

Міністерство освіти та науки, молоді та спорту України

Українська державна академія залізничного транспорту

ШЕВЧЕНКО АННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 624.073.8

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
СТАЛЕБЕТОННИХ КРУГЛИХ ПЛИТ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти та науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор
Чихладзе Елгуджа Давидович

- кандидат технічних наук, доцент
Ватуля Гліб Леонідович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
завідувач кафедри будівельної механіки та гідравліки.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор
Кожушко Віталій Петрович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри мостів, конструкцій та
будівельної механіки;

- кандидат технічних наук
Мурза Сергій Олександрович,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка, начальник науково-дослідної частини.

Захист відбудеться « 14 » грудня 2012 року о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий «___» листопада 2012 р.

В.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., проф.

_____ В.С. Софонов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з головних напрямків технічного прогресу в будівництві є застосування матеріалів та ефективних конструкцій, зменшення витрат за рахунок зниження матеріаломісткості та трудомісткості, скорочення тривалості будівництва та поліпшення експлуатаційних якостей конструкцій. Досягнути цього можна шляхом освоєння нових і вдосконалення існуючих видів конструкцій з армованого бетону, до числа яких відносяться і конструкції із зовнішнім армуванням листовою сталлю.

Застосування сталобетонних конструкцій дозволяє значно поліпшити показники матеріаломісткості, вартості та трудомісткості будівництва, що досягається завдяки багатофункціональному використанню сталевих листів, а саме: застосування листа в якості складової частини опалубки і закладних деталей; поєднання функції робочої арматури із захисними та ізоляційними функціями; компактне розташування у зовнішній грані елемента, що згинається; здатністю сприймати розтягуючі зусилля одночасно в усіх напрямках. Найбільший ефект від зовнішнього армування досягається в елементах, що згинаються за двома напрямками, а саме: плитах перекриттів і покриттів будівель та споруд. Плоский сталевий лист працює в умовах двовісного розтягання, завдяки чому підвищується жорсткість і несуча здатність сталобетонної плити у порівнянні із залізобетонною плитою при однаковій витраті робочої арматури. Впровадження конструкцій із сталобетону, що працюють на згин в двох напрямках, ускладнено через малу розробленість методів розрахунку та проектування з урахуванням армування і можливих схем руйнування. Таким чином, вдосконалення методів розрахунку напружено-деформованого і граничного станів конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, що працюють на згин в двох напрямках, при короткочасному статичному навантаженні є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках тематики кафедри будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту за 2009 –2012 рр.: «Розробка теорії та методів розрахунку комбінованих конструкцій транспортних споруд» – № ДР 0106U004122; «Розробка теорії та методів оптимізації несучих конструкцій транспортних споруд» – № ДР 0110U002127.

Мета дослідження полягає в розробці математичного апарату визначення напружено-деформованого і граничного станів сталобетонних круглих плит при короткочасній дії симетричного навантаження.

Об'єкт дослідження – сталобетонні круглі плити.

Предмет дослідження – напружено-деформований та граничний стани, несуча здатність сталобетонних круглих плит.

Задачі дослідження:

- виконати аналітичний огляд літературних даних з дослідження роботи сталобетонних плит;
- розробити алгоритм розрахунку сталобетонних круглих плит з урахуванням нелінійності деформування бетону;
- розробити методику визначення напружено-деформованого стану

сталебетонної круглої плити при різних схемах навантаження;

- виконати експериментальні дослідження круглих сталебетонних плит при центральному навантаженні;
- вивчити вплив анкерних упорів та їх розташування на несучу здатність і деформативність сталебетонних плит;
- провести чисельний розрахунок круглих плит та порівняння з експериментальними даними;
- впровадити результати досліджень у практику будівництва та проектування.

Методи дослідження – експериментальні та теоретичні дослідження напружено-деформованого і граничного станів сталебетонних круглих плит при короткочасному центральному навантаженні; порівняння і аналіз результатів дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів визначається наступним:

- експериментальними результатами деформування сталебетонних круглих плит в процесі навантаження, розвитку пластичних деформацій в сталевому листі та тріщиноутворення у бетоні, несучої здатності;
- розробкою методики оцінки напружено-деформованого та граничного станів сталебетонних круглих плит.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне використання у практиці будівництва обпертих по контуру сталебетонних плит дозволяє збільшити несучу здатність в 2,2 - 3,2 рази в порівнянні з залізобетонними при однаковому використанні робочої арматури та інших рівних умовах.

Матеріали дисертаційної роботи були використані в проектних пропозиціях при розробці деталей об'єкту «Капітальний ремонт автодорожнього моста на 14 км ПК 1 дільниці Люботин – Мерефа Південної залізниці», а також результати дослідження знайшли практичне впровадження у навчальному процесі та при дипломному проектуванні в УкрДАЗТ.

Особистий внесок здобувача:

- на підставі літературних даних виконано аналіз конструктивних рішень методів розрахунку сталебетонних конструкцій;
- проведено експериментальні дослідження круглих сталебетонних плит з зовнішнім армуванням, отримано результати їх порівняльного аналізу між собою;
- розроблено методику визначення напружено-деформованого стану шарнірно обпертих по контуру сталебетонних круглих плит при різних схемах навантаження, а також проведено аналіз та зіставлення отриманих результатів з експериментальними даними;
- виконано розрахунок несучої здатності сталебетонної круглої плити за допомогою програмного комплексу «ЛІРА».

Апробація результатів дисертації. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень доповідались на: дев'ятій науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (м. Кривий Ріг, 24-27 жовтня 2011 р.); III міжнародній конференції «Науково-технічне та організаційно-економічне сприйняття реформам в будівництві та житлово-комунальному господарстві» (м. Макіївка, 12-13 квітня 2012

р.); міжнародній науково-практичній конференції «Модернізація та наукове дослідження в транспортному комплексі» (м. Перм, 26-28 квітня 2012 р.); III міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Будівництво, реконструкція та відновлення будівель міського господарства» (м. Харків, з 15.04.12 г. по 15.05.12 р.); міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн (м. Харків, 2010 – 2012 рр.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, з них 10 статей, у виданнях рекомендованих ДАК Міністерства освіти та науки, молоді та спорту України, 4 тези докладів в матеріалах збірників тез доповідей на конференціях, отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 225 найменувань та 4 додатків загальним обсягом 167 сторінки, у тому числі 133 сторінки основного тексту, який ілюструється 51 рисунком, містить 3 таблиці, 20 повних аркушів з таблицями і рисунками, 24 сторінки списку використаної літератури і 7 сторінок додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дано обґрунтування актуальності теми дисертації, наведені загальна характеристика роботи та її основні положення, наукова новизна і практичне значення.

У першому розділі виконано аналіз досліджень в галузі міцності та пластичності бетону в умовах плоского напруженого стану; узагальнені та проаналізовані конструкції із зовнішнім армуванням, існуючі способи розрахунку плит; наводяться висновки та завдання майбутніх досліджень.

В даний час разом з удосконаленням залізобетонних конструкцій традиційного типу останнім часом увагу вітчизняних і зарубіжних дослідників приваблює вивчення принципово нових видів несучих елементів, до числа яких відносяться конструкції із зовнішнім армуванням.

Вивченню властивостей конструкцій із зовнішнім армуванням листовою сталлю присвячені роботи Аншина Л.З., Барабаша В.М., Бердичевського Г.І., Бочагова В.П., Васильєва О.П., Воронкова Р.В., Залєсова А.С., Клименко Ф.Є., Лавсєна Р.М., Людковського І.Г., Онга К.С., Портера М.Л., Санжаровського Р.С., Скоробогатова С.М. Стороженко Л.І., Стрілецького М.М., Чихладзе Е.Д., Шагіна О.Л., та інших.

Ці роботи сприяли дослідженню різних сторін складного питання - оцінки несучої здатності сталебетонних конструкцій.

Досвід останніх двох десятиріч років свідчить про ефективність зовнішнього армування в згинальних елементах, яке стало можливим завдяки розвитку і практичному застосуванню способів об'єднання різних матеріалів. По-перше, зосередження робочої арматури у зовнішній грані розтягнутої зони бетону призводить до зменшення висоти перерізу і зниження власної ваги конструкції, що помітно по відношенню до залізобетонних елементів з багаторядним армуванням. По-друге, зовнішня листовая арматура, при монолітному способі виконання робіт, може виконувати функції несучої опалубки, підмостя, тобто істотно знижувати

витрати праці та додаткових матеріалів при виконанні монтажних робіт. По-третє, листові арматури, крім силових, може виконувати ізоляційні функції при будівництві об'єктів, до конструкцій яких, пред'являються вимоги непроникності для рідин, газів і випромінювань.

Незважаючи на очевидну ефективність, розглянуті сталобетонні конструкції мають і ряд недоліків. Найбільш суттєвим з них є недолік, обумовлений малою корозійною стійкістю і вогнестійкістю. У той же час, слід зазначити, що в практиці є достатній досвід боротьби із зазначеними недоліками. Це використання оцинкованих листів, різних захисних покриттів (в тому числі і лакофарбових), алюмінієвих сплавів замість сталі. Для забезпечення необхідної вогнестійкості відкриту поверхню листової арматури покривають спеціальними покриттями, що спучуються від дії вогню, екранного захисту (влаштування підвісної стелі).

Другий розділ присвячено теоретичному дослідженню несучої здатності круглих сталобетонних плит обпертих шарнірно по контуру. Розглянуті питання є розвитком теорії і методів деформування сталобетонних пластин, розроблених д.т.н., проф. Чихладзе Е.Д.

Опис процесу деформування бетону в умовах плоского напруженого стану засновано на феноменологічному підході, який полягає у використанні справжніх діаграм деформування бетону. Для конкретних видів напруженого стану (співвідношення напружень на головних майданчиках ($\eta = \sigma_2 / \sigma_1, \sigma_2 < \sigma_1$)) експериментальні діаграми деформування бетону апроксимуються аналітичною залежністю у вигляді полінома:

$$\sigma_{ei} = \sum_{k=1}^N A_{ik} (\varepsilon_{ei})^k, \quad (1)$$

$$\sigma_{eti} = \sum_{k=1}^N A_{tik} (\varepsilon_{eti})^k,$$

де $i = 1, 2$; $\sigma_{ei}(\sigma_{eti}), \varepsilon_{ei}(\varepsilon_{eti})$ – відповідно, напруження та деформації в i -тому напрямку при стисненні (розтягненні); A_{ik} – невідомі коефіцієнти, що визначаються з умов мінімуму квадратних відхилень експериментально отриманих значень напружень та підрахованих з використанням даних залежностей.

У якості вихідних експериментальних діаграм деформування бетону в умовах плоского напруженого стану для апроксимації залежності (1) використані дані Купфера Г.

Для обробки експериментальних даних були використані таблиці, що дозволяють визначити параметри деформування A_{ik} ($i = 1, 2$; $K = 1 \div 4$) для заданого класу важкого бетону В 20-60, при значеннях $\eta = -1, 0 \dots +1, 0$.

Для малого елемента сталобетонної плити (рис. 1) розсіченого площиною тріщини, отримана повна система рівнянь, що визначає напружено-деформований стан елемента поперечно навантаженої тонкої сталобетонної плити. Правила знаків для згинальних моментів, напружень і деформацій прийняті такими ж, як і в теорії пружних пластинок. Вважається, що тріщини проходять через центр елемента і в межах елемента симетричні відносно їх центру.

Фізичні рівняння в ортогональній системі координат мають вигляд

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{pmatrix} \times \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ 2K_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} D_{11} &= D_1 \sin^2 \alpha + D_2 \cos^2 \alpha, \quad D_{22} = D_1 \cos^2 \alpha + D_2 \sin^2 \alpha, \\ D_{13} &= (D_1 - D_2) \cos \alpha \sin \alpha / 2, \quad D_{33} = (D_1 + D_2 - 2D_\mu) / 4, \\ D_{13} &= D_{31} = D_{23} = D_{32}, \quad D_{12} = D_{21} = D_\mu, \end{aligned}$$

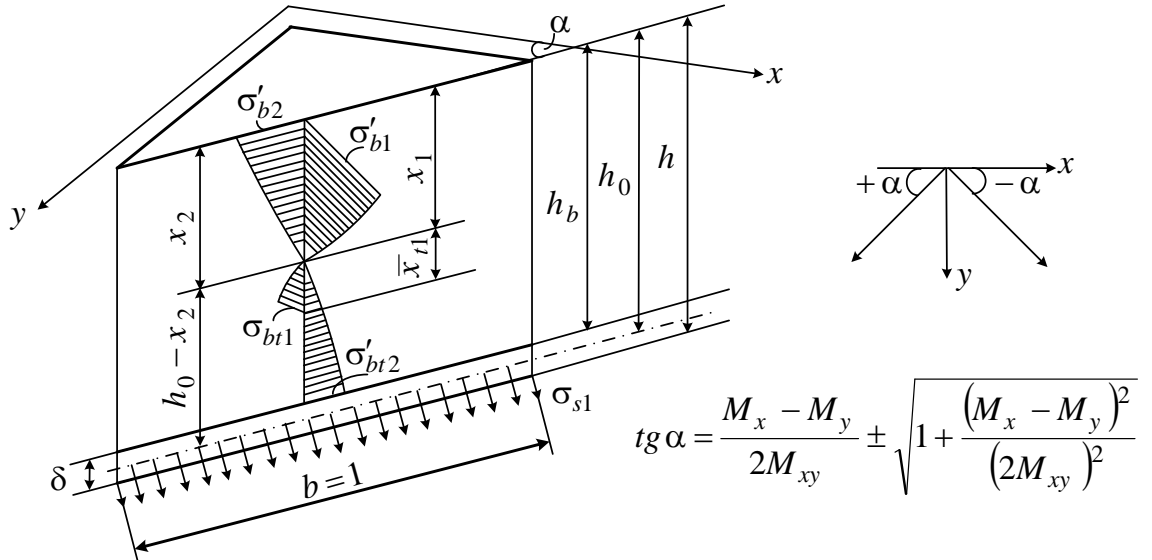


Рис. 1. Елемент сталобетонної плити

$$\begin{aligned} D_i &= \bar{x}_i^3 E_b / (3(1 - \nu_b^2)) + \bar{x}_{ii}^3 E_{bi} / (3(1 - \nu_{bt}^2)) + E_s A_s (h_0 - x_i)^2 \lambda_i / (1 - \nu_3^2), \\ D_\mu &= 0,5(D_{\mu 1} + D_{\mu 2}), \\ D_{\mu i} &= \nu_b \bar{x}_i^2 \bar{x}_j E_b / (3(1 - \nu_b^2)) + \nu_{bt} \bar{x}_{ii}^2 \bar{x}_{ij} E_{bt} / (3(1 - \nu_{bt}^2)) + \\ &+ \nu_s E_s A_s (h_0 - x_i)(h_0 - x_j) \lambda_j / (1 - \nu_3^2) \\ i &= 1, 2, \quad j = 2, 1. \end{aligned}$$

A_s – площа сталевго листа на одиниці довжини; $E_b, E_{bt}, \nu_b, \nu_{bt}$ – параметри деформування, отримані шляхом приведення бетону до умовно ізотропного миттєво-пружного суцільного середовища; E_s, ν_s – параметри деформування сталевго листа; x_i, x_{ti} – положення нейтральних осей, які визначаються з умови рівності нулю проєкцій сил, що діють в перерізі на горизонтальну площину.

Наведені параметри деформування знаходяться за наступними залежностями:

$$\begin{aligned} \nu_b &= \eta(1 - \bar{E}_{b1} / \bar{E}_{b2}) / (1 - \eta^2 E_{b1} / E_{b2}), \\ \nu_{bt} &= \eta(1 - \bar{E}_{bt1} / \bar{E}_{bt2}) / (1 - \eta^2 E_{bt1} / E_{bt2}), \\ E_b &= \bar{E}_{b1}(1 - \nu_b \eta), \\ E_{bt} &= \bar{E}_{bt1}(1 - \nu_{bt} \eta), \end{aligned}$$

$$\bar{E}_{bi} = 3 \sum_{k=1}^N A_{ik} (\varepsilon'_{bi})^{k-1} / (k+2),$$

$$\bar{E}_{bti} = 3 \sum_{k=1}^N A_{ik} (\varepsilon'_{bti})^{k-1} / (k+2),$$

де $\eta = \sigma_2 / \sigma_1$ – вважається відомою величиною і постійною в процесі деформування (при простому навантаженні).

Робота сталевго листа за границею пружності враховується методом змінних параметрів пружності, введенням характеристики пластичності

$$\psi = 3E_{so}\varepsilon_i / (2(1+\nu_{so})\sigma_i),$$

відповідно до якої знаходяться змінні значення модуля пружності і коефіцієнта поперечних деформацій пружно-пластичного матеріалу

$$E_s = 3E_{so} / (2(1+\nu_{so})\psi + 1 - 2\nu_{so}),$$

$$\nu_s = [\psi(1+\nu_{so}) - 1 + 2\nu_{so}] / [2(1+\nu_{so})\psi + 1 - 2\nu_{so}],$$

де E_{so} , ν_{so} – початкові значення модуля пружності та коефіцієнта поперечних деформацій;

σ_i , ε_i – інтенсивність напружень та деформацій, які визначаються залежностями:

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{s1} - \sigma_{s2})^2 + \sigma_{s1}^2 + \sigma_{s2}^2},$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{s2})^2 + (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s3})^2 + (\varepsilon_{s3} - \varepsilon_{s1})^2}.$$

Зв'язок між інтенсивністю напруження та деформації приймаються по діаграмі одноосного розтягання сталі.

Розглянуто розрахунок тонких круглих сталебетонних плит при малих рівнях напруженого стану. При отриманні залежностей використовуємо передумови теорії згину однорідних тонких плит. Верхній шар плити h_1 має фізичні характеристики матеріалу E_1 та ν_1 , нижній h_2 – E_2 та ν_2 (рис. 2).

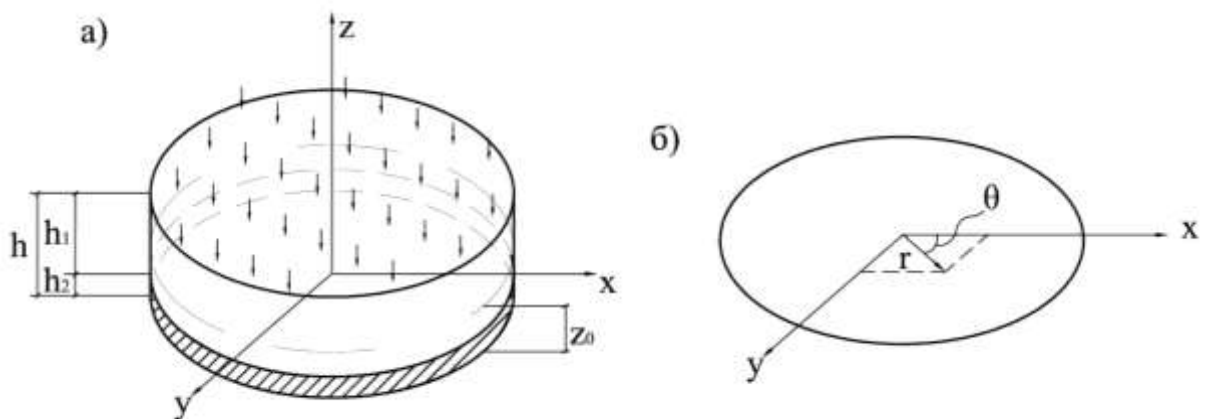


Рис. 2. Сталебетонна плита (а) та нейтральна площина (б)

Задача щодо згину круглої пластинки буде осесиметричною, якщо навантаження на пластинку, а також умови закріплення її країв не залежать від полярного кута θ . У цьому випадку прогин пластинки також не залежить від полярного кута θ , а є функцією лише координати r , тобто $w = w(r)$. Тоді рівняння згину пластинки має наступний вигляд:

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 w}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{dw}{dr} = \frac{q}{D_{mk}}. \quad (3)$$

Вирази, необхідні для обчислення положення нейтральної лінії z_0 , будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} D_{1w} &= \frac{E_1}{1-\nu_1^2} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\nu_1}{r} \frac{dw}{dr} \right); \\ D_{2w} &= \frac{E_2}{1-\nu_2^2} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\nu_2}{r} \frac{dw}{dr} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Формули внутрішніх зусиль

$$\begin{aligned} M_r &= -D_{mk} \frac{d^2 w}{dr^2} - (D_{1\mu\nu} \nu_1 + D_{2\mu\nu} \nu_2) \frac{1}{r} \frac{dw}{dr}, \\ M_\theta &= -D_{mk} \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} - (D_{1\mu\nu} \nu_1 + D_{2\mu\nu} \nu_2) \frac{d^2 w}{dr^2}, \\ Q_r &= -(D_{1Q} + D_{2Q}) \frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right), \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} D_{1Q} &= \frac{E_1}{6(1-\nu_1^2)} \left[2(h-z_0)^3 + 3(h-z_0)^2(z_0-h_2) - (z_0-h_2)^3 \right], \\ D_{2Q} &= \frac{E_2}{6(1-\nu_2^2)} \left[2z_0^3 - 3z_0^2(z_0-h_2) + (z_0-h_2)^3 \right], \\ z_0 &= \frac{h^2 - \left(1 - \frac{D_{2w}}{D_{1w}}\right) h_2^2}{2 \left[h - \left(1 - \frac{D_{2w}}{D_{1w}}\right) h_2 \right]}. \end{aligned}$$

Формули нормальних та дотичних напружень будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_{r1} &= -\frac{E_1 z}{1-\nu_1^2} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \nu_1 \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right); \quad \sigma_{r2} = -\frac{E_2 z}{1-\nu_2^2} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \nu_2 \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right); \\ \sigma_{\theta 1} &= -\frac{E_1 z}{1-\nu_1^2} \left(\frac{1}{r} \frac{dw}{dr} + \nu_1 \frac{d^2 w}{dr^2} \right); \quad \sigma_{\theta 2} = -\frac{E_2 z}{1-\nu_2^2} \left(\frac{1}{r} \frac{dw}{dr} + \nu_2 \frac{d^2 w}{dr^2} \right); \\ \tau_{r1z1} &= \frac{E_1 \left[(h-z_0)^2 - z^2 \right]}{2(1-\nu_1^2)} \frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right); \quad \tau_{r2z2} = \frac{E_2 \left[z_0^2 - z^2 \right]}{2(1-\nu_2^2)} \frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right). \end{aligned}$$

Рівняння (3) можна розв'язати в загальному вигляді. Як відомо, загальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння складається з суми загального розв'язку відповідного однорідного рівняння w_1 і якого-небудь частинного розв'язку неоднорідного рівняння, тобто $w = w_1 + w_2$.

Однорідне рівняння (3) буде:

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 w}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{dw}{dr} = 0,$$

та загальний вигляд частинного розв'язку:

$$w_2 = \frac{1}{D_{mk}} \int_0^r \frac{1}{r} \left\{ \int_0^r r \left[\int_0^r \frac{1}{r} \left(\int_0^r q(r) r dr \right) dr \right] dr \right\} dr.$$

Функція прогину для шарнірно-обпертої по контуру пластинки, навантаженої розподіленим навантаженням по всій поверхні

$$w = \frac{qR^4}{64D_{mk}} \cdot \left[K_{mk} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) - \left(1 - \frac{r^4}{R^4} \right) \right]. \quad (5)$$

де

$$K_{mk} = 2 \frac{3D_{mk} + D_{1mi} \nu_1 + D_{2mi} \nu_2}{D_{mk} + D_{1mi} \nu_1 + D_{2mi} \nu_2},$$

$$D_{mk} = D_{1mi} + D_{2mi} = \frac{E_1 h_1}{3(1-\nu_1^2)} \left[h_1^2 + 3hh_2 - 3z_0(h + 2h_2 - z_0) \right] +$$

$$+ \frac{E_2 h_2}{3(1-\nu_2^2)} \left[h_2^2 + 3z_0(z_0 - h_2) \right]$$

Розглянемо шарнірно-обперту пластинку, завантажену рівномірно-розподіленим навантаженням на її частині (штамп). Загальне рішення диференційного рівняння вигнутої поверхні пластинки буде різним на ділянці дії розподіленого навантаження і на ділянці вільної від неї (рис. 3).

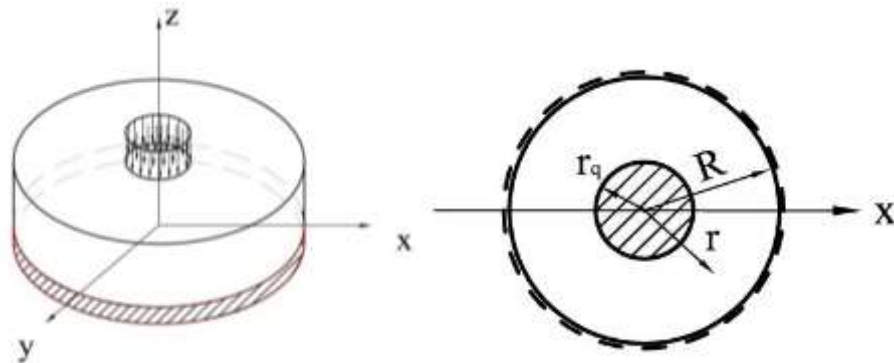


Рис. 3. Шарнірно-обперта пластинка, завантажена рівномірно-розподіленим навантаженням (на заштрихованій частині)

Визначивши вирази для всіх довільних сталих, запишемо функції прогинів і внутрішніх зусиль на ділянках:

на ділянці $0 \leq r \leq r_q$

$$w_1 = \frac{qr_q^4}{64D_{МК}} \left[-2 \frac{B}{A} + 4 \frac{R^2}{r_q^2} \left(\frac{2D_{МК}}{A} + 1 \right) - 4(\ln R - \ln r_q) - 5 + \right. \\ \left. + \left(2 \frac{r_q^2}{R^2} \frac{B}{A} - 8(\ln R - \ln r_q) - \frac{8D_{МК}}{A} \right) \frac{r^2}{r_q^2} + \frac{r^4}{r_q^4} \right], \quad (6)$$

на ділянці $r_q \leq r \leq R$

$$w_2 = \frac{qr_q^4}{32D_{МК}} \left\{ 2 \frac{R^2}{r_q^2} \left(\frac{2D_{МК}}{A} + 1 \right) - \frac{B}{A} - 2(\ln R - \ln r) + \frac{r^2}{r_q^2} \cdot \right. \\ \left. \cdot \left[\frac{r_q^2}{R^2} \frac{B}{A} - 2 \left(\frac{2D_{МК}}{A} + 1 \right) - 4(\ln R - \ln r) \right] \right\}, \quad (7)$$

де

$$A = D_{1,ми}(1 + \nu_1) + D_{2,ми}(1 + \nu_2),$$

$$B = D_{1,ми}(1 - \nu_1) + D_{2,ми}(1 - \nu_2).$$

При малих навантаженнях пластинок штампом (рис. 3) зусилля, що передається, рівномірно розподіляється по всій поверхні штампу та експериментального зразку. В процесі деформування під штампом прогин сталобетонної плити збільшується і в результаті цього навантаження передається по контуру штампа (рис. 4).

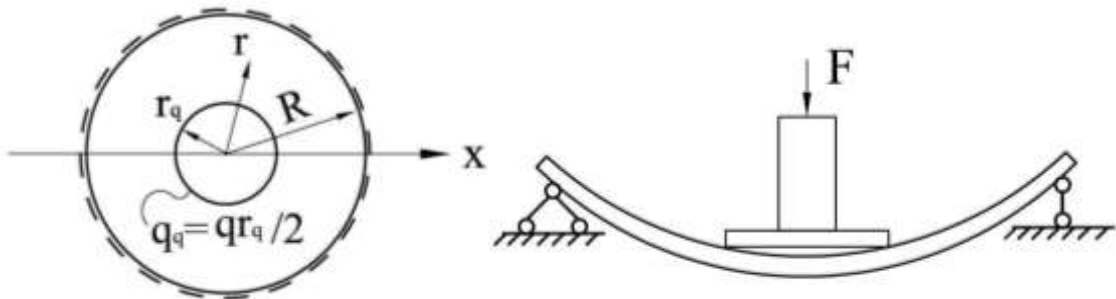


Рис. 4. Шарнірно-обперта пластинка, завантажена рівномірно розподіленим навантаженням по контуру штампа

Після того, як вирази для всіх довільних сталих знайдені, запишемо функції прогинів і внутрішніх зусиль на ділянках:

на ділянці $0 \leq r \leq r_q$

$$w_1 = \frac{qr_q^4}{16(D_{1Q} + D_{2Q})} \left[-2 - \frac{B}{A} + \frac{R^2}{r_q^2} + \frac{2D_{МК}R^2}{Ar_q^2} - 2 \ln R + 2 \ln r_q + \right. \\ \left. + \left(1 + \frac{r_q^2}{R^2} \frac{B}{A} - \frac{2D_{МК}}{A} - 2 \ln R + 2 \ln r_q \right) \frac{r^2}{r_q^2} \right], \quad (8)$$

на ділянці $r_q \leq r \leq R$

$$w_2 = \frac{qr_q^2}{16(D_{1\varrho} + D_{2\varrho})} \left[-2r_q^2 \ln R - \frac{r_q^2 B}{1 A} + \frac{2D_{MK} R^2}{A} + R^2 + 2r_q^2 \ln r + \left(\frac{r_q^2 B}{R^2 A} - \frac{2D_{MK}}{A} - 2 \ln R - 1 \right) r^2 + 2r^2 \ln r \right]. \quad (9)$$

У третьому розділі розглянуто граничний стан сталобетонних плит. Як показано в теорії складених стержнів і пластин однією з імовірних форм руйнування з'єднаних конструкцій є втрата несучої здатності внаслідок недостатньої міцності зв'язків зсуву. Метод дозволяє визначити не тільки граничні значення навантажень, але і граничні деформації.

В ізотропно армованій круглій сталобетонній пластинці, шарнірно обпертій по контуру, руйнування плити відбудеться за відомою схемою пологої піраміди з вершиною в точці прикладання сили.

Граничний момент по лінії пластичних шарнірів (рис. 5):

$$M_u = \int_0^{l_i} A_s \bar{\sigma}_{si} [h_0 - 0,5 A_s \sigma_{si} / \bar{R}_{bi}] dl, \quad (10)$$

де l_i – довжина деякої i -тої ділянки пластичного шарніра;

$\bar{\sigma}_{si}, \bar{R}_{bi}$ – граничні напруження в сталевому листі та бетоні у напрямку перпендикулярному до лінії пластичного шарніра з урахуванням двовісного напруженого стану;

h_0 – робоча висота перерізу;

A_s – площа листової арматури на одиницю ширини пластичного шарніру.

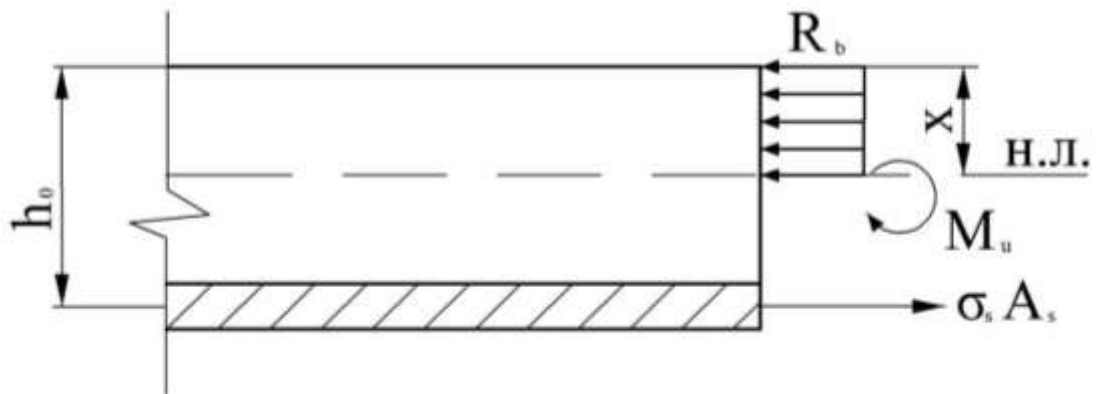


Рис. 5. Напружений стан по лініях пластичних шарнірів

Внаслідок ізотропного характеру армування сталобетонних плит, напрямок ліній пластичного шарніра можна вважати перпендикулярним до напрямку головних площадок. Отже, величина граничних напружень, що здійснюють роботу на віртуальних переміщеннях, дорівнює напруженням на головній площадці. Тоді, у відповідності з умовою пластичності по енергетичній теорії Мізеса, маємо:

$$\bar{\sigma}_{si} = \sigma_y / \sqrt{1 + \eta^2} - \eta,$$

де σ_y – фізична границя текучості при однорідному розтягненні;

η – змінна уздовж лінії пластичного шарніра величина співвідношення напружень на головних площадках.

Закономірність зміни величини $\eta = \sigma_2 / \sigma_1$ в явному вигляді дуже складна, тому обчислення граничного моменту за формулою (10) здійснюється чисельно. Для цього лінія пластичного шарніра розбивається на кінцеве число досить малих відрізків, в межах яких можна вважати $\eta = const$. Будемо припускати, що в процесі навантаження з появою в елементах конструкції деформацій нелінійного характеру перерозподіл зусиль з одного напрямку на інший незначний. Тоді величина η , знайдена із пружного розрахунку, буде справедлива для точок плити уздовж лінії пластичного шарніра в граничному стані. Для визначення міцності бетону, з урахуванням мінливого η , скористаємося даними (1). Далі, визначивши роботу зовнішніх і внутрішніх сил, прирівнявши їх один до одного, отримаємо рівняння для визначення граничного рівномірно розподіленого навантаження при руйнуванні плити по нормальному перерізу

$$q_{np} = \frac{6M_u}{R^2},$$

при навантаженні центрально прикладеною силою

$$F_{np} = M_u 2\pi.$$

Граничне зусилля зсуву, що сприймається анкером, залежить від його конструкції і визначається умовою зминання бетону, сталевого листа або зрізу анкера. При рівномірному розташуванні по площадці контакту, найбільш навантаженими є зв'язки розташовані уздовж опорного контура. Очевидно, що настання граничного стану в цих зв'язках буде відбуватися раніше ніж в інших. На цій підставі можна припустити кінематичну схему граничної рівноваги, показану на рис. 7. Заштриховані ділянки на рисунку відповідають законам пластичного деформування зв'язків зсуву, середня частина плити при цьому залишається горизонтальною.

Як і раніше, визначивши роботу зовнішніх і внутрішніх сил, отримаємо рівняння для визначення руйнівного навантаження з умови міцності контакту

$$q = \frac{12\tau_a(h_b - x)(b + b_1) + \frac{12R_b x^2}{R - r} \left[b_1 + \left(R - \frac{r}{\cos \alpha / 2} \right) \left(\cos \frac{\alpha}{2} + \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right]}{\pi f (R^2 + r^2 + Rr)}, \quad (11)$$

при дії центрально прикладеної сили:

$$F = 4\tau_a(h_b - x)(b + b_1) + \frac{4R_b x^2}{R - r} \left[b_1 + \left(R - \frac{r}{\cos \alpha / 2} \right) \left(\cos \frac{\alpha}{2} + \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right],$$

де τ_a – граничне зусилля на одиницю площадки контакту $\tau_a = \frac{Q_a}{\Delta}$; $Q_a = 316d_{ан}^2 R_b^{0,5}$ – граничне навантаження на анкер за умови зминання бетону; $Q_a = 6,3d_{ан}^2 R_{sw}$ – граничне навантаження на анкер за умови зрізу анкера; R_{sw} – розрахунковий опір розтягуванню анкера (МПа); R_b – розрахунковий опір стиску бетону (МПа); $d_{ан}$ – діаметр анкера (см); Δ – шаг анкерних упорів.

З метою спрощення, без суттєвої похибки, можна вважати граничні напруження у бетоні постійними вздовж лінії пластичного шарніра і рівними міцності бетону при одноосному стиску. Тоді, умову рівноваги диска запишемо в наступному вигляді (рис. 8):

$$R_b b_1 x = \tau_a \frac{(b + b_1)}{2} (R - r),$$

звідси знайдемо висоту стиснутої зони

$$x = \frac{\tau_a (b + b_1) (R - r)}{R_b b_1}.$$

Чисельний аналіз виразу (11) показав, що для отримання мінімального руйнівного навантаження (найбільш вигідної схеми зламу) необхідно прийняти $b_1 = b - 2\Delta$.

Четвертій розділ присвячено експериментальним дослідженням сталобетонних круглих плит, обпертих по полігональному контуру.

Для вивчення питань, покладених в основу експериментальних досліджень, було виготовлено шість дослідних зразків, що представляють собою круглі в плані плити радіусом 500 мм і товщиною 50 мм. Конструктивне рішення зразків розроблено в наступних варіантах (рис. 9).

Зразок П-1 та П-2 запроєктований і виготовлений у вигляді бетонної плити з зовнішнім армуванням із листової сталі 1 товщиною 2 мм. Для спільної роботи листові арматури об'єднані з бетоном похилими петлевими анкерами 2, розташованими по радіусах з кроком 100 мм. Їх нахил до горизонтальної поверхні становить 45° в напрямку від центра до контуру плити.

Зразок П-3 та П-4 відрізняється від П-1 та П-2 тим, що петлеві анкери 2 розташовані з кроком 50 мм.

Зразок П-5 і П-6 відрізняється від П-1 та П-2 тим, що петлеві анкери 2 розташовані з кроком 200 мм.

Дані про фізико-механічні властивості бетону і сталі були отримані при проведенні стандартних випробувань і представлені в табл. 1.

Зразки плит із зовнішнім армуванням випробовувалися на спеціальній установці, конструкція якої являє собою самоврівноважену систему, що складається з постаменту, до якого приварена навантажувальна рама. На постамент жорстко встановлювався за допомогою болтів опорний контур для випробування круглих плит. Випробування плит проводили на дію зосередженого навантаження, прикладеного в центрі плити, що передавався через штамп радіусом 10 см. Робоче зусилля здійснювалося гідравлічним домкратом.

Вертикальні переміщення точок плити в процесі навантаження фіксувались уздовж осі симетрії індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм і прогиномірами Аістова з ціною поділки 0,01 мм.

Деформації заміряли методом електротензометрії із застосуванням тензорезисторів з базою 20 мм на сталевому листі та 50 мм - на бетоні. Показання тензорезисторів реєстрували за допомогою багатоканальної вимірювальної системи ВВП-9.

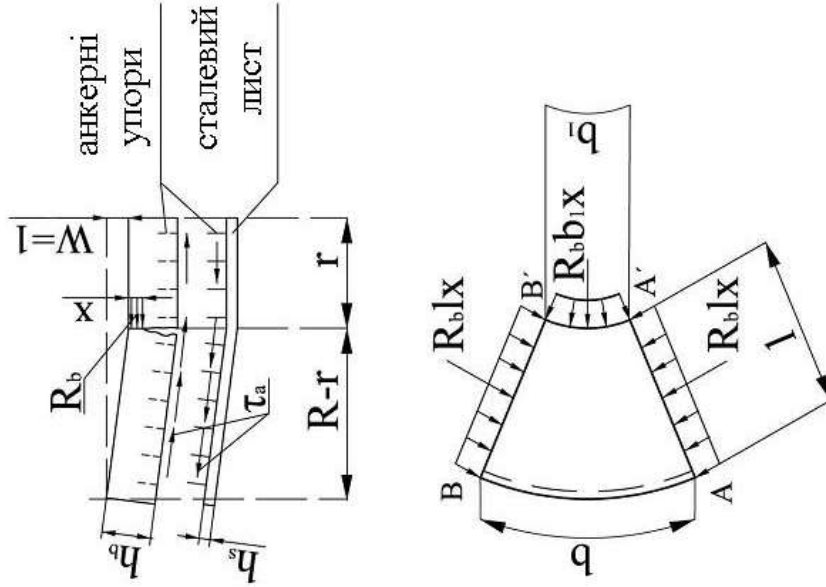


Рис. 8. Гранична рівновага сталобетонної круглої плити при руйнуванні по міцності контакту сталевого листа з бетоном

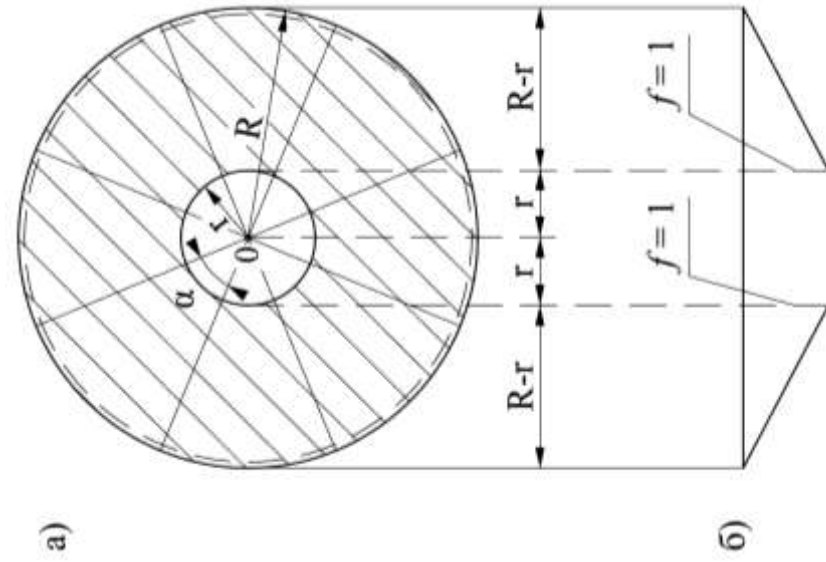


Рис. 7. Схема злому плити при руйнуванні по міцності контакту листа з бетоном при зосередженому впливі: а) схема злому плити; б) ешора прогинів у стані граничної рівноваги

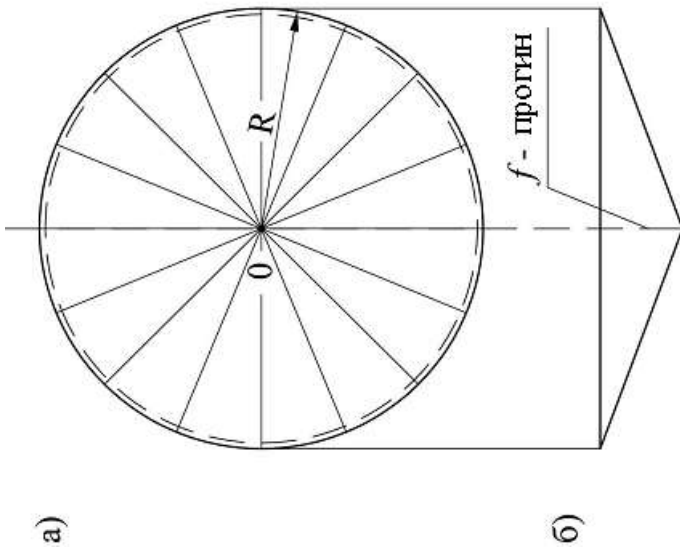


Рис. 6. Схема злому плити: а) схема злому плити; б) ешора прогинів у стані граничної рівноваги

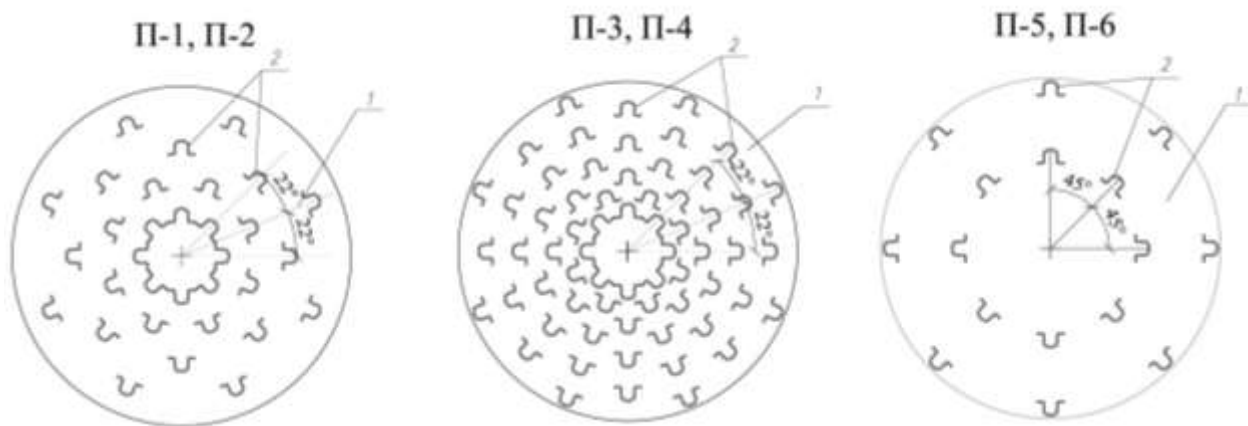


Рис. 9. Експериментальні схеми зовнішнього армування
1 – сталевий лист, 2 – петлеві анкери

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики матеріалів

| Характеристики сталі | | |
|--|--------------------------------|-------------------|
| Границя текучості σ_T , МПа | 221 | |
| Границя міцності σ_b , МПа | 295 | |
| Модуль пружності $E_s \times 10^5$, МПа | 2,02 | |
| Коефіцієнт поперечної деформації ν_s | 0,30 | |
| Характеристики бетону | | |
| Найменування | Плити П-1, П-2, П-5, П-6 | Плити П-3, П-4 |
| Границя міцності на стиск (кубикова) R_b , МПа | 40,7 | 30,4 |
| Нормативна границя міцності на стиск (кубикова) R_p^n , МПа | 33,4 | 22,7 |
| Границя міцності на стиск (призмова) R_b , МПа | 31,2 | 21,6 |
| Нормативна границя міцності на стиск (призмова) R_p^n , МПа | 24,3 | 16,8 |
| Границя міцності на розтягнення R_{bt} , МПа | 5,69 | 4,40 |
| Модуль пружності $E_b \times 10^4$, МПа | 3,37 | 2,86 |
| Коефіцієнт поперечної деформації ν_b | 0,18 | 0,18 |

За отриманими результатами експериментальних досліджень сталобетонних плит проведено порівняльний аналіз отриманих даних по серіям, а також аналіз напружено-деформованого стану кожної серії плит.

Результати випробувань плит наведено в табл. 2.

Порівняння експериментальних та теоретичних значень несучої здатності сталобетонних плит

| № ПЛИТ | $F_{оп}$, кН | $F_{теор}$, кН | $F_{теор}$ ЛІРА, кН | $\Delta = \frac{F_{теор} - F_{он}}{F_{он}}$ % | $\Delta = \frac{F_{теор} ЛІРА - F_{он}}{F_{он}}$ % |
|--------|---------------|-----------------|------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| П-1 | 122 | 119 | 118,6 | 2 | 3 |
| П-2 | 118 | 119 | 118,6 | 1 | 1 |
| П-3 | 143 | 139 | 138 | 3 | 3 |
| П-4 | 149 | 139 | 138 | 7 | 7 |
| П-5 | 86 | 82 | 82,4 | 5 | 4 |
| П-6 | 85 | 82 | 82,4 | 4 | 3 |

Аналіз діаграми «навантаження-прогин» для всіх зразків (рис. 10) показав, що графіки мали нелінійний характер, який обумовлений утворенням тріщин в розтягнутій зоні бетону і розвитком деформацій у компонентах перерізу.

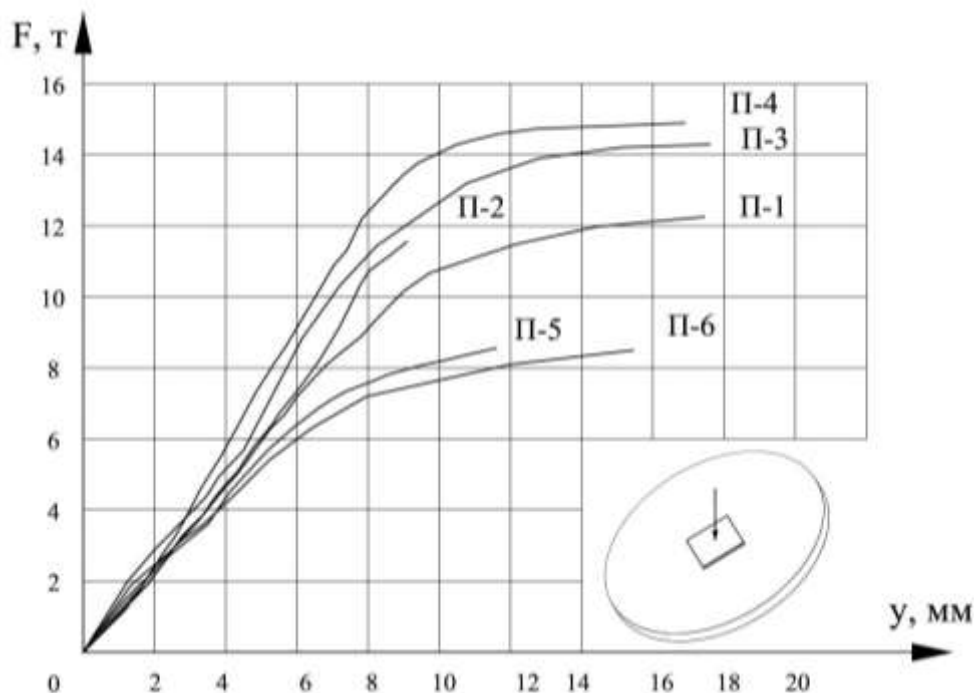


Рис. 10. Експериментальні криві деформування сталобетонних плит
П-1, П-2 – шаг анкерів 100 мм; П-3, П-4 – шаг анкерів 50 мм;
П-5, П-6 – шаг анкерів 200мм

За результатами проведених випробувань, в процесі яких вимірювали деформації сталевих листів та бетонного шару по всій площі, були побудовані експериментальні графіки зміни відносних деформацій. Аналіз графіків дозволив виявити вплив кроку анкерних упорів та їх розташування. Характер деформування

дослідних зразків різних серій був різним, а деформації росли від контуру до центра плити.

Аналіз графіків $F - \varepsilon$ для плит П-3, П-4 (шаг анкерів 50 мм) показав, що від навантаження $0,5F_{\max}$ деформації ростуть від контуру до центра (рис. 12). При навантаженні $0,4 - 0,6F_{\max}$ по периметру від контуру до центра спостерігається утворення тангенціальних тріщин, а також плавне зменшення деформацій в центрі плити при тривалому зростанні навантаження.

Картина утворення тріщин і процес руйнування був дещо іншим для зразків П-1 та П-2. Їх несуча здатність знизилася приблизно на 40 % в порівнянні з плитами П-3 та П-4, що було наслідком збільшення кроку анкерів з 50 до 100 мм. Крім того, процес продавлювання почався набагато раніше, ніж в плитах П-3, П-4. Деформації на ділянці декілька віддаленій від центра продовжували рости, а вичерпання несучої здатності плит відбувалося по досягненню границі міцності стиснутої зони бетону (рис. 11).

Несуча здатність плит П-5 і П-6 знизилася приблизно на 40 % в порівнянні з плитами П-1 та П-2, що стало наслідком збільшення кроку анкерів з 100 до 200 мм. Крім того, процес продавлювання почався набагато раніше, ніж в плитах з кроком 100 мм. Деформації на ділянці декілька віддаленій від центра продовжували рости, а вичерпання несучої здатності плит відбувалося по досягненню границі міцності стиснутої зони бетону (рис. 13).

Характерна особливість отриманої картини тріщин – прив'язка їх траєкторій до місць розташування ніжок анкера. Ближче до центра плити напрямок тріщин був в основному радіальний, по контуру мали місце тріщини в тангенціальному напрямку. На підставі схем тріщиноутворення і послідовності розвитку пластичних деформацій у листовій арматурі можна стверджувати, що схеми граничного стану при руйнуванні бетонних плит по нормальному перерізу збігаються з прийнятими в теоретичній частині.

Порівняння експериментальних і теоретичних значень руйнуючих навантажень для випробуваних плит виконано в табл. 2, наведені значення теоретичних та експериментальних руйнуючих навантажень, похибка в даному порівнянні не перевищує 10 %, що свідчить про нормальну збіжність результатів. Руйнування всіх плит відбувалося через продавлювання бетону під штампом.

П'ятий розділ містить опис використання зовнішнього листового армування в практиці будівництва; співставлення руйнуючих навантажень круглих, отриманих в експерименті, і восьмикутних сталобетонних плит з руйнівним навантаженням для їх залізобетонних аналогів; впровадження та оцінку ефективності сталобетонних конструкцій. На сталобетонні круглі плити, описані в даній роботі, отримано патент України.

ВИСНОВКИ

1. У роботі викладено результати аналітичного огляду літературних даних з дослідження роботи сталобетонних плит.

2. Розроблено алгоритм розрахунку сталобетонних круглих плит при різних схемах навантаження (по всій поверхні плити, навантаження штампом, навантаження по контуру штампа).

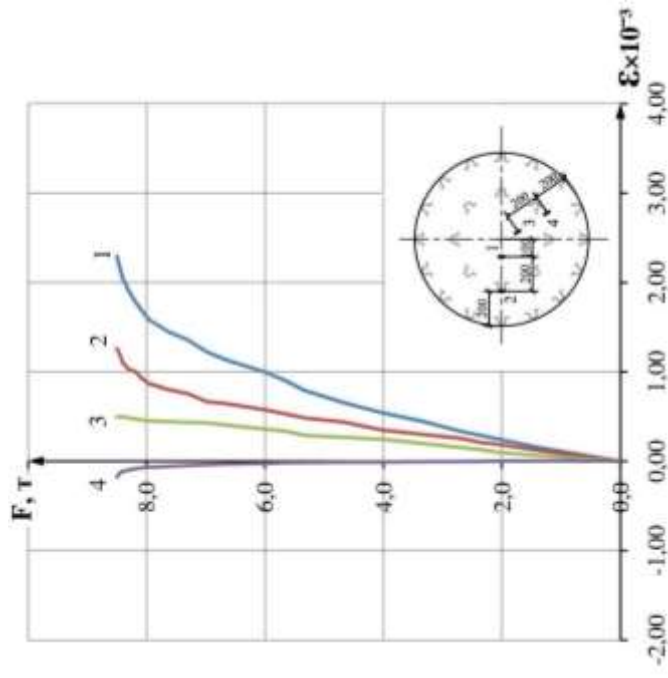


Рис. 13. Залежність деформацій від навантаження в бетоні для плити П-5

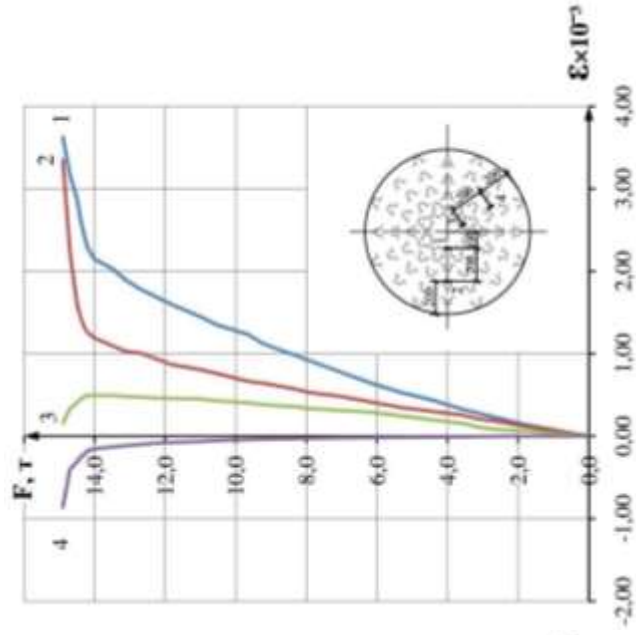


Рис. 12. Залежність деформацій від навантаження в бетоні для плити П-4

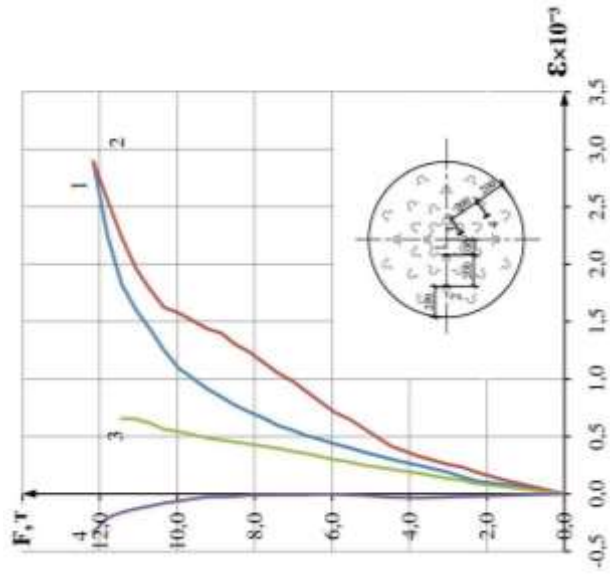


Рис. 11. Залежність деформацій від навантаження в бетоні для плити П-1

3. Розроблено методику визначення напружено-деформованого стану круглої сталобетонної плити по міцності нормальних перерізів та по міцності контакту сталевого листа з бетоном.
4. Проведено експериментальні дослідження сталобетонних круглих плит на дію короткочасного навантаження, що передається через штамп.
5. Експериментально досліджено характер деформування і вичерпання несучої здатності шарнірно-обпертої круглої плити з різним кроком анкерних упорів.
6. Аналіз отриманих даних дозволив виявити вплив кроку анкерних упорів на несучу здатність і деформативність сталобетонних плит. Показано, що в сталобетонних плитах при центрально прикладеному навантаженні крок анкерних упорів, розташованих по радіусу, робить істотний вплив на несучу здатність плити.
7. Порівняння теоретичних і експериментальних даних дозволяє судити про нормальну збіжність в межах 10 %. Використання відомих методів будівельної механіки, скінчених різниць і скінчених елементів, нормативних методик з планування та проведення експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок про адекватність отриманих теоретичних і експериментальних даних.
8. Результати дисертаційної роботи були використані в проектних пропозиціях при розробці деталей об'єкту «Капітальний ремонт автодорожнього моста на 14 км ПК 1 дільниці Люботин – Мерефа Південної залізниці», а також отримано патент України на корисну модель.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні публікації:

1. Чихладзе Э.Д. Изгиб сталобетонных плит / Э.Д. Чихладзе, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Сб. науч. трудов УкрГАЖТ. – Харьков, 2011. – Вып. 122. – С. 266-269.
Особистий внесок: проведено аналіз напружено-деформованого стану сталобетонних плит.
2. Чихладзе Э.Д. Предельное состояние композитных пластинок / Э.Д. Чихладзе, С.Ю. Берестянская, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Наук.-техн. збірник «Комунальне господарство міст» – Харків, 2011. – Вып. 99. – С. 442-447.
Особистий внесок: отримано залежності для визначення напружень в сталобетонному елементі.
3. Чихладзе Э.Д. Напряженно-деформированное состояние сталобетонных пластинок / Э.Д. Чихладзе, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Сб. науч. трудов УкрГАЖТ. – Харьков, 2011. – Вып. 125. – С. 5-12.
Особистий внесок: отримано залежності для визначення податливості сталевого листа з бетоном.
4. Китов Ю.П. Расчет круглых сталобетонных тонких плит / Ю.П. Китов, А.А. Шевченко // Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2011. – Вып. 22. – С. 368-375.

Особистий внесок: виконано чисельний розрахунок круглої композитної плити.

5. Китов Ю.П. Расчет тонких сталебетонных плит как упругих двухслойных композитных пластинок / Ю.П. Китов, А.А. Шевченко // Сб. науч. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 61. – С. 213-218.

Особистий внесок: виконано чисельний розрахунок композитної пластинки.

6. Ватуля Г.Л. Экспериментальные исследования сталебетонных круглых плит // Г.Л. Ватуля, В.А. Лютый, А.А. Шевченко // Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 127-132.

Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження круглих плит.

7. Ватуля Г.Л. Экспериментальная оценка напряженно-деформированного и предельного состояния сталебетонных круглых плит / Г.Л. Ватуля, А.А. Шевченко, Д.В. Головкин // Сб. науч. трудов УкрГАЗТ – Харьков, 2012. – Вип. 129. – С. 145-149.

Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження круглих плит.

8. Пат. 72173 Україна, МПК Е 04 С 2/08. Сталебетонна кругла плита / Ватуля Г.Л., Шевченко А.О., Петрушевська А.А.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u2012 00806; заявл. 26.01.12; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.

Особистий внесок: виконано огляд існуючих конструкцій.

Апробаційного характеру:

1. Шевченко А.А. Основные зависимости для круглых сталебетонных тонких плит / А.А. Шевченко // Зб. наук. статей «Сталезаліобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація». – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – Вип. 9. – С. 239.
2. Шевченко А.А. Исследования напряженно-деформированного и предельного состояния сталебетонных круглых плит / А.А. Шевченко // Збірник тез доповідей III Міжнародної конференції «Науково-технічне та організаційно-економічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві» – Макіївка, 2012. – Ч. I. – С. 57-60.
3. Шевченко А.А. Методы расчета напряженно-деформированного состояния круглых сталебетонных плит / А.А. Шевченко // Материалы III Международной научно-технической интернет-конференции «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства» – Харків, 2012. – С. 196-199.
4. Ватуля Г.Л. Исследование работы сталебетонной круглой плиты при силовом воздействии / Г.Л. Ватуля, А.А. Шевченко, Н.В. Смолянюк // Материалы научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» – Пермь, 2012. – Т.4. – С. 59-66.

Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження круглих плит.

Додаткові публікації:

1. Галагура Є.І. Напружено-деформований стан по-різному навантажених колон / Є.І. Галагура, А.О. Шевченко // Вісник національного університету «Львівська політехніка» – Львів, 2010. – № 662. – С. 108-113.
Особистий внесок: виконано чисельний розрахунок сталеві колони.
2. Китов Ю.П. Расчет тонких сталебетонных плит при малых уровнях напряженного состояния / Ю.П. Китов, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Сб. науч. трудов УкрГАЖТ. – Харьков, 2011. – Вып. 122. – С. 293-298.
Особистий внесок: виконано розрахунок композитної пластинки.
3. Шевченко А.О. Напружено-деформований стан сталебетонних круглих плит / А.О. Шевченко // Сб. науч. трудов УкрГАЖТ. – Харьков, 2012. – Вып. 129. – С. 248.

АННОТАЦИЯ**Шевченко А.А. Напряжено-деформированное состояние сталебетонных круглых плит. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОНмолодежиспорта Украины, Харьков, 2012.

Диссертация посвящена экспериментально-теоретическим исследованиям сталебетонных круглых в плане плит в условиях статического кратковременного нагружения.

Проведен анализ литературных источников, посвященных описанию существующих видов конструктивных решений зданий и сооружений, в которых использована внешняя листовая арматура. Обзор накопленного материала показал, что характер деформирования и исчерпания несущей способности изгибаемых в двух направлениях круглых сталебетонных плит, подвергающихся силовым воздействиям, исследован недостаточно.

Разработана методика расчета сталебетонных круглых плит при различном действии нагрузки (по всей поверхности плиты, нагрузка штампом, нагрузка по контуру штампа), которые соединены друг с другом таким образом, чтобы работать как единое целое, то есть абсолютно жесткое. А также получены зависимости и выполнен расчет по предельным состояниям, то есть по прочности нормальных сечений и по прочности контакта стального листа с бетоном.

Экспериментально исследованы сталебетонные круглые плиты на действие сосредоточенной нагрузки. Для экспериментальных исследований изготовлено шесть круглых сталебетонных плит, которые состоят из тонкого стального листа толщиной 2 мм и бетонного слоя. Для совместной работы листовая арматура объединена с бетоном наклонными (45° к горизонтальной поверхности в

направлении от центра к контуру плиты) анкерными упорами, расположенными по радиусам с шагом 50, 100 и 200 мм.

Целью экспериментальных исследований является установление характера напряженно-деформированного состояния на различных этапах нагружения, закономерности деформирования, трещинообразования и предельного состояния конструкции. Анализ полученных данных позволил выявить влияние шага анкерных упоров на несущую способность и деформативность сталебетонных плит. Показано, что в сталебетонных плитах при центрально приложенной нагрузке шаг анкерных упоров, расположенных по радиусу, оказывает существенное влияние на несущую способность плиты.

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных позволяет судить о нормальной сходимости в пределах 10 %. Использование известных методов строительной механики, конечных разностей и конечных элементов, нормативных методик по планированию и проведению экспериментальных исследований позволяет сделать вывод об адекватности полученных теоретических и экспериментальных данных.

Результаты диссертационной работы внедрены в практику проектирования и строительства.

Ключевые слова: сталебетонная круглая плита, плоское напряженное состояние, несущая способность, напряженно-деформированное состояние, композитные пластины, шарнирно-опертая пластина, экспериментальные исследования.

АНОТАЦІЯ

Шевченко А.О. Напружено-деформований стан сталебетонних круглих плит. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Українська державна академія залізничного транспорту МОНмолодьспорту України, Харків, 2012.

Дисертація присвячена експериментально-теоретичним дослідженням сталебетонних круглих у плані плит в умовах статичного короткочасного навантаження.

Проведено аналіз літературних джерел, присвячених опису існуючих видів конструктивних рішень будівель і споруд, в яких використана зовнішня листовая арматура. Огляд накопиченого матеріалу показав, що характер деформування та вичерпання несучої здатності круглих сталебетонних плит, що згинаються в двох напрямках та піддаються силовим впливам, досліджено недостатньо.

Розроблено методику розрахунку сталебетонних круглих плит при різній дії навантаження (по всій поверхні плити, навантаження штампом, навантаження по контуру штампа). Також отримано залежності і виконано розрахунок за граничними станами, тобто за міцністю нормальних перерізів та за міцністю контакту сталевих листів з бетоном.

Експериментально досліджено сталобетонні круглі плити на дію зосередженого навантаження. Для експериментальних досліджень виготовлено шість круглих сталобетонних плит, які складаються з тонкого сталевого листа товщиною 2 мм і бетонного шару. Для спільної роботи листові арматури об'єднані з бетоном похилими (45° до горизонтальної поверхні в напрямку від центру до контура плити) анкерними упорами, розташованими по радіусу з кроком 50, 100 і 200 мм. Аналіз отриманих даних дозволив виявити вплив кроку анкерних упорів на несучу здатність і деформативність сталобетонних плит. Показано, що в сталобетонних плитах при центрально прикладеному навантаженні крок анкерних упорів, розташованих по радіусу, суттєво впливає на несучу здатність плити.

Порівняння теоретичних і експериментальних даних дозволяє судити про нормальну збіжність в межах 10 %. Використання відомих методів будівельної механіки, скінченних різниць і скінченних елементів, нормативних методик з планування та проведення експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок про адекватність отриманих теоретичних і експериментальних даних.

Ключові слова: сталобетонна кругла плита, плоский напружений стан, несуча здатність, напружено-деформований стан, композитні пластини, шарнірно-оперта пластина, експериментальні дослідження.

ABSTRACT

Anna Shevchenko. The stress-strain state of steel concrete round plates. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.01 – construction, buildings and structures. – Ukrainian State Academy of Railway Transport MONmolodezhisporta Ukraine, Kharkov, 2012.

The thesis is devoted to experimental and theoretical studies of steel concrete round plate in terms under static loading.

In a review of the literature devoted to the description of existing for solutions buildings and structures, which are used in the external sheet reinforcement. Review of the collected material showed that the nature of the strain and exhaustion of the carrying capacity of bending in two directions round steel concrete plate subjected to force influences investigated not enough. A method of calculation of steel concrete round plates under the action of various loads (over the entire surface plates, load stamp, stamp along the contour of the load) were developed. Also were obtained and executed according to the calculation of limit states, on the strength of the normal sections of the contact strength sheet steel with concrete. Steel concrete round plate under the action of concentrated loads have been experimentally investigated.

For experimental researches have been made six round steel concrete plates, consisting of a thin 2 mm thickness steel sheet and concrete layer. Combined action of steel reinforcement and concrete layer was provided with inclined loop anchors (45° to the horizontal surface in a direction from the center to the contour of the plate), located along the radius with anchor spacing 50, 100 and 200 mm. Analysis of research data, bath theoretica and experimental, helps to indicate the anchors spacing and there in fluence on carrying capacity of steel concrete plates. It is shown that the steel concrete plates under a centrally applied

load step of anchoring lugs, located along the radius has a significant impact on the carrying capacity of the plate.

Comparison of theoretical and experimental data indicates of normal convergence within 10%. Using known methods of structural mechanics, finite differences and finite elements, standard techniques for planning and carrying out experimental research suggests the adequacy of the theoretical and experimental data.

Key words: steel concrete round plate, plane stress condition, carrying capacity, the stress-strain state, composite plates, the hinge supported plate, the experimental study.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
СТАЛЕБЕТОННИХ КРУГЛИХ ПЛИТ**

Шевченко Анна Олександрівна

Відповідальний за випуск
Павлюченков М.В.

Підписано до друку _____.____.12 р.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для копіювальних апаратів.
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 1,0. Обкл.-вид. бум. 1,25.
Замовлення № _____. Тираж 100.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТ:, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050