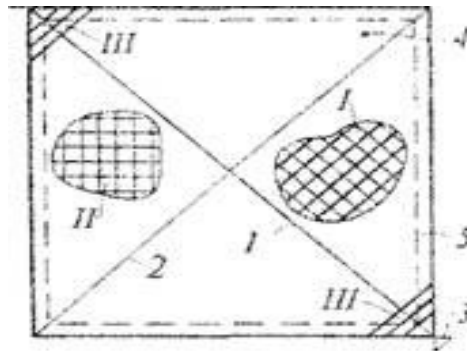


Рисунок 20 – Армування оболонки типу 2

I – сітка із стрижнями уздовж головної параболи; II – сітка із стрижнями уздовж контуру; III – кутова арматура; 1 – головна парабола позитивної кривизни (стиск); 2 – головна парабола негативної кривизни (розтяг); 3 – опора; 4 – оболонка; 5 – бортовий елемент

7 Висячі системи покриттів

7.1 Загальні положення

Висячі оболонки застосовують в покриттях будівель промислового, сільськогосподарського і культурно-побутового призначення(цехи, склади, резервуари, овочесховища, стадіони, басейни, кінотеатри, тощо).

Висячі оболонки можуть мати різні форми в плані і можуть бути створені на основі таких вантових систем:

- паралельних (рис. 21);
- радіальних з центральною опорою або без неї (рис. 22);
- перехресних позитивної або негативної гауссової кривизни (рис. 23);
- полігональних (рис. 24).

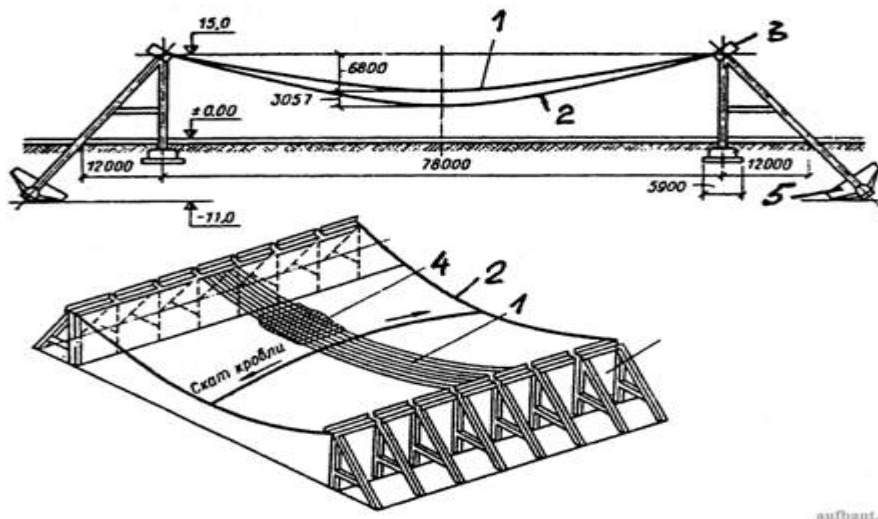


Рисунок 21 – Покриття з паралельною системою вант:
1, 2 – несучі ванти; 3 – опорний контур; 4 – покриття

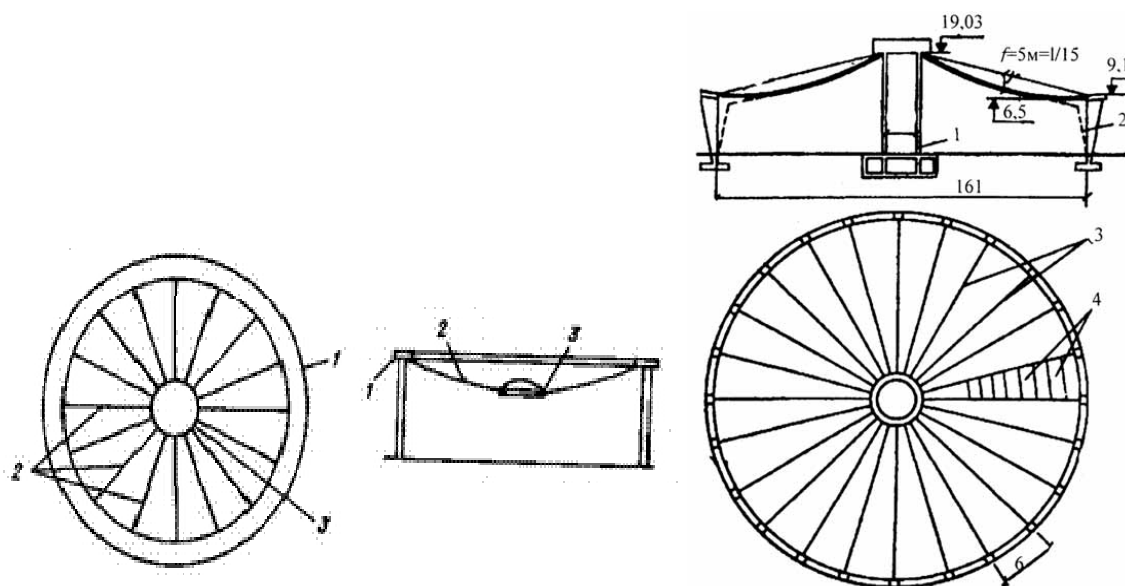


Рисунок 22 – Радіальна система вант:
1 – опорний контур; 2 – ванти; 3 – центральне кільце

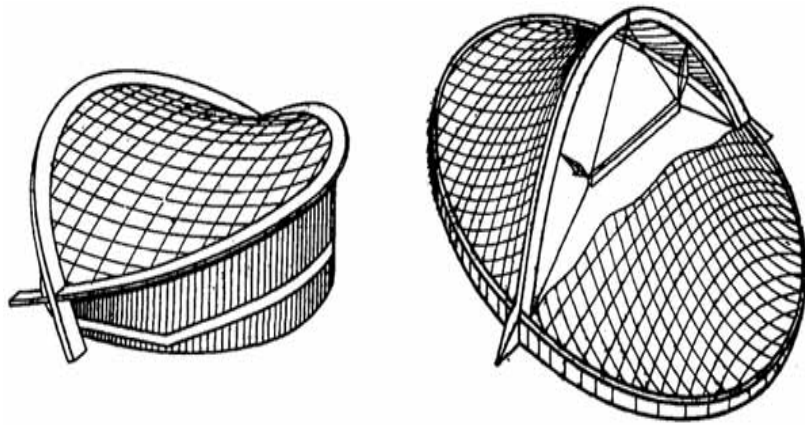


Рисунок 23 – Перехресна система вант

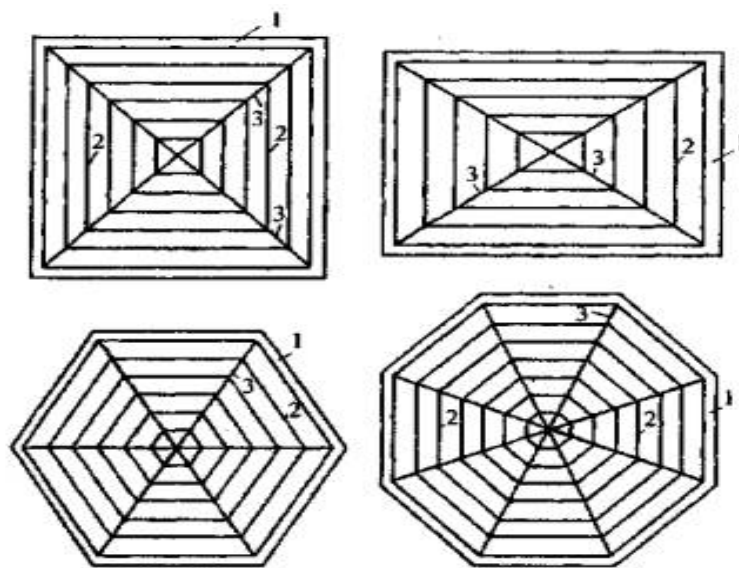


Рисунок 24 – Полігональна система вант:

1 – опорний контур; 2 – проміжні ванти; 3 – головні ванти

Стрілу провису вант рекомендовано приймати $1/15 \dots 1/30$ їх прогону.

Висячі оболонки, як правило, мають замкнутий опорний контур, що сприймає розпір вант і передає вертикальні навантаження на підтримуючі конструкції.

В якості вант застосовують стрижневу арматуру класів А400С, А500с, А600; канатну арматуру К1400, К1500; арматурні пучки з високоміцного дроту.

Оболонки з радіальною системою вант найбільш економічні. Оптимальною для радіальної системи вант є кругова форма в плані.

З'єднання вант у центрі виконують через внутрішнє кільце, що працює на розтяг.

Висячі системи мають підвищену деформативність, у зв'язку з чим є необхідність стабілізації мембрани покриття. Стабілізація покриття забезпечується:

- за рахунок привантаження вант;
- застосуванням напружуючих вант при ортогональній системі;
- використанням покриттів з подвійною системою вант, де одні ванти розглядаються як несучі, а інші – як напружуючі (рис.25).

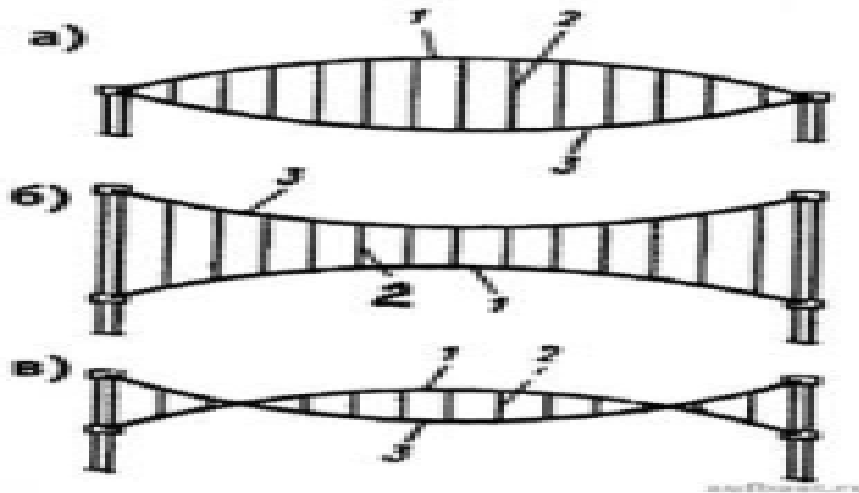


Рисунок 25 – Покриття з подвійною системою вант:
1 – напружуючі ванти; 2 – розпірки; 3 – несучі ванти

Ванти закріплюють в конструкції опорного контуру за допомогою анкерних приладів з можливістю регулювання натягу.

Вузли перетинання вант конструюються таким чином, щоб в них забезпечувався взаємозв'язок в напрямку, нормальному до поверхні покриття.

Для з'єднання вант між собою в ортогональних системах використовують стрижневі хомути або штамповані вузлові накладки.

Панелі покрівлі спираються на ванти за допомогою випусків арматури, спеціальних крюків або інших приладів.

7.2 Розрахунок оболонок з радіальною системою вант

Найпростішим типом радіальної сітки є така, в якій ванти розташовані з постійним кутовим кроком α (рис. 26).

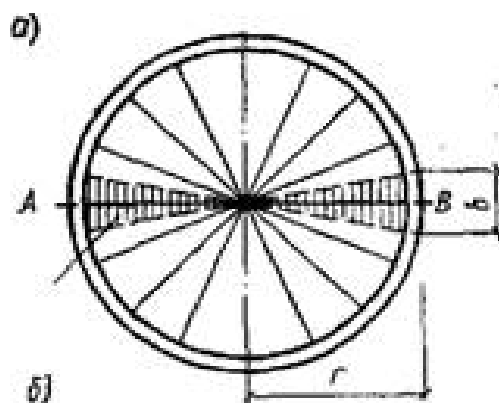


Рисунок 26 – До розрахунку радіальної системи вант

Розпір вант визначають формулою

$$H = q\alpha r^3 / 6f, \quad (26)$$

де q – зовнішнє навантаження (кН/м²);

α – кутовий крок вант (рад);

r – відстань між проекціями на горизонтальну площину вузла сітки і точки закріплення ванта до опорного кільця (радіус-вектор);

f – стріла провисання вант.

Довжина вант

$$L = r \sqrt{1 + \frac{9}{5} \left(\frac{f}{r}\right)^2}. \quad (27)$$

Поздовжня сила в будь-якому перерізі опорного контуру і центрального кільця

$$N = \frac{qb}{6f} \sqrt{a^4 - x^2(a^2 - b^2)}. \quad (28)$$

Максимальне значення зусилля

$$N_{max} = \frac{qa^2b}{6f}. \quad (29)$$

Максимальне зусилля розтягу у вантах

$$N_{вант} = \sqrt{H^2 + 0.25(\alpha qr^2)^2}. \quad (30)$$

7.3 Розрахунок оболонок з ортогональною системою вант

Висячі оболонки з ортогональною системою вант доцільно проектувати у вигляді поверхні еліптичного параболоїда або гіперболічного параболоїда (рис.27).

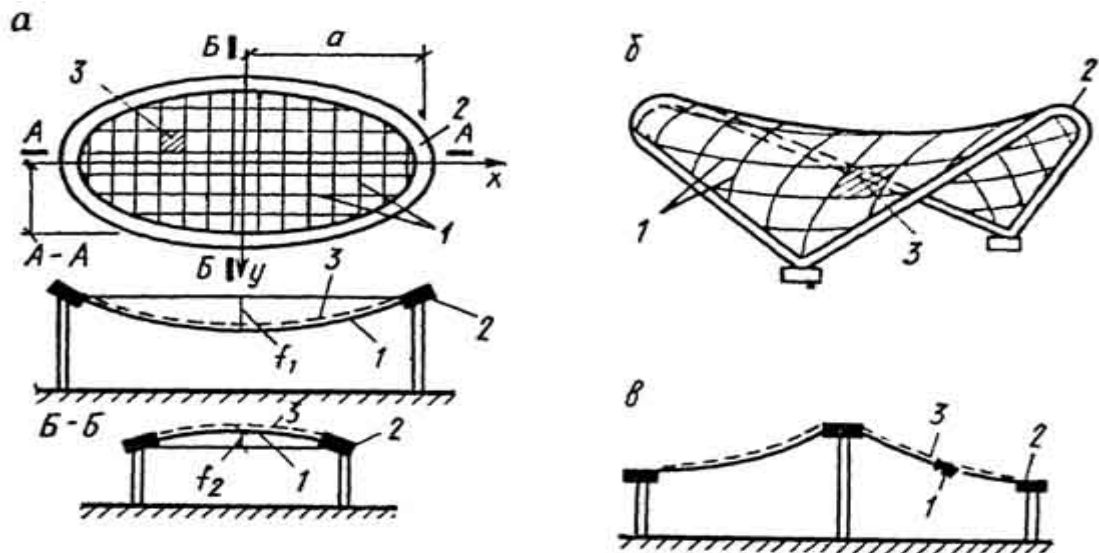


Рисунок 27 – До розрахунку ортогональної системи вант:
 а – еліптичний параболоїд; б – гіперболічний параболоїд; в – система з
 центральною стійкою; 1 – ванти; 2 – опорний контур; 3 – покрівля;
 f_1 – стріла провису; f_2 – стріла підйому

Навантаження розподіляються на ванти двох напрямків порівну.

Погонні розпори H_x , H_y у вантах визначають за формулами:

а) для еліптичного параболоїда

$$H_x = qa^2/4f; \quad H_y = qb^2/4f; \quad (31)$$

б) для гіперболічного параболоїда

$$H_x = (q+p)a^2 / 2f_x; \quad H_y = pb^2 / 2f_y, \quad (32)$$

де p – додаткове навантаження від напружуючих вант на 1 м^2 .

Розпори у вантах $N_{\text{вант}}$ визначають як добуток відповідного погонного розпору на відстань між вантами.

Зусилля у вантах

$$N_{\text{вант}} = \sqrt{H_{\text{вант}}^2 + V^2}, \quad (33)$$

де V – поперечна сила для вант біля опорного контуру за балочною схемою від частини навантаження, що сприймає вант даного напрямку.

Список рекомендованих джерел

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 98 с.
2. ДСТУ Б В. 2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
3. Байков В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – М. : Стройиздат. 1985. – 728 с.
4. Железобетонные конструкции. Специальный курс / В. Н. Байков, П. Ф. Дроздов, И. А. Трифонов и др. – М. : Стройиздат, 1981. – 766 с.
5. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий / НИИЖБ Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1979. – 429 с.
6. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Общие правила и правила для зданий (EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2:Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for buildings). – 180 с.

Навчальне видання

СТОЯНОВ Євгеній Геннадійович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

**«ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ»**

Розділ 2 Тонкостінні просторові покриття

*(для студентів всіх форм навчання
та слухачів другої вищої освіти
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
спеціалізації «Промислове і та цивільне будівництво»)*

Відповідальний за випуск **В.С. Шмуклер**

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання: *Є. Г. Стоянов*

План 2017, поз. 281 Л

Підп. до друку 15.03.2017. Формат 60 × 84/16

Друк на ризографі. Ум.-друк. арк. 1.7

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: rektorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.