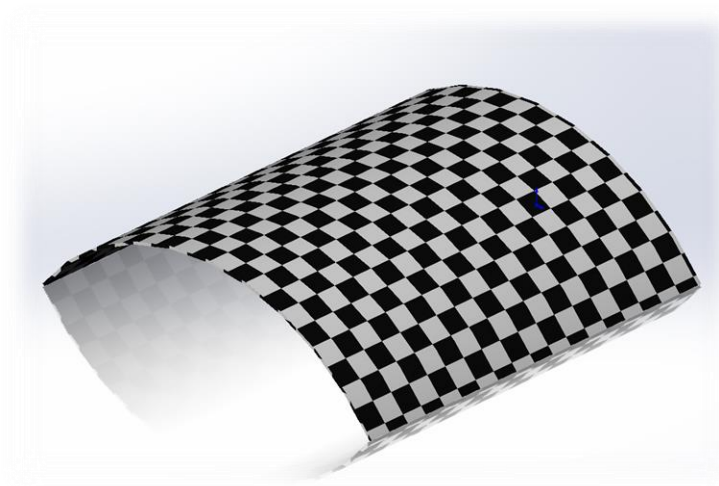




МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахункової роботи «Циліндричні оболонки» з дисципліни
«Будівельні конструкції (спецкурс)» для студентів спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія», освітньо-професійної програми
«Промислове і цивільне будівництво»



Укладач: С.І. Сахно

Відповідальний за випуск: Валовой О.І.

Рецензент: Люльченко Є.В.

Рекомендовано кафедрою
промислового, цивільного і міського
будівництва протокол № 1 від 04/09
2019 року

Метою методичних вказівок є допомога студентам під час підготовки до виконання розрахункової роботи «Циліндричні оболонки» з дисципліни «Будівельні конструкції (спецкурс)» згідно навчального плану.

Розглянуто на засіданні кафедри
промислового, цивільного і
міського будівництва
Протокол № 1 від 04.09.2019

Схвалено на вченій раді
будівельного факультету.
Протокол № 2 від 26.10.2019

Зміст

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗРАХУНКУ ДОВГИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК	4
3. КОНСТРУЮВАННЯ ДОВГИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК	6
Вибір схеми і обрисів елементів циліндричних оболонок	6
Попереднє визначення перерізів елементів оболонок	7
4. РОЗРАХУНОК ДОВГОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ	8
Вихідні дані для проектування	8
Збір навантажень на оболонку і статичний розрахунок	9
Розрахунок по 1-й групі граничних станів	10
Розрахунок за нормальними перерізами на дію згинального моменту	10
Розрахунок по смузі між похилими перерізами	11
Розрахунок по похилих перетинах на дію поперечної сили	11
Розрахунок оболонки по 2-й групі граничних станів	14
Визначення геометричних характеристик поперечного перерізу.	14
Визначення втрат попереднього напруження арматури	15
Розрахунок по утворенню нормальних тріщин	17
Розрахунок прогину оболонки	18
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	24
ДОДАТКИ	26

ЦИЛІНДРИЧНІ ОБОЛОНКИ

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Циліндричними оболонками називаються тонкостінні конструкції, що складаються з наступних основних елементів:

- тонкої плити, окресленої по циліндричній поверхні (власне оболонки);
- бортових елементів, що оздоблюють оболонку уздовж крайніх утворюють;
- поперечних діафрагм по криволінійних краях, що спираються на колони або стіни.

Відстань між осями опорних діафрагм l_1 називається прольотом оболонки. Відстань між бортовими елементами l_2 називається довжиною хвилі. Висота оболонки, включаючи бортові елементи, позначається через h . Стріла підйому оболонки без бортових елементів позначається через f . Напрямок по утворюючій вздовж прольоту l_1 називається поздовжнім, а по напрямку уздовж прольоту l_2 - поперечним.

Багатохвильові оболонки монолітно пов'язані між собою і мають загальні бортові елементи. При цьому розрізняють крайні і проміжні бортові елементи.

Циліндричні оболонки в залежності від ставлення прольоту до довжини хвилі умовно поділяються на довгі - при $l_1/l_2 \geq 1$ і короткі - при $l_1/l_2 \leq 1$.

2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗРАХУНКУ ДОВГИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК

У загальному випадку визначення зусиль в довгих циліндричних оболонках рекомендується проводити з урахуванням деформації поперечного контуру відповідно до напівмоментної теорії. При цьому згинальні моменти M_1 , що діють на майданчиках поперечного перерізу оболонки, відповідні їм поперечні сили Q_1 , а також крутний момент T і T_1 приймаються внаслідок незначної величини рівними нулю (рис. 1).

Сили N , що діють нормально до майданчиків поздовжнього перерізу, а також поперечні сили Q , які виникають на тих же майданчиках, враховуються в розрахунку, але не роблять безпосереднього впливу на підбір перетинів.

Розміри перетинів визначаються в першу чергу величинами нормальних зусиль N_1 , що діють на майданчиках поперечного перерізу, сколюючими зусиллями S і вигинальними моментами M , що виникають на майданчиках поздовжнього перерізу оболонки.

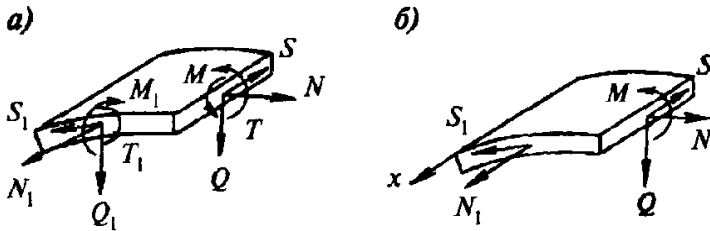


Рис. 1. Зусилля, що діють в довгих циліндричних оболонках:
а – повна схема зусиль; б – зусилля, що враховуються при розрахунку

В ряді окремих випадків (наприклад, в конструкціях, обпертих по кутах, при дії рівномірно розподіленого навантаження і величині відношення l_1/l_2 , при великій жорсткості поперечних ребер і ін.) взаємний вплив поперечних згинальних моментів і поздовжніх зусиль відсутній або настільки незначний, що для спрощення розрахунку ними можна знехтувати і розраховувати оболонки як балки криволінійного поперечного перерізу. В кожному окремому випадку застосування спрощених методів розрахунку повинно бути мотивоване.

Довгі циліндричні оболонки по міцності, жорсткості і тріщиностійкості рекомендується розраховувати з урахуванням утворення тріщин в бортових елементах і плиті, і тріщин уздовж утворюючих в плиті (або тріщин в поперечних ребрах, які в збірних конструкціях можуть утворюватися вже на стадії монтажу конструкції). Косі тріщини в кутах практично не впливають на розподіл зусиль при експлуатаційних навантаженнях в середніх, розрахункових перетинах оболонки і при розрахунку не враховуються (рис. 2).

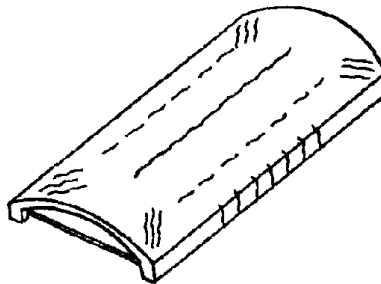


Рис. 2. Схема тріщин в довгій циліндричній оболонці

Для розрахунку довгих циліндричних оболонок за утворенням і розкриттям тріщин, жорсткості і міцності використовується той же метод розрахунку з урахуванням деформацій поперечного контуру, що і для пружної системи.

У поздовжніх перетинах оболонки діють згинальні моменти і невеликі за величиною нормальні сили. Зниження жорсткості поздовжніх перетинів має незначний вплив на прогини і несучу здатність оболонки. Тому для спрощення розрахунку рекомендується після появи тріщин розглядати поздовжні перерізи як згинальні, визначаючи жорсткість, розкриття тріщин і міцність за формулами СП 52-102.

3. КОНСТРУЮВАННЯ ДОВГИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК

Вибір схеми і обрисів елементів циліндричних оболонок

Висоту оболонки h , включаючи висоту перетину бортовий балки, рекомендується призначати рівною $(1/6 \dots 1/8) l_1$, а стрілу підйому f рівній $(1/6 \dots 1/8) l_2$.

Поздовжні краї оболонки в прольоті можуть залишатися вільними або спиратися на колони або стіни.

Поперечний переріз оболонок може бути окреслено по дузі кола, еліпса або за іншою кривою. Рекомендується приймати круговий обрис як найбільш простий у виробництві робіт.

Збірні і збірно-монолітні циліндричні оболонки зазвичай виконують ребристими. Монолітні оболонки переважно роблять гладкими, оскільки устрій ребер ускладнює проведення робіт.

Бортові елементи, в яких розміщується основна розтягнута арматура, істотно знижують величину напружень розтягнення, зменшують вертикальні і горизонтальні переміщення країв оболонки. Розміри перетинів бортових елементів визначаються розрахунковими й конструктивними міркуваннями. Приблизну висоту перетину бортових елементів в частках прольоту l_1 рекомендується приймати на рівні $1/20 \dots 1/30$.

Середні і торцеві діафрагми влаштовуються зазвичай у вигляді арок із затягуванням. Це рішення найбільш економічно по витраті матеріалів. При невеликому прольоті хвилі оболонки і невеликий стрілі підйому діафрагми можуть проектуватися у вигляді балок змінної висоти.

Ліхтарні отвори і інші отвори рекомендується розташовувати у верхній частині оболонки в поздовжньому напрямку. Розмір отворів в поперечному напрямку рекомендується призначати не більше $(1/4 \dots 1/3) l_2$, в поздовжньому напрямку розміри отворів не обмежуються.

Попереднє визначення перерізів елементів оболонок

Для розрахунку оболонок необхідно попередньо задатися розмірами перерізів їх елементів. Для монолітних оболонок товщина плити може призначатися рівній $(1/200 \dots 1/300) l_2$, але не менше 50 мм. Товщина плит збірних і збірно-монолітних оболонок повинна бути не менше 30 мм.

Щоб уникнути місцевої втрати стійкості оболонки між поперечними ребрами відстань між ними не рекомендується призначати більше, ніж $7\sqrt{R\delta}$, де R - де радіус кривизни оболонки.

При наявності великих сколюючих напружень на опорах рекомендується, не потовщуючи всієї оболонки або складки, робити місцеві потовщення у опор, які при визначенні зусиль не враховуються.

Поздовжню робочу арматуру рекомендується розташовувати в нижній частині бортових елементів.

Поздовжня арматура в стиснутій зоні оболонки, а також на ділянках, де головні напруження розтягу менше R_{bt} , встановлюється конструктивно через 150...250 мм, площею не менше 0,5% перерізу бетону. Разом з поперечною арматурою, що розраховується на сприйняття поперечних згинальних моментів, вона утворює сітку.

Перетин арматури, необхідний для роботи на поперечні моменти, визначається як для плит. У місцях примикання плити до бортових елементів (а також до діафрагм) встановлюються подвійні сітки з арматури діаметром 5...8 мм і кроком не більше 20 мм.

В ребристих оболонках поперечні моменти сприймаються основною арматурою ребер. Ребра армують зазвичай подвійний арматурою, пов'язаною поперечними стрижнями. При цьому плита армується конструктивно одиночної сіткою.

На ділянках, де $\sigma_{bt} > R_{bt}$, перетин арматури визначається напруженнями розтягу, що діють під кутом 45° до утворюючої. Величина цих напружень визначається за формулою

$$\sigma_{45^\circ} = \frac{\sigma_x}{2} + \tau_{xy}$$

де σ_x і τ_{xy} - відповідно нормальні та зсувні напружки, що діють в даній точці.

У тих місцях, де наявна сітка з поперечних і поздовжніх стрижнів недостатня для сприйняття головних зусиль розтягу, ставиться додаткова коса арматура під кутом 45° до утворюючої або ж сітка посилюється додатковими стрижнями.

З метою економії арматури, а також підвищення тріщиностійкості і жорсткості конструкції арматуру бортових елементів оболонок і арматуру затяжок діафрагм доцільно виконувати попередньо напруженою.

Збірні циліндричні оболонки збираються або з бортових балок довжиною на проліт, криволінійних ребристих панелей довжиною на проліт і затягувань діафрагм, чи з криволінійних ребристих панелей з пов'язаними з ним частинами бортових балок.

Верхнім поясом діафрагм в оболонках служить посилене ребро крайніх панелей. Панелі прийняті розмірами 3×6 і 3×2 м.

4. РОЗРАХУНОК ДОВГОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Потрібно запроектувати покриття залу басейну розміром в плані 60×33 м, що складається зі збірних циліндричних оболонок прольотом 33 м.

Оболонка складається з окремих об'ємних блоків прольотом 6 і довжиною 3 м, виготовлених з бетону В40. Полка оболонки армується сіткою з арматури В500. Поздовжні ребра армуються ненапруженою арматурою А400 і напруженою Вр1500. В оболонці передбачені поперечні ребра жорсткості (рис. 4), що встановлюються по краях і в середині блоку.

Вихідні дані для проектування

Бетон

В40 з $R_b = 22$ МПа; $R_{bt} = 1,4$ МПа;

$R_{b,ser} = 29$ МПа; $R_{bt,ser} = 2,1$ МПа; $E_b = 36\,000$ МПа.

Арматура

А400 з $R_s = 355$ МПа; $R_{sw} = 285$ МПа.

В1500 с $R_{sp,ser} = 1500$ МПа; $R_{sp} = 1250$ МПа; $E_s = 200\,000$ МПа.

Збір навантажень на оболонку і статичний розрахунок

Збір навантажень наведено в табл. 2.

Снігове навантаження для Бердянська

$$S_m = \gamma_{fin} S_0 \mu C_e = 1 \cdot 1,20 \cdot 1,36 \cdot 0,8 = 1,22 \text{ кН} / \text{м}^2,$$

$$\text{де } \mu = \frac{l}{8f} = \frac{33}{8 \cdot 3,03} = 1,36.$$

$$\gamma_{fin} = 1,0$$

$$C_e = 0,8$$

$$S_0 = 1,20 \text{ кН/м}^2$$

Згідно п. 9.2.2 [5] оболонку можна розраховувати як балку криволінійного поперечного перерізу (рис. 3).

Таблиця 2

Вид навантаження	Нормативна кН/м ²	Коеф. надійності	Розрахункова кН/м ²
Постійна з урахуванням криволінійного профілю (k = 1,14) гідроізоляційний килим	0,15		0,195
Утеплювач $\delta = 0,08 \text{ м}$, $\gamma = 2 \text{ кН/м}^3$	$0,08 \cdot 2 \cdot 1,14 = 0,18$	1,3	0,22
Пароізоляція	0,014	1,2	0,017
Вага оболонки наведеною товщиною $\delta = 0,05 \text{ м}$ і $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$	$0,05 \cdot 25 \cdot 1,14 = 1,425$	1,2	1,567
Разом: постійна	1,769	1,1	2
Тимчасова снігова	0,854		1,22
В тому числі тривала	0,427		0,61
Повна, в тому числі тривала	2,623 2,196		3,22 2,61

Розрахунковий проліт при довжині обпирання оболонки 200 мм

$$l_0 = 33 - 0,2 = 32,8 \text{ м}.$$

Погонне навантаження на оболонку

Розрахункове повне

$$q = 3,22 \cdot 6 = 19,31 \text{ кН / м.}$$

Нормативне повне

$$q_{ser} = 2,62 \cdot 6 = 15,74 \text{ кН / м.}$$

Тривале

$$g_{l,ser} = 2,2 \cdot 6 = 13,18 \text{ кН / м.}$$

Від власної ваги

$$g_{ser} = 1,43 \cdot 6 = 8,55 \text{ кН / м.}$$

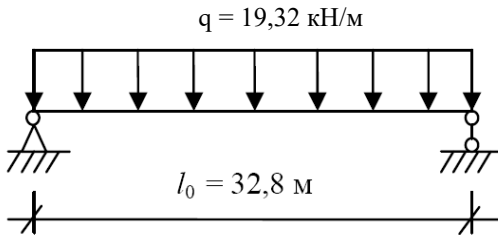


Рис. 3. Розрахункова схема оболонки

Відповідні зусилля:

$$M_{\max} = \frac{ql_0^2}{8} = \frac{19,31 \cdot 32,8^2}{8} = 2597 \text{ кН / м;}$$

$$Q_{\max} = \frac{ql_0}{2} = \frac{19,31 \cdot 32,8}{2} = 317 \text{ кН ;}$$

$$M_{ser, \max} = \frac{q_{ser} l_0^2}{8} = \frac{15,74 \cdot 32,8^2}{8} = 2126 \text{ кН / м;}$$

$$M_{g, ser} = \frac{g_{ser} l_0^2}{8} = \frac{8,55 \cdot 32,8^2}{8} = 1150 \text{ кН / м;}$$

$$M_{l, ser} = \frac{g_{l, ser} l_0^2}{8} = \frac{13,18 \cdot 32,8^2}{8} = 1772 \text{ кН / м.}$$

Розрахунок по 1-й групі граничних станів

Розрахунок за нормальними перерізами на дію згинального моменту

Площу напруженої арматури можна визначити по [5, формула 9.1]

$$A_s^{nomp} = \frac{M_{\max}}{0,8R_s \cdot h_0} = \frac{2597 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1250 \cdot 293} = 8,7 \text{ см}^2$$

Робоча висота $h_0 = 303 - 10 = 293 \text{ см}$.

По сортаменту приймаємо подовжню напружену арматуру 18Ø8 Вр1500 з $A_{sp}^{мобл} = 9,1 \text{ см}^2$.

Для того щоб уникнути місцевої втрати стійкості оболонки відстань між поперечними ребрами повинна бути не більше

$$7\sqrt{R\delta} = 7\sqrt{283 \cdot 3} = 204 \text{ см}$$

де $R = 283 \text{ см}$ – радіус кривизни оболонки.

При наявності поперечних ребер вплив поперечних згинальних моментів незначний, тому криволінійна плита оболонки армується рулонної сіткою з арматури Ø3 В500 з кроком $s = 100 \text{ мм}$ в двох напрямках.

Розрахунок по смузі між похилими перерізами

Перевірка проводиться за [13, формула 3.49].

$$Q_{\max} = 317 \text{ кН} < 0,3R_b b h_0 = 0,3 \cdot 22 \cdot 6 \cdot 293 \cdot 0,1 = 1160 \text{ кН},$$

де $b = 2\delta = 2 \cdot 3 = 6 \text{ см}$ - ширину приймаємо рівній подвоєній товщині оболонки.

Розрахунок по похилих перетинах на дію поперечної сили

$$Q_{\max} = 317 \text{ кН}.$$

Мінімальна поперечна сила, що сприймається бетоном

$$Q_{bmin} = 0,5R_{bt} b h_0 \varphi_n = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 293 \cdot 0,1 \cdot 1,23 = 151,7 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт, що враховує вплив поздовжніх сил по [23, формула 3.53].

$$\varphi_n = 1 + 3 \frac{N_p}{N_b} - 4 \left(\frac{N_p}{N_b} \right)^2 = 1 + 3 \cdot \frac{6027}{68583} - 4 \cdot \left(\frac{6027}{68583} \right)^2 = 1,23$$

де

$$N_p = 0,7P_2 = 0,7 \cdot 8609 = 6026 \text{ МПа} \cdot \text{см}^2;$$

$$N_b = 1,3R_b A_1 = 1,3 \cdot 22 \cdot 2398 = 68583 \text{ МПа} \cdot \text{см}^2;$$

$A_1 = 2(3303 + 14,5 \cdot 20) = 2398 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу без урахування стислих звисів.

Перевірка умов, при виконанні яких поперечна арматура ставиться конструктивно:

$$\text{а) } Q_{\max} = 317 \text{ кН} < 2,5R_{bt}bh_0\varphi_n = 2,5 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 293 \cdot 0,1 \cdot 1,29 = 759 \text{ кН};$$

$$\text{б) } Q_b = 152 \text{ кН} < Q = 179 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{1,5\varphi_n R_{bt}bh_0^2}{3h_0} = \frac{1,5 \cdot 1,29 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 293^2 \cdot 0,1}{3 \cdot 293} = 152 \text{ кН};$$

$$Q = Q_{\max} - q_1 c = 317 - 15,66 \cdot 3 \cdot 2,93 = 179 \text{ кН},$$

$$\text{де } q_1 = (2 + 0,61) \cdot 6 = 15,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Умова б) не виконується. Поперечна арматура ставиться згідно розрахунку.

Умова міцності

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}.$$

Поперечна сила, що сприймається хомутами

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}c_0.$$

Поперечна сила, що сприймається бетоном

$$Q_b = \frac{M_b}{c};$$

$$Q_{b1} = 2\sqrt{M_b q_1} = 2\sqrt{133345 \cdot 0,157} = 289 \text{ кН} <$$

$$\frac{2M_b}{h_0} - Q_{\max} = \frac{2 \cdot 133345}{293} - 317 = 593 \text{ кН}$$

При цьому якщо

$$Q_{b1} = 289 \text{ кН} > \varphi_n R_{bt}bh_0 = 1,29 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 293 \cdot 0,1 = 303 \text{ кН},$$

то інтенсивність поперечного армування

$$q_{sw} = \frac{Q_{\max} - Q_{bl}}{1,5h_0} = \frac{317 - 289}{1,5 \cdot 293} = 0,06 \text{ кН / см}$$

Максимальний крок стрижнів

$$s_{\max} = \frac{\varphi_n R_{bt} b h_0^2}{Q_{\max}} = \frac{1,29 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 293^2 \cdot 0,1}{317} = 281 \text{ см} > 10 \text{ см}$$

З конструктивних міркувань приймаємо 2Ø3 В500 з $s=100$ мм

Зусилля в поперечній арматурі на одиницю довжини елемента

$$q_{sw}^{\text{констр}} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w} = \frac{285 \cdot 0,14 \cdot 0,1}{10} = 0,4 \text{ кН / см}$$

Поперечну арматуру враховують у розрахунку, якщо дотримується умова

$$q_{sw} \geq 0,25 \varphi_n R_{bt} b = 0,25 \cdot 1,29 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 0,1 = 0,26 \text{ кН / см};$$

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1}} = \sqrt{\frac{133345}{0,157}} = 923 \text{ см}$$

Знайдене значення $c = 923 \text{ см} >$

$$> \frac{2h_0}{1 - 0,5 \cdot \frac{q_{sw}}{\varphi_n R_{bt} b}} = \frac{2 \cdot 293}{1 - 0,5 \cdot \frac{0,4 \cdot 10}{1,29 \cdot 1,4 \cdot 6}} = 598 \text{ см}$$

тоді відповідно до [13, п. 3.33]

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{0,75q_{sw} + q_1}} = \sqrt{\frac{133345}{0,75 \cdot 0,4 + 0,157}} = 538 > h_0 = 293 \text{ см}$$

Значення

$$c_0 \leq 2h_0 = 2 \cdot 293 = 586 \text{ см}$$

і

$$c_0 \leq c = 538 \text{ см},$$

тоді

$$Q_{sw} = 0,75 \cdot 0,4 \cdot 538 = 163 \text{ кН},$$

$$Q_b = \frac{133345}{538} = 248 \text{ кН};$$

$$Q_b + Q_{sw} = 163 + 248 = 411 \text{ кН} < Q = Q_{max} - q_{ic} = 317 - 15,7 \cdot 6 = 224 \text{ кН}.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок оболонки по 2-й групі граничних станів

Визначення геометричних характеристик поперечного перерізу.

Площа ребер

$$A_1 = 2 \cdot 17,5 \cdot 20 + 15 \cdot 15 = 925 \text{ см}^2,$$

криволінійної частини оболонки

$$A_2 = 2r\theta t_{nl} = 2 \cdot 281,5 \cdot 1,75 \cdot 3 = 2653 \text{ см}^2,$$

де $r = 281,5$ см - середній радіус оболонки;

$t_{nl} = 3$ см - товщина плити;

$\theta = 90^\circ$ - половина центрального кута криволінійної частини ($\sin\theta = 1$, $\cos\theta = 0$, $\theta = 1,57$ рад).

Загальна

$$A = A_1 + A_2 = 925 + 2652 = 3578 \text{ см}^2.$$

Статичний момент площі відносно нижньої грані

$$s = 2 \cdot 17,5 \cdot 20 \cdot 10 + 15 \cdot 15 \cdot 293 + 2653 \cdot 102 = 397373,6 \text{ см}^3.$$

Положення центра ваги криволінійної частини плити від нижньої грані

$$y_1 \approx r \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta} \right) = 281,5 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,57} \right) = 102 \text{ см}.$$

Відстань від нижньої межі до центру ваги перерізу

$$y = \frac{397373}{3578} = 111 \text{ см}.$$

Момент інерції

$$I = \frac{17,5 \cdot 17,5^3}{12} + 17,5^2 \cdot (102 - 10)^2 + \frac{15 \cdot 15^3}{12} + 15^2 \cdot (293 - 111)^2 + 2653 \cdot (111 - 102)^2 + 19912524 = 30561658 \text{ см}^4$$

де момент для криволінійної частини оболонки

$$I_2 = r^3 t_{nl} \left(\theta + \sin \theta \cos \theta - 2 \frac{\sin^2 \theta}{\theta} \right) =$$

$$= 281,5^3 \cdot 3 \cdot \left(1,57 + \sin \frac{\pi}{2} \cos \frac{\pi}{2} - 2 \cdot \frac{1^2}{1,57} \right) = 19912524 \text{ см}^4.$$

Момент опору щодо нижніх волокон

$$W_{inf} = \frac{30561658}{111} = 328524 \text{ см}^3.$$

Те ж верхніх

$$W_{sup} = \frac{30561658}{303 - 111} = 159223 \text{ см}^3$$

Визначення втрат попереднього напруження арматури

Попередні напруження приймаємо рівними

$$\sigma_{sp} \leq 0,8 R_{sp,ser} = 0,8 \cdot 1500 = 1200 \text{ МПа}.$$

Приймаємо $\sigma_{sp} = 1150 \text{ МПа}$.

Втрати попередніх напружень визначаються по [13]. Натяг здійснюється механічним способом.

Перші втрати від релаксації напружень арматури

$$\Delta \sigma_{sp1} = \left(0,22 \frac{\sigma_{sp}}{R_{sp,ser}} - 0,1 \right) \sigma_{sp} = \left(0,22 \cdot \frac{1150}{1500} - 0,1 \right) \cdot 1150 = 79 \text{ МПа}$$

Втрати від температурного перепаду $\Delta t = 0$, $\Delta \sigma_{sp2} = 0$.

Втрати від деформації сталевий форми $\Delta \sigma_{sp3} = 30 \text{ МПа}$.

Втрати від деформації анкерів, розташованих у натяжних пристроїв

$$\Delta\sigma_{sp4} = \frac{\Delta l}{l} E_s = \frac{2}{34000} \cdot 200000 = 12 \text{ МПа}$$

Сума перших втрат

$$\sum \Delta\sigma_{spi} = 79 + 12 + 30 = 121 \text{ МПа.}$$

Максимальні напруження обтіску в бетоні від зусилля попереднього обтіску без урахування ваги оболонки

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A} + \frac{P_1 e_{0p} y}{I} = \frac{9124}{3578} + \frac{9124 \cdot 161 \cdot 111}{30561658} = 7,9 \text{ МПа},$$

де

$$P_1 = A_{sp}^{мобл} (\sigma_{sp} - \sum \Delta\sigma_{spi}) = 9(1150 - 121) = 9124 \text{ МПа} \cdot \text{см}^2;$$

$$e_{0p} = r_{вн} - a - y = 280 - 7,5 \cdot 111 = 161 \text{ см.}$$

Передавальна міцність

$$R_{bp} = 0,7 \cdot 22 = 15,4 \text{ МПа} > \frac{\sigma_{bp}}{0,9} = \frac{7,9}{0,9} = 8,8 \text{ МПа.}$$

Другі втрати

Втрати від усадки бетону

$$\Delta\sigma_{sps} = \varepsilon_{b,sh} E_s = 0,00025 \cdot 200\,000 = 50 \text{ МПа.}$$

Деформація усадки бетону $\varepsilon_{b,sh} = 0,00025$ для бетону В40 [13, п. 2.31].

Втрати від повзучості бетону

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{sp6} &= \frac{0,8\varphi_{b,cr} \alpha \sigma_{bp}}{1 + \alpha \mu_{sp} \left(1 + \frac{l_{op} y_s A}{I} \right) (1 + 0,8\varphi_{b,cr})} = \\ &= \frac{0,8 \cdot 1,9 \cdot 5,6 \cdot 3,7}{1 + 5,6 \cdot 0,0025 \cdot \left(1 + \frac{161 \cdot 111 \cdot 3578}{30561657} \right) \cdot (1 + 0,8 \cdot 1,9)} = 28,3 \text{ МПа,} \end{aligned}$$

де

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200\,000}{36\,000} = 5,56;$$

$\varphi_{b,cr} = 1,9 - [13, \text{табл. 2.6}] \text{ для бетону В40}$

і нормальної вологості.

Напруження в бетоні на рівні центра тяжіння розтягнутої арматури з урахуванням власної ваги оболонки

$$\begin{aligned}\sigma_{bp} &= \frac{P_1}{A} + \frac{P_1 e_{op} l_{op}}{I} - \frac{M_{g,ser} l_{op}}{I} = \\ &= \frac{9124}{3562} + \frac{9124 \cdot 111 \cdot 111}{30561658} - \frac{1150 \cdot 10^3 \cdot 111}{30561658} = 3,7 \text{ МПа}\end{aligned}$$

$$\mu_{sp} = \frac{A_{sp}^{табл}}{A} = \frac{9}{3578} = 0,0025$$

Повні втрати

$$\sum \Delta \sigma_{sp} = 121 + 50 + 25,3 = 199,1 \text{ МПа} > 100 \text{ МПа}$$

Зусилля

$$P_2 = 9 \cdot (1150 - 199) = 8609 \text{ МПа} \cdot \text{см}^2.$$

Розрахунок по утворенню нормальних тріщин

а) у верхній зоні від зусилля попереднього обтиску

Умова тріщиноутворення

$$M \leq M_{crc},$$

де

$$M = M_p = P_1 (e_{op} - r_{inf}) = 9124 \cdot (161 - 77) \cdot 10^{-3} = 771 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Відстань до нижньої ядрової точки

$$r_{inf} = \frac{W_{inf}}{A} = \frac{275187}{3578} = 77 \text{ см};$$

$$M_{crc} = M_{g,ser} + \gamma R_{bt,ser}^p W_{sup} = 1150 + 1,15 \cdot 1,65 \cdot 159223 \cdot 10^{-3} = 1451,9 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

де $R_{bt,ser}^p = 1,65 \text{ МПа}$ - опір бетону розтягуванню, клас якого відповідає передавальній міцності,

$\gamma = 1,15$ – [13, табл. 4.1] для елемента таврового перетину з полицею в розтягнутій зоні.

Оскільки $M = 771 \text{ кН}\cdot\text{м} < M_{crc} = 1452 \text{ кН}\cdot\text{м}$, то тріщини в нижній зоні не утворюються;

б) в нижній зоні від зовнішнього навантаження

$$M = M_{ser,max} = 2116 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

$$M_{crc} = M_p + \gamma R_{bt,ser} W_{inf} = 1773 + 1,3 \cdot 2,1 \cdot 275187 \cdot 10^{-3} = 2524 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_p = P_2 (e_{op} + r_{sup}) = 8609 (161 + 44) \cdot 10^{-3} = 1773 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$r_{sup} = \frac{W_{sup}}{A} = \frac{159223}{3578} = 44 \text{ см},$$

де $\gamma = 1,3$ — [13, табл. 4.1] для елемента таврового перетину з полицею в стиснутій зоні.

Оскільки $M = 2116 \text{ кН}\cdot\text{м} < M_{crc} = 2524 \text{ кН}\cdot\text{м}$, то тріщини в нижній зоні не утворюються.

Розрахунок прогину оболонки

Прогин оболонки

$$f = \left(\frac{1}{r} \right)_{\max} \rho l_0^2,$$

де кривизна оболонки без тріщин в розтягнутій зоні від дії тривалих навантажень (прогин обмежений естетичними вимогами і короткочасні навантаження не враховуються) по [13, формула 4.29].

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{\max} = \left(\frac{1}{r} \right)_2 - \left(\frac{1}{r} \right)_3 = 4,67 \cdot 10^{-6} - 3,66 \cdot 10^{-6} = 1,01 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{см}}.$$

Кривизна від тривалої дії тривалих навантажень

$$\left(\frac{1}{r} \right)_2 = \frac{M_{l,ser}}{E_{b1} I} = \frac{1772}{12 \cdot 414 \cdot 30561658} = 4,67 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{см}}$$

де

$$E_{b1} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} = \frac{36000}{1 + 1,9} = 12414 \text{ МПа}$$

Кривизна від нетривалої дії зусилля попереднього обтиску

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{P_2 e_{0p}}{E_{b1} I} = \frac{8609 \cdot 161}{12414 \cdot 30561658} = 3,66 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{см}};$$

$$\rho = \frac{s}{48} \text{ — [13, табл. 4.3].}$$

$$f = 1,06 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5}{48} \cdot 3000^2 = 0,009 \text{ см} < f_n = \frac{l_0}{200} \frac{3000}{200} = 1,5 \text{ см}$$

Прогин оболонки менше граничного.

Армування елементів покриття наведено на рис.4 – 6.

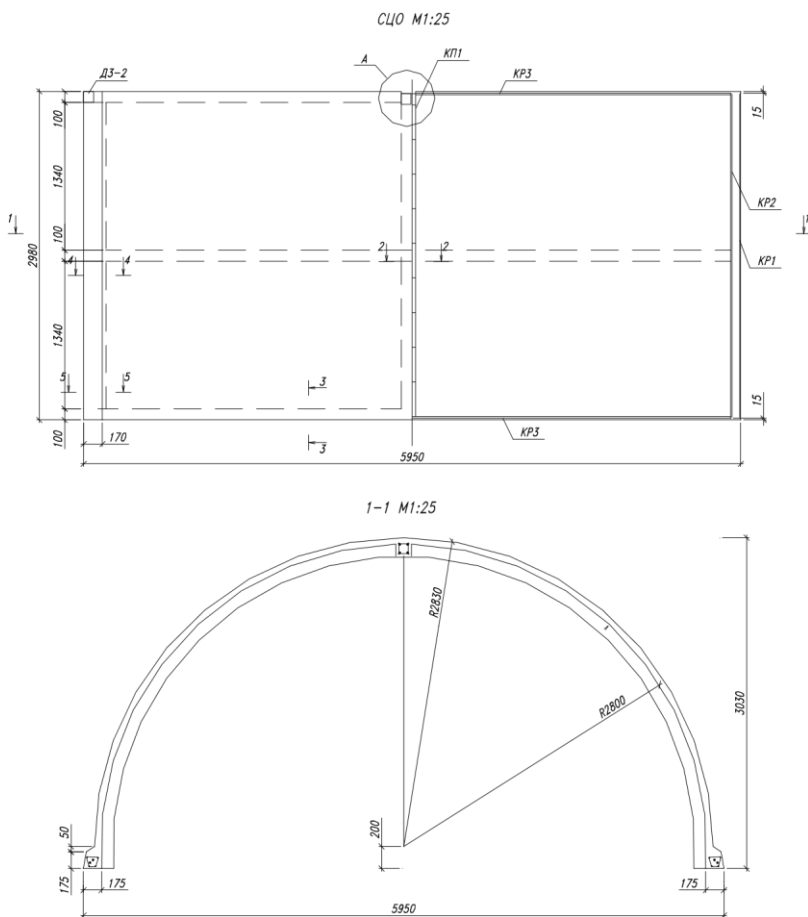


Рис. 4. Блок циліндричної збірної оболонки

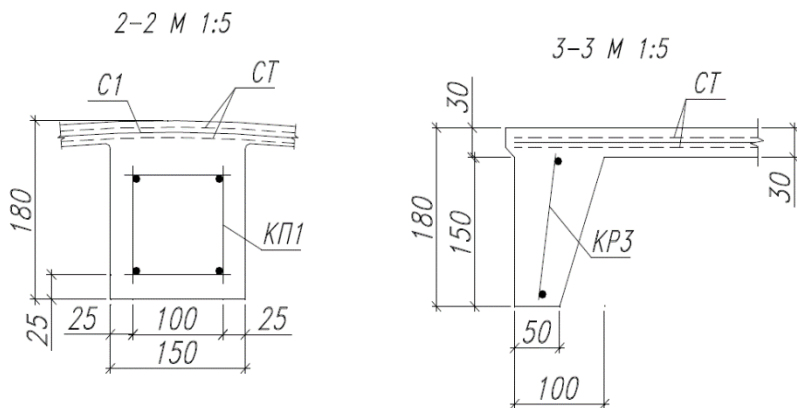


Рис. 5. Продовження

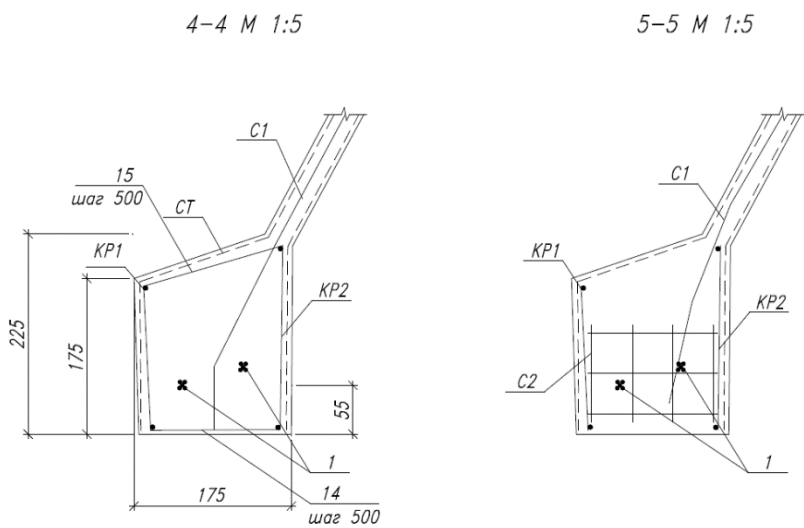


Рис. 6. Перетини 4-4, 5-5, відомість арматури

Відомість арматури

Марка виробу	№ позиції	Найменування	Кількість, шт.	Маса позиції, кг	Загальна маса, кг
	1	Ø8 B1500 1 = 33000	18	13	234
С-1	2	Ø3 B50 1 = 9120	30	0,47	14,2
	3	Ø3 B500 1 = 2970	92	0,15	14,2
Кр-1	4	Ø4 B500 1 = 140	21	0,012	0,27
	5	Ø12 A300 1 = 2830	2	2,25	4,5
Кр-2	6	Ø12 A300 1 = 2830	2	2,25	4,5
	7	Ø4 B500 1 = 190	21	0,017	0,37
Кр-3	8	Ø10 A300 1 = 8355	2	5,1	10,2
	9	Ø4 B500 1 = 140	152	0,01	1,7
КП-1	10	Ø12 A300 1 = 2930	4	2,6	10,4
	11	Ø4 B500 1 = 120	80	0,01	0,88
С-2	12	Ø5 B500 1 = 160	3	0,025	0,07
	13	Ø5 B500 1 = 120	4	0,018	0,07
	14	Ø4 B500 1 = 170	17	0,017	1,12
	15	Ø4 B500 1 = 140	17	0,01	0,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс : учеб. для вузов / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – 5-е изд. – М. : Стройиздат, 1971. – 767 с.
2. Байков, В.Н. Проектирование железобетонных тонкостенных пространственных конструкций : учеб. пособие для вузов / В.Н. Байков, Э. Хампе, Э. Рауэ. – М. : Стройиздат, 1990. – 232 с.
3. Виноградов, Г.Г. Расчёт строительных пространственных конструкций / Г.Г. Виноградов. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 264 с.
4. Дыховичный, Ю.А. Пространственные составные конструкции : учеб. пособие / Ю.А. Дыховичный, Э.З. Жуковский. – М. : Высш. шк., 1989. – 288 с.
5. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. СП 52-117–2008. Часть 1. Методы расчёта и конструирования. ФГУП НИЦ «Строительство», 2008.
6. Жилые и общественные здания : краткий справочник инженера-конструктора / Ю.А. Дыховичный, В.А. Максименко, А.Н. Кондратьев и др. ; под ред. Ю.А. Дыховичного. – 3-е изд. – М. : Стройиздат, 1991. – 656 с.
7. Инструкция по проектированию железобетонных тонкостенных пространственных покрытий и перекрытий. Примеры расчёта и конструирования пологих оболочек, оболочек вращения и свода. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1964. – 71 с.
8. Лысенко, Е.Ф. Армоцементные конструкции / Е.Ф. Лысенко. – Киев, Высш. шк., 1981.
9. Михайлов, В.В. Предварительно напряжённые комбинированные стержневые вантовые конструкции / В.В. Михайлов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 256 с.
10. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. НИИЖБ. – М., 1979.
11. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01–84). – М. : Стройиздат, 1989. – 191 с.
12. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101–2003) ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. – М. : ОАО ЦНИИПромзданий, 2003. – 144 с.
13. Пособие по проектированию предварительно напряжённых железобетонных конструкций из тяжёлого бетона (к СП 52-102–2003) ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. – М. : ОАО ЦНИИПромзданий, 2005. – 158 с.

14. Пособие по проектированию армоцементных конструкций: (к СНиП 2.03.03–85) (НИИ ЖБ). – М. : Стройиздат, 1989. – 208 с.
15. Примеры расчёта железобетонных конструкций / А.М. Овечкин, Я.Ф. Хлебной и др. – Изд-во «Высшая школа», 1968. – 447 с.
16. Расчёт пространственных конструкции : сборник статей / под ред. С.А. Алексеева, В.В. Новожилова. – М. : Стройиздат., 1977. – Вып. 1111. – 191 с.
17. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики : учеб. пособие для вузов / под ред. Г.К. Клейна. 3-е изд-е, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1973. – 360 с.
18. Сахновский, К.В. Сборные тонкостенные пространственные и большепролётные конструкции : учеб. пособие для вузов / К.В. Сахновский, Б.В. Горенштейн, В.Д. Линецкий. – Л. : Стройиздат, 1969. – 429 с.
19. Скоров, Б.М. Гражданские и промышленные здания / Б.М. Скоров. – М. : Высш. шк., – 1978.
20. СНиП 2.01.07.85*. Нагрузки и воздействия. – Нормы проектирования / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2003. – 55 с.
21. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы) : справочник / Ю.А. Дыховичный, Э.З. Жуковский, В.В. Ермолов и др.: под ред. Ю.А. Дыховичного, Э.З. Жуковского. – М. : Высш. шк., 1991. – 543 с.
22. Примеры расчёта железобетонных конструкций : учеб. пособие для вузов / Н.М. Сперанский, С.Г. Сташевская, С.В. Бондаренко. – М. : Высш. шк., 1989. – 176 с.
23. СП 52-102–2004. Предварительно напряжённые железобетонные конструкции. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 38 с.
24. СП 52-101–2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 54 с.
25. Тур, В.И. Купольные конструкции: формообразование, расчёт, конструирование, повышение эффективности : учеб. пособие / В.И. Тур. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 96 с.
26. Файбишенко, В.К. Железобетонные конструкции : учеб. пособие / В.К. Файбишенко. – М. : Изд-во МАрхИ, 1980. – 109 с.
27. Тонкостенные железобетонные пространственные конструкции : сборник статей / под ред. Г.К. Хайдукова. – М. : Стройиздат., 1970. – 230 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1

x/l	Коефіцієнти 100 k_{N1} для визначення нормальних сил N_1 при значеннях λ ($\lambda=1,17 f/d$)						
	4	5	7	9	11	14	18
0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	0,1865	0,114	0,0587	0,0358	0,0238	0,0146	0,088
0,1	0,3655	0,2245	0,1153	0,0698	0,0468	0,0287	0,0176
0,15	0,5321	0,327	0,1684	0,1016	0,0685	0,0419	0,0256
0,2	0,6811	0,4199	0,2161	0,1308	0,0879	0,0539	0,0327
0,3	0,9149	0,5666	0,2921	0,1768	0,1188	0,0733	0,0442
0,4	1,0559	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

Додаток 2

x/l	Коефіцієнти 100 k_{N2} для визначення нормальних сил N_2 при значеннях λ ($\lambda=1,17 f/d$)						
	4	5	7	9	11	14	18
0	0	0	0	0	0	0	0
0,02	0,3094	0,2577	0,1905	0,1494	0,122	0,0941	0,0698
0,05	0,7324	0,5963	0,4177	0,3059	0,2339	0,1618	0,1043
0,07	0,9715	0,7733	0,5158	0,3607	0,2608	0,168	0,1008
0,1	1,2517	0,9587	0,5839	0,3801	0,259	0,156	0,091
0,15	1,5174	1,0899	0,587	0,3474	0,2258	0,1352	0,0818
0,2	1,5819	1,0559	0,5229	0,3032	0,1985	0,1229	0,0743
0,3	1,4122	0,9057	0,4164	0,2506	0,1684	0,1039	0,0628
0,4	1,2	0,7271	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

Додаток 3

x/l	Коефіцієнти 100 k_M для визначення нормальних сил M_1 при значеннях λ ($\lambda=1,17 f/d$)
-------	--

	4	5	7	9	11	14	18
0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	0,0514	0,0402	0,0275	0,0204	0,0159	0,0116	0,0082
0,02	0,0936	0,0715	0,0464	0,0326	0,0241	0,0162	0,0100
0,03	0,1276	0,0979	0,0584	0,0388	0,0269	0,0163	0,0088
0,04	0,1543	0,1118	0,0646	0,0403	0,0261	0,0141	0,0063
0,05	0,1743	0,1225	0,0667	0,0388	0,0232	0,0109	0,0038
0,07	0,1978	0,1307	0,0617	0,0305	0,0150	0,0049	0,0006
0,08	–	–	–	–	–	0,0026	0,0001
0,09	–	–	–	–	–	0,0010	0,0004
0,1	0,2016	0,1196	0,0438	0,0155	0,0047	0,0001	0,0004
0,12	0,1932	0,1038	0,0306	0,0076	0,0009	0,0007	0,0003
0,15	0,1611	0,0763	0,0146	0,0009	0,0012	0,0006	0,0000
0,18	0,1271	0,0466	0,0041	0,0016	0,0008	0,0000	0,0000
0,2	0,1028	0,0351	0,0003	0,0009	0,0008	0,0000	0,0000
0,25	0,0520	0,0090	0,0003	0,0011	0,0001	0,0000	0,0000
0,3	0,0163	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
0,35	0,0031	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,4	0,0998	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,5	0,0178	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Додаток 4

x/l	Коефіцієнти $100 k_s$ для визначення нормальних сил S при значеннях λ ($\lambda=1,17 f/d$)						
	4	5	7	9	11	14	18
0	2,7015	1,917	1,0608	0,7112	0,5008	0,3439	0,225
0,05	2,6043	1,8166	0,9706	0,6272	0,4239	0,2749	0,1671
0,1	2,3519	1,6014	0,7859	0,4827	0,3103	0,1927	0,1154
0,15	2,0156	1,3295	0,6033	0,3576	0,2334	0,1441	0,0862
0,2	1,6509	1,0608	0,4594	0,271	0,1843	0,1114	0,0676
0,3	0,9843	0,6082	0,2597	0,1574	0,1171	0,065	0,0393
0,4	0,465	0,2732	0,1204	0,0734	0,0588	0,0301	0,0181
0,5	0	0	0	0	0	0	0

Додаток 5

x/l	y/l	Коефіцієнти $100 k_{z\lambda}$ для визначення нормальних сил $N_{z\lambda}$ при значеннях λ ($\lambda=1,17 f/d$)						
		4	5	7	9	11	14	18

А. Зусилля в напрямку діагоналі

0,0	0,5	2,7015	1,9170	1,0608	0,7112	0,5008	0,3439	0,2250
0,1	0,4	2,4215	1,7104	0,9677	0,6069	0,4097	0,2492	0,1471
0,2	0,3	2,0819	1,3664	0,6799	0,3978	0,2623	0,1618	0,0981
0,3	0,2	1,6037	0,9880	0,4799	0,2886	0,1941	0,1197	0,0756
0,5	0,0	1,1023	0,6864	0,3540	0,2144	0,1441	0,0884	0,0535

Б. Зусилля перпендикулярно діагоналі

0,0	0,5	2,7015	1,9170	1,0608	0,7112	0,5008	0,3439	0,2250
0,1	0,4	1,3087	0,7643	0,3008	0,1428	0,0873	0,0547	0,0362
0,2	0,3	0,1373	0,1704	0,0912	0,0424	0,0238	0,0173	0,0090
0,3	0,2	0,8172	0,4997	0,2296	0,1374	0,0926	0,0571	0,0314
0,5	0,0	1,1023	0,6864	0,3540	0,2143	0,1440	0,0884	0,0534

Додаток 6

x/l	Коефіцієнти k_Q для визначення поперечних сил Q при значеннях λ ($\lambda=1,17 f/d$)				
	4	5	7	9	11
0	0	0	0	0	0
0,02	0,0328	0,0296	0,0256	0,0224	0,0204
0,04	0,0456	0,04	0,032	0,0268	0,0224
0,05	0,0512	0,044	0,0344	0,028	0,0232
0,07	0,0576	0,048	0,036	0,0284	0,0228
0,1	0,0628	0,0504	0,036	0,0272	0,0216
0,15	0,0636	0,0504	0,0336	0,0252	0,0208
0,2	0,0616	0,0484	0,032	0,0248	0,0204
0,25	0,0596	0,0464	0,0316	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

Додаток 7
СОРТАМЕНТ АРМАТУРИ

Номинальний діаметр стрижня, мм	Розрахункова площа поперечного стрижня, мм ² , при числі стрижнів									Теоретична маса 1 м довжини арматури, кг	Діаметр арматури класів			Максималь ний розмір перетину стрижня періодично го профілю
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		A240 A400 A500	A300	B500	
3	7,1	14,1	21,2	283	35,3	42,4	49,5	56,5	63,6	0,052	–	–	+	–
4	12,6	25,1	37,7	50,2	62,8	75,4	87,9	100,5	113	0,092	–	–	+	–
5	19,6	393	58,9	78,5	98,2	117,8	137,5	157,1	176,7	0,144	–	–	+	–
6	283	57	85	113	141	170	198	226	254	0,222	+	–	+	6,75
8	503	101	151	201	251	302	352	402	453	0,395	+	–	+	9
10	78,5	157	236	314	393	471	550	628	707	0,617	+	+	+	113
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	0,888	+	+	+	13,5
14	153,9	308	462	616	769	923	1077	1231	1385	1,208	+	+	–	15,5
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	1,578	+	+	–	18
18	254,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	1,998	+	+	–	20
20	314,2	628	942	1256	1571	1885	2199	2513	2828	2,466	+	+	–	22
22	380,1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2,984	+	+	–	24
25	490,9	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	3,84	+	+	–	27
28	615,8	1232	1847	2463	3079	3685	4310	4926	5542	4,83	+	+	–	30,5
32	804,3	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	631	+	+	–	34,5
36	1017,9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7,99	+	+	–	39,5
40	1256,6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9,865	+	+	–	43,5
45	1590,4	3181	4771	6362	7952	9542	11133	12723	14313	12,49	–	+	–	49
50	1963,5	3927	5891	7854	9818	11781	13745	15708	17672	15,41	–	+	–	54
55	2376	4752	7128	9504	11880	14256	16632	19008	21384	18,65	–	+	–	59
60	2827	5654	8481	11308	14135	16962	19789	22616	25443	22,19	–	+	–	64
70	3848	7696	11544	15392	19240	23088	26936	30784	34632	30,46	–	+	–	74

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи «Циліндричні оболонки» з дисципліни «Будівельні конструкції (спецкурс)» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», освітньо-професійної програми «Промислове і цивільне будівництво»

Укладач: Сахно Сергій Іванович.

Реєстрац. №

Підписано до друку «____» _____ 2019 р.

Формат А5

Обсяг 32 стор.

Тираж 20 прим

Видавничий центр ДВНЗ «КНУ»,
вул. Віталія Матусевича , 11,
м. Кривий Ріг