

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

ПЕТРУШЕВСЬКА АЛЛА АНДРІЇВНА

УДК 624.016

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ
БЕЗБАЛКОВИХ ПЕРЕКРИТТІВ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор
Чихладзе Елгуджа Давидович;

– кандидат технічних наук, доцент
Веревічева Марина Анатоліївна,
Українська державна академія
залізничного транспорту, доцент кафедри
будівельної механіки та гідравліки.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Астанін Вячеслав Валентинович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри механіки;

– кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Воскобійник Олена Павлівна,
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, докторант кафедри
конструкцій з металу, дерева та пластмас.

Захист відбудеться «11» квітня 2013 року о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розісланий «9» березня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.

_____ Г.Л. Ватуля

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасне проектування вимагає забезпечення надійності будівель і споруд при одночасному зниженні їх матеріалоемності, вартості та трудомісткості на етапах проектування, монтажу та експлуатації. Таким вимогам задовольняють конструкції із зовнішнім армуванням листовою сталлю. Поліпшення вищенаведених показників досягається завдяки багатофункціональності сталевих листів і його раціональному використанню – як опалубки і закладних деталей, поєднанню функції робочої арматури з захисними та ізоляційними функціями, компактному розташуванню листа на зовнішній стороні елемента, який згинається, і сприйняттю розтяжних зусиль. Найбільший ефект від зовнішнього армування досягається в плитах перекриттів і покриттів, які згинаються в двох напрямках. Плоский сталевий лист працює в умовах двовісного напруженого стану, завдяки чому підвищується жорсткість і несуча здатність сталевобетонної плити порівняно з залізобетонною при однаковій витраті металу. Проблема розрахунку сталевобетонних плит на силові впливи на сьогоднішній день полягає в необхідності врахування наступних факторів: неоднорідного напруженого стану, особливостей обпирання плит, нелінійності деформування бетону в умовах плоского напруженого стану і його анізотропних властивостей, залежності характеристик жорсткості від деформованого стану, податливості контакту, довільного навантаження і т.д. У зв'язку з цим розробка нових конструктивних рішень і методики розрахунку сталевобетонних плит, що враховують зазначені фактори, і дослідження їх роботи є актуальним завданням.

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

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методів оцінки напружено-деформованого стану та визначення несучої здатності сталевобетонних квадратних плит як елемента безбалкового перекриття з різними умовами обпирання на підставі експериментально-теоретичних досліджень.

Поставленій меті відповідають такі основні задачі:

1. Провести аналітичний огляд літературних даних з дослідженням роботи сталевобетонних і сталезалізобетонних плит, методів їх розрахунку.
2. Розробити методику розрахунку плит із зовнішнім листовим армуванням з урахуванням особливостей деформування сталевих листів і бетону в умовах плоского напруженого стану при силовому впливі.
3. Розробити конструкцію сталевобетонної плити, яка дозволяла б забезпечити сумісну роботу бетонного шару і тонкого листа, який поєднує в собі якості опалубки і несучого елемента.
4. Розробити алгоритм і програму розрахунку сталевобетонних плит з різними умовами обпирання, що дозволяє оцінити їх напружено-деформований та граничний стани.

5. Провести експериментальні дослідження квадратних сталобетонних плит з різними умовами обпирання і розташуванням анкерних упорів.

6. Розробити рекомендації для розрахунку і проектування сталобетонних плит і впровадити результати роботи в практику проектування і будівництва.

Об'єкт дослідження – деформування і руйнування сталобетонних безбалкових плит перекриття при короткочасному навантаженні.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан сталобетонних квадратних плит перекриття при різному кроці анкерних упорів і закріпленні кутів плити.

Методи дослідження – аналітичні, чисельні та експериментальні. Отримано залежності для опису напружено-деформованого стану сталобетонних плит при силовому впливі. Сформульовано граничні умови, які визначаються закріпленням плити. Експериментально досліджена робота плит перекриття з різними умовами обпирання і кроком анкерних упорів.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна наданих досліджень визначається наступними результатами:

1. Розроблено математичну модель і методику чисельної оцінки напружено-деформованого стану сталобетонних плит з різними умовами обпирання по кутах при силовому впливі.

2. Експериментально отримано залежності навантаження–деформація та навантаження–прогин для квадратних у плані сталобетонних плит перекриттів з різним кроком анкерних упорів (з кроком 100 мм і 50 мм по перпендикулярах від центру плити до середини кромки і від центру до кутів по бісектрисі кутів) і з різними умовами обпирання – шарнірне обпирання по кутах і жорстке закріплення по кутах.

3. Отримано експериментальні дані про несучу здатність, деформації, напруження, внутрішні зусилля в досліджуваних конструкціях сталобетонних плит при дії статично прикладеного навантаження.

4. Запропоновано розрахункову модель сталобетонного перекриття для оцінки напружено-деформованого стану методом скінчених елементів.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована методика розрахунку дозволяє визначати напружено-деформований стан і несучу здатність сталобетонних плит з різними умовами обпирання по кутах при дії статично прикладеного за допомогою штампа навантаження.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Української державної академії залізничного транспорту у вигляді програми розрахунку напружено-деформованого стану сталобетонних плит з різними умовами обпирання на силові впливи, при дипломному проектуванні, а також в конструктивних пропозиціях при проектуванні платформи вагонних ваг УА ТОВ «КОДА».

Особистий внесок здобувача.

1. На підставі літературних джерел виконано аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку сталобетонних плит при дії статичного навантаження.

2. Розроблено математичний апарат, алгоритм і програму розрахунку сталобетонних плит з різними умовами обпирання при впливі статичного навантаження.

3. Розроблено методику оцінки несучої здатності сталобетонного перекриття за допомогою методу граничної рівноваги.

4. Розроблено розрахункову модель сталобетонного перекриття на підставі методу скінченних елементів і оцінено напружено-деформований стан.

5. Проведено експериментальні дослідження квадратних в плані плит із зовнішнім листовим армуванням при різних умовах обпирання по кутах і різними схемами розташування анкерних упорів. Досліджено вплив характеристик міцності матеріалів, а також граничних умов на несучу здатність сталобетонних плит.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на:

1. Науково-технічних конференціях Української державної академії залізничного транспорту (2010–2012 рр.).

2. Третій міжнародній науково-практичній конференції «Науково-технічне та організаційно-економічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві» (м. Макіївка, 12–13 квітня 2012 р.).

3. Третій міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства» (м. Харків, 15 квітня–15 травня 2012 р.).

4. Міжнародній науково-практичній конференції «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (м. Пермь, 26–28 квітня 2012 р.).

5. Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012» (м. Одеса, 18–27 грудня 2012).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 13 наукових працях, з яких 9 статей у виданнях, рекомендованих МОН України, 3 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій, одержано 1 патент України на корисну модель.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків. Дисертація викладена на 192 сторінках і містить 155 сторінок основного тексту, 3 таблиці, 76 рисунків, 249 найменувань літератури, 3 додатка на 8 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність розглянутої теми, дано загальну характеристику дисертації, її основні положення, наукову новизну і практичну цінність.

У першому розділі дисертації виконано аналіз досліджень міцності бетону в умовах двовісного напруженого стану, розглянуто існуючі види конструкцій сталобетонних перекриттів, області їх застосування, основні методи і передумови розрахунку, а також способи об'єднання листової арматури з бетонним шаром та проведені експериментальні дослідження.

Сучасне проектування вимагає забезпечення надійності будівель і споруд при одночасному зниженні їх матеріалоемності, трудомісткості і вартості на етапах проектування, монтажу та експлуатації. Таким вимогам задовольняють конструкції із зовнішнім армуванням листовою сталлю. Найбільший ефект при зниженні ресурсоемності мають плити перекриття і покриття із зовнішнім армуванням, які згинаються в двох напрямках.

До висновку про підвищення міцності при двовісному стисненні бетону прийшла велика група дослідників – Я. Атан, А.М. Бамбура, П.М. Біч, К.П. Веригін, О.О. Гвоздьов, Г.А. Геніїв, Ю. Гломб, В.І. Євдокимов, Ю.В. Зайцев, А.П. Кудзис, Г. Купфер, А. Нільсон, А.І. Ноткус, Ф. Слейт, О.Л. Шагін, А.В. Яшин та ін. Це сприяло дослідженню різних аспектів складного питання – оцінки несучої здатності сталобетонних конструкцій.

Вивченню конструкцій із зовнішнім листовим армуванням присвячена велика кількість робіт, серед яких роботи Аншина Л.З., Арсланханова А.Д., Барабаша В.М., Бердичівського Г.І., Берестянської С.Ю., Богачова В.П., Васильєва О.П., Воронкова Р.В., Залєсова О.С., Кириленка В.Ф., Клименка Ф.Є., Лавсена Р.М., Лобяка О.В., Людковського І.Г., Молдавської Т.А., Молодченка Г.А., Онга К.С., Потера М.Л., Пустовойтова В.П., Санжаровського Р.С., Скоробогатова С.М., Смолянюк Н.В., Стороженка Л.І., Нижника О.В., Стрілецького М.М., Фоміци Л.Н., Чернишової О.В., Чихладзе Е.Д., Шагіна О.Л., Шмуклера В.С. та ін.

Другий розділ присвячений теоретичному і чисельному дослідженню напружено-деформованого стану сталобетонних квадратних плит як елементів безбалкових перекриттів з різним обпиранням по кутах.

Запропоновано математичну модель сталобетонної плити для дослідження її напружено-деформованого стану (рис. 1). Теоретичною основою визначення прогинів є рівняння, аналогічне рівнянню Софі Жермен на площині з урахуванням композитності плити.

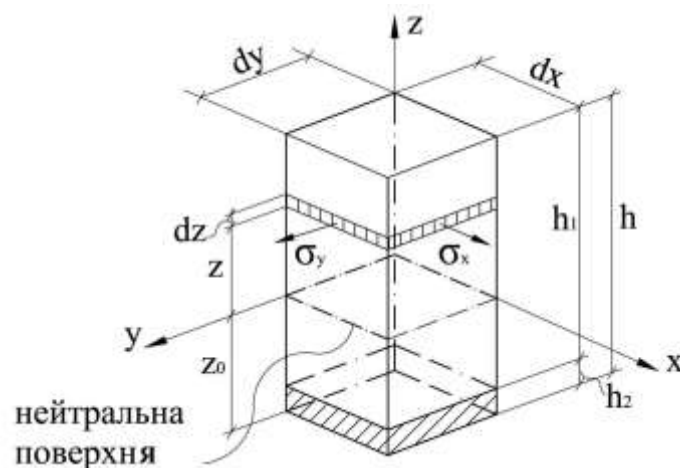


Рис. 1. Бетонна плита з зовнішнім листовим армуванням

Припускається, що прогин серединної поверхні пластинки малий у порівнянні з її товщиною. Тоді з урахуванням особливостей досліджуваної конструкції можна прийняти такі припущення: 1) нормаль до серединної поверхні до вигину переходить в нормаль до серединної поверхні після вигину; 2) серединна поверхня не випробовує деформаційний зсув; 3) компонента тензора напружень σ_z мала

порівняно з іншими компонентами; 4) з'єднання складових компонентів сталобетонної плити здійснюється гнучкими анкерами, які розташовані симетрично з рівним кроком і пружно-податливі в площині зсуву; сталевий лист має малу згинальну жорсткість, тому зв'язки вважаються абсолютно жорсткими в поперечному напрямку; 5) можлива концентрація зусиль у місці зосередження анкера не враховується, тобто зусилля, яке сприймається анкером, вважається розподіленим рівномірно на відповідної цьому анкеру площі контакту; б) розглядається випадок короткочасного, простого навантаження елементів конструкції, тобто в процесі деформування співвідношення напружень на головних площадках вважається постійним ($\eta = \sigma_2 / \sigma_1 = \text{const}$).

Припущення 1–3 дозволяють звести об'ємну задачу про визначення НДС плити до плоскої. Прогини таких тонких плит $w(x, y)$ у кожній точці x, y задовольняють вигляду рівняння Софі Жермен:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D_{mk}}, \quad (1)$$

де $q(x, y)$ – інтенсивність розподіленого навантаження; D_{mk} – жорсткість плити, яка одержується з умов рівноваги елемента плити (рис. 1):

$$D_{mk} = \frac{E_1 h_1}{3(1-\nu_1^2)} \left[h_1^2 + 3h h_2 - 3z_0 (h + 2h_2 - z_0) \right] + \frac{E_2 h_2}{3(1-\nu_2^2)} \left[h_2^2 + 3z_0 (z_0 - h_2) \right], \quad (2)$$

або, при розрахунку з урахуванням тільки стиснутої зони бетону

$$D_{mk} = \frac{E_1}{3(1-\nu_1^2)} (h - z_0)^3 + \frac{E_2}{3(1-\nu_2^2)} \left[z_0^3 - (z_0 - h_2)^3 \right]. \quad (3)$$

Вираз для визначення положення нейтральної поверхні (рис. 1) виходить з умови рівності нулю поздовжніх сил по гранях елементарного паралелепіпеда:

$$z_0 = \frac{h^2 - \left(1 - \frac{D_{2w}}{D_{1w}} \right) h_2^2}{2 \left[h - \left(1 - \frac{D_{2w}}{D_{1w}} \right) h_2 \right]}. \quad (4)$$

При розрахунках з урахуванням тільки стиснутої зони бетону:

$$z_0 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c}}{2}, \quad (5)$$

де $b = -2z_0(h + otn \cdot h_2)$, $c = h^2 + otn \cdot h_2^2$, $otn = \frac{D_{2w}}{D_{1w}}$.

Граничні умови на верхньому і нижньому вільних ділянках границі:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; \quad \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial x^2} = 0;$$

на бічних вільних ділянках границі:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0; \quad \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} = 0;$$

в жорстко закріплених вузлах:

$$\text{на горизонтальних ділянках } w = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0;$$

$$\text{на вертикальних ділянках } \frac{\partial w}{\partial x} = 0;$$

в шарнірно закріплених вузлах:

$$\text{на горизонтальних ділянках } w = 0; \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0;$$

$$\text{на вертикальних ділянках } \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0.$$

При описі процесу деформування бетону в умовах плоского напруженого стану був використаний феноменологічний підхід, який заснований на застосуванні реальних діаграм деформування матеріалів для конкретних видів напруженого стану. У якості вихідних експериментальних діаграм деформування бетону використані дані Купфера. Для конкретних різних співвідношень напружень на головних площадках $\eta = \sigma_2 / \sigma_1$, $\sigma_2 < \sigma_1$ експериментальні діаграми деформування бетону апроксимуються аналітичною залежністю у вигляді полінома:

$$\sigma_{bi} = \sum_{k=1}^n A_{ik} (\varepsilon_{bi})^k, \quad (6)$$

де $i = 1, 2$; $\sigma_{bi}, \varepsilon_{bi}$ – відповідно напруження і деформації в i -му головному напрямку при стиску (розтягу); A_{ik} – коефіцієнти, що визначаються з умов мінімуму квадратних відхилень експериментально отриманих значень напружень і підрахованих з використанням даних залежностей, $n = 4$.

За відомими значеннями A_{ik} визначається модуль пружності:

$$E_{bi} = 3(1 - \nu_b) \eta \sum_{k=1}^n A_{ik} (\varepsilon'_{bi})^{k-1} / (k + 2), \quad (7)$$

де ε'_{bi} – деформації в крайніх волокнах.

Таким чином, ітераційний алгоритм розрахунку комбінованої плити буде мати наступний вигляд:

- 1) визначаємо значення z_0 , наближено приймаючи:

$$\frac{D_{cw}}{D_{bw}} = \frac{E_c(1 - \nu_b^2)}{E_b(1 - \nu_c^2)}; \quad (8)$$

- 2) обчислюємо значення циліндричної жорсткості за (2) або (3);
- 3) чисельно визначаємо прогини в точках плити рішенням (1); за відомими прогинами знаходяться осьові та головні напруження

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \quad \tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y};$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}; \quad (9)$$

4) перераховуємо модуль пружності бетону E_{bi} відповідно до (7). Знаючи граничні деформації $\bar{\varepsilon}_1, \bar{\varepsilon}_2$, можна визначити граничні напруження

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{E_{b1}}{1-\nu^2} (\bar{\varepsilon}_1 + \nu \bar{\varepsilon}_2); \quad \bar{\sigma}_2 = \frac{E_{b2}}{1-\nu^2} (\bar{\varepsilon}_2 + \nu \bar{\varepsilon}_1); \quad (10)$$

5) знаходимо нові значення z_0 за формулою (4) або (5);

6) розрахунок знову починається з пункту 2) даного алгоритму до отримання прийнятної точності збігу циліндричних жорсткостей на двох сусідніх ітераціях.

Оскільки рішення рівняння (1) для зазначеного способу закріплення границь не може бути отримано аналітично, рівняння в сукупності з граничними умовами було розв'язано методом скінченних різниць. В силу симетрії плити щодо обох осей, рівняння можна розв'язувати на чверті вихідної області. На цій області вводиться сіткове розбиття з числом вузлів n по кожній осі. Оскільки найбільші деформації пластини виникають в області під штампом і поблизу закріплень, в цих областях крок сітки вибирався в п'ять разів менше, ніж в інших областях.

Для чисельної оцінки НДС плити диференціальне рівняння (1) і граничні умови в кожному вузлі області замінюються їх різницевою апроксимацією, в результаті чого отримуємо систему лінійних рівнянь щодо прогинів $w_{i,j}$ в кожній точці.

Щоб записати апроксимацію рівняння (1) поблизу границі та апроксимацію граничних умов, доводиться вводити законтурні вузли ($i, j \leq 0, -1, n+1, n+2$). Це суттєво збільшує обсяг матриці системи лінійних рівнянь, число невідомих стає рівним $(n+4)^2$. Збільшення розмірності матриці веде до накопичення похибок при вирішенні системи і, отже, до суттєвої неточності остаточного визначення прогинів. Цього можна уникнути, підставивши апроксимацію граничних умов в рівняння у вузлах границі та сусідніх з нею вузлах.

Таким чином, отримано систему лінійних рівнянь розмірності $n^2 \times n^2$, рішенням якої є значення прогинів в кожному вузлі плити (пункт 3 алгоритму). За відомими прогинами чисельно визначаються напруження $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \sigma_1, \sigma_2$, і перераховуються модуль пружності, граничні деформації $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ і граничні напруження σ_1, σ_2 у вузлах плити (пункт 4 алгоритму). Порівнянням розрахункових та граничних напружень в бетоні, а також розрахункових напружень і границі текучості сталі перевіряється міцність плити. Критерієм руйнування вважається досягнення напруженням в стиснутій зоні розрахункового значення R_b або досягнення текучості в металевому листі.

Оскільки плоска постановка задачі не дає можливості врахувати розташування анкерів (передбачається спільна робота бетонної плити і сталевго листа), точність

розрахунку прогинів порівняно з експериментальними значеннями досить низька при малій кількості анкерів. Як показали дослідження, з точки зору несучої здатності доцільно встановлювати анкера з кроком приблизно $1/20$ сторони плити. Значення руйнівного навантаження, отриманого розрахунковим та експериментальним шляхом, для такого випадку практично однаково. У відповідності з розрахунками, при чисельному дослідженні зразків руйнування наступало при досягненні граничних напружень в стиснутій зоні бетону.

Для чисельного дослідження сталобетонної плити з урахуванням особливостей її конструкції, в тому числі наявності анкерів, був використаний програмний комплекс «ЛІРА».

Бетонний шар плити моделювався переміщенням твірної, як утворююча використовувалася плита з розміром чарунки $0,01$ м. Для моделювання бетонного шару плити застосовувався КЕ 231. Металевий лист моделювався за допомогою КЕ 241. Зв'язок між бетоном і металевим листом здійснювався за допомогою КЕ 264.

Розглядалося два види закріплення: шарнірне і защемлення по кутах плити. У першому випадку точкам в місцях шарнірних опор заборонялися переміщення по x , y , z . У другому випадку переміщення x , y , z заборонялися по нормалях до країв плит, сходячись в точці кута защемлення.

Оскільки найбільші деформації виникають під штампом і поблизу опорних вузлів, кількість скінченних елементів в цих областях густішала порівняно з іншими областями пластини.

У другому розділі також розроблено методику визначення руйнівного навантаження сталобетонної квадратної плити, шарнірно-опертої в кутах, за методом граничної рівноваги, що дозволяє визначити її несучу здатність з урахуванням податливості металевого листа, геометричної нелінійності конструкції. Цей метод, як відомо, дає знижене значення руйнівного навантаження, але простий у застосуванні і дозволяє зробити попередні оцінки.

Приймаючи основні передумови методу граничної рівноваги, отримуємо спосіб визначення несучої здатності з умови міцності нормальних перерізів (рис. 2).

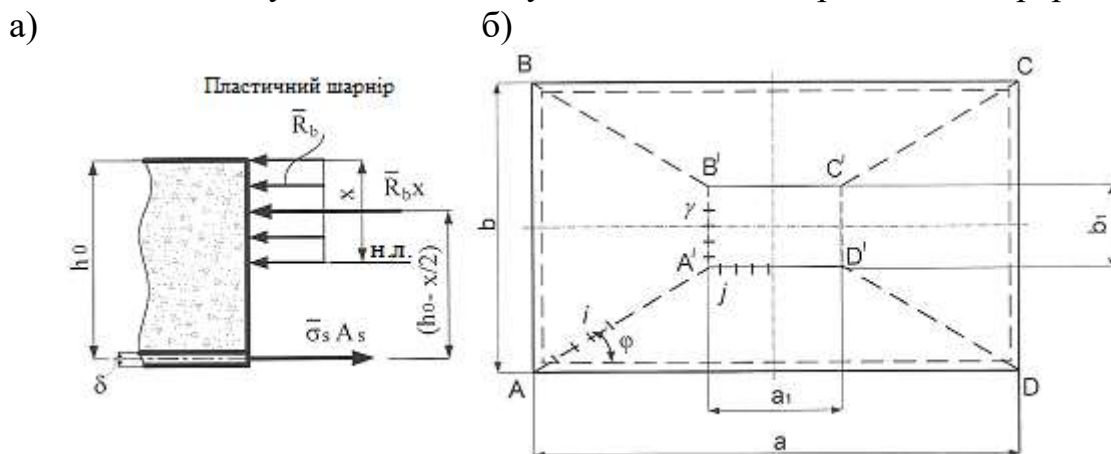


Рис. 2. Гранична рівновага сталобетонної плити при руйнуванні за міцністю нормальних перерізів: а) пластичний шарнір; б) схема зламу плити при рівномірно розподіленому навантаженні

У відповідності з умовою пластичності за енергетичною теорією Мізесу

$$\bar{\sigma}_{si} = \sigma_y / \sqrt{1 + \eta^2 - \eta}, \quad (11)$$

де σ_y – фізична межа текучості при однорідному розтягуванні; η – величина співвідношення напружень на головних площадках, яка змінюється уздовж лінії пластичного шарніра, $\eta = \sigma_2 / \sigma_1$.

Порівнюючи роботу зовнішніх і внутрішніх сил на одиничному переміщенні, отримуємо вираз для рівномірного руйнівного навантаження по площі штампа:

$$q_H = \frac{4[M_1(\text{ctg}\varphi + \text{tg}\varphi) + a_1 M_2 / (b - b_1) + b_1 M_3 / (a - a_1)]}{a_1 b_1}, \quad (12)$$

$$\text{де } M_1 = \sum_{i=1}^n \bar{M}_i / n; M_2 = \sum_{j=1}^m \bar{M}_j / m; M_3 = \sum_{\gamma=1}^k \bar{M}_\gamma / k; \quad \text{tg}\varphi = (b - b_1) / (a - a_1).$$

Визначимо руйнівне навантаження по контакту листа з бетоном. Граничне зсувне зусилля, яке сприймається анкером, визначається з умови зминання бетону, металевого листа або зрізу анкера за залежностями:

$$\left. \begin{aligned} Q_a &= 316 d_{an}^2 R_b^{0,5} \\ Q_a &= 6,3 d_{an}^2 R_{sw} \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Робота зовнішніх сил:

$$V = q a_1 b_1, \quad (14)$$

Робота внутрішніх сил підсумовується з роботи зв'язків зсуву A_c і роботи зусиль стиснутої зони бетону A_b . Робота зв'язків зсуву визначається залежністю

$$A_c = 2\tau_a (T_1 S_1 + T_2 S_2), \quad (15)$$

$$\tau_a = \frac{Q_a}{\Delta^2}, \quad (16)$$

де τ_a – граничне зусилля на одиниці площадки контакту; $Q_a = 316 d_{an}^2 R_b^{0,5}$ – граничне навантаження на анкер з умови зминання бетону; $Q_a = 6,3 d_{an}^2 R_{sw}$ – граничне навантаження на анкер з умови зрізу анкера; R_{sw} – розрахунковий опір розтягу анкера; R_b – розрахунковий опір стиску бетону; d_{an} – діаметр анкера; Δ – крок анкерних упорів; T_1, T_2 – зсув по контакту по лініях $B'A'$ та $C'B'$ відповідно; S_1, S_2 – площі контакту листової арматури і бетону по лініях $B'A'$ та $C'B'$ відповідно (рис. 2).

Умова рівності нулю всіх сил, прикладених до дисків $BCC'B'$ та $ABV'A'$ (рис. 3):

$$R_b \bar{x} a = \tau_a S_1, \quad R_b \bar{x} b = \tau_a S_2, \quad (17)$$

де \bar{x} – середня висота взаємодії дисків. Звідси витікає

$$T_1 = \alpha_1 (h_b - x), \quad T_2 = \alpha_2 (h_b - x), \quad (18)$$

де h_b – висота бетонного шару; x – висота стиснутої зони бетону.

Підставивши (18) в (15), отримали вираз для роботи зв'язків зсуву:

$$A_c = 2\tau_a (\alpha_1(h_b - x)S_1 + \alpha_2(h_b - x)S_2). \quad (19)$$

Робота зусиль у стиснутій зоні бетону:

$$A_b = \sum_{i=1}^8 \bar{M} \alpha_i l_i, \quad (20)$$

де l_i – довжина i -ї ділянки зламу; α_i – відповідний кут взаємного повороту суміжних дисків.

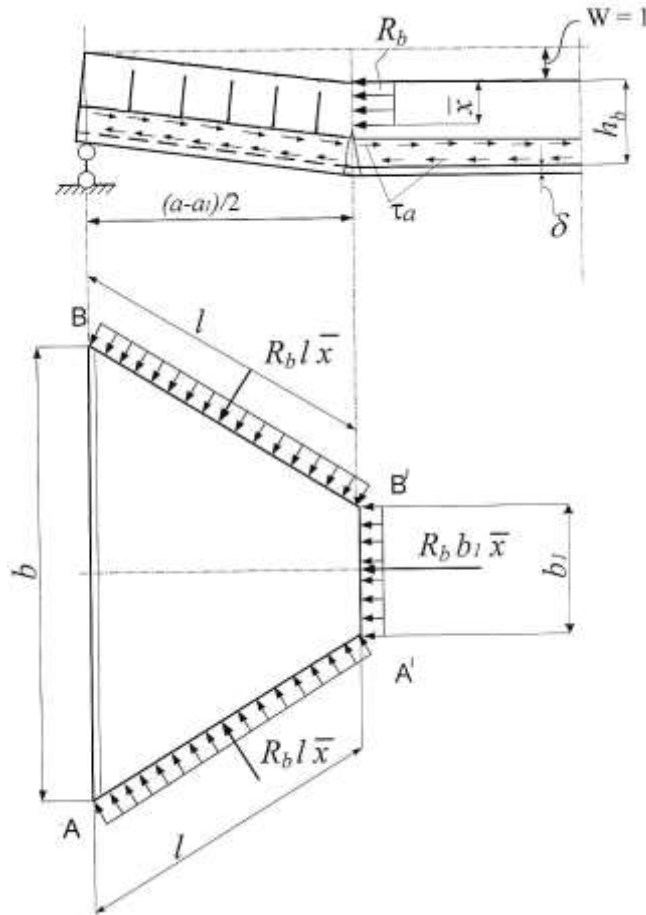


Рис. 3. До вивчення граничної рівноваги сталобетонної плити при руйнуванні за міцністю контакту металевго листа з бетоном

Граничний погонний момент \bar{M} уздовж лінії пластичного шарніра, створюваний зусиллям стиснутої зони бетону (рис. 2), дорівнює

$$\bar{M} = R_b (\bar{x})^2 / 2. \quad (21)$$

Прирівнюючи роботу зовнішніх і внутрішніх сил, отримуємо вираз граничного навантаження, розподіленого по площі штампa, з умови міцності контакту:

$$q_k = \left(2\tau_a (\alpha_1(h_b - x)S_1 + \alpha_2(h_b - x)S_2) + \frac{R_b (\bar{x})^2}{2} \sum_{i=1}^8 \alpha_i l_i \right) / a_1 b_1. \quad (22)$$

Величина \bar{x} , яка входить до (22), знаходиться з умови (17).

Чисельний аналіз виразу (22) показав, що несуча здатність плити пропорційно залежить від кількості анкерів, приварених до металевго листа, від товщини самого

листа, а також від кроку анкерів. Таким чином, з метою оптимального проектування, необхідно кількість анкерів визначати з умови рівності граничних навантажень за нормальним перерізом (12) і по контакту (22).

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням фрагментів сталобетонних перекриттів. Було досліджено квадратні сталобетонні плити, оперті по кутах шарнірно або з жорстким закріпленням. Металевий лист з'єднувався з бетоном за допомогою петльових анкерних упорів з різним кроком. Навантаження передавалося за допомогою штампа в центрі плити.

Для вивчення питань, покладених в основу експериментальних досліджень, було виготовлено вісім дослідних зразків, які є квадратними у плані плитами зі стороною 1000 мм і товщиною 62 мм. Кожен зразок складався з таких частин: сталевий лист, виконаний з плоского металевого листа товщиною 2 мм, петльових анкерів і бетонного шару. Конструктивне рішення зразків наведено на рис. 4–5.

Зразки ПШ100-1, ПШ100-2, ПЗ100-1 і ПЗ100-2 запроектовані і виготовлені у вигляді бетонної плити з зовнішнім армуванням листовою сталлю 1 (рис. 4). Для спільної роботи металевий лист об'єднаний з бетоном похилими петльовими анкерами 3, розташованими по діагоналях і по осі симетрії у напрямку до краю кроком 100 мм. Їх нахил до горизонтальної поверхні становить 45° в напрямку від геометричного центру до краю плити.

Зразки ПШ50-1, ПШ50-2, ПЗ50-1, ПЗ50-2 (рис. 5) відрізняються від ПШ100-1, ПШ100-2, ПЗ100-1, ПЗ100-2 тим, що петльові анкери розташовані з кроком 50 мм.

Для анкерування використовували дротяну рифлену арматуру діаметром 4 мм класу Вр-1. Анкери приварювалися до сталевих листів за допомогою напівавтоматичного зварювання. При цьому для запобігання зминання металевих листів і забезпечення більшої зони включення його в роботу конструкції при відриванні довжину зварного шва витримували рівною 10–15 мм.

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

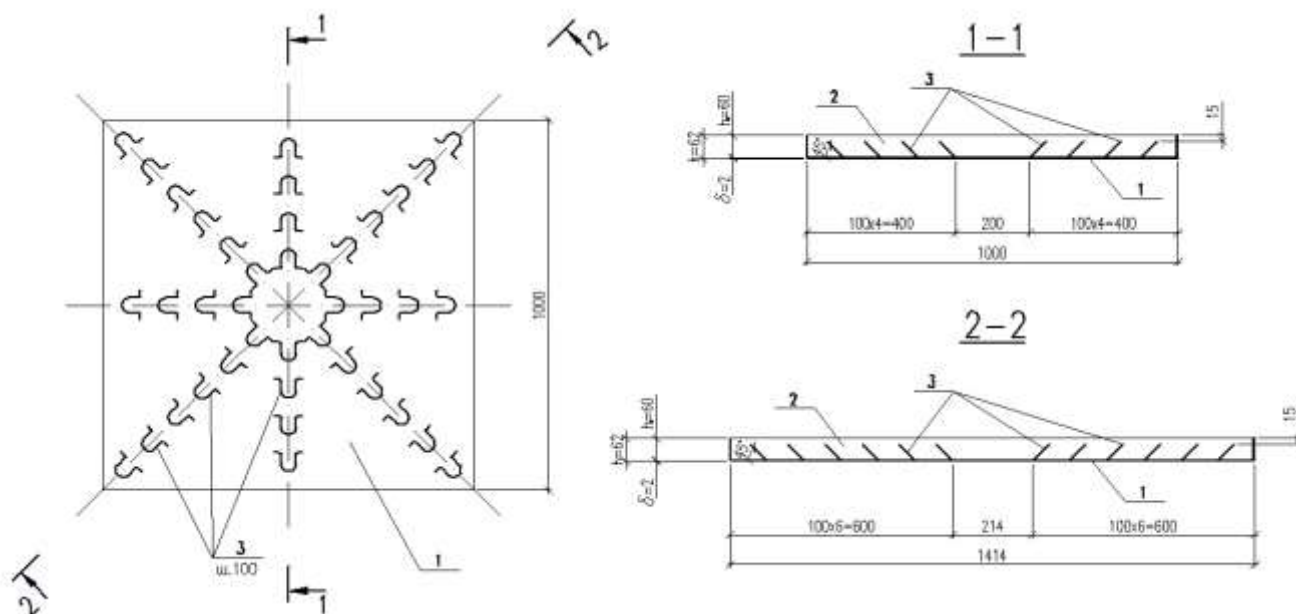


Рис. 4. Конструкція сталобетонних плит ПШ100-1, ПШ100-2, ПЗ100-1 і ПЗ100-2: 1 – металевий лист, 2 – бетон, 3 – петльові анкери

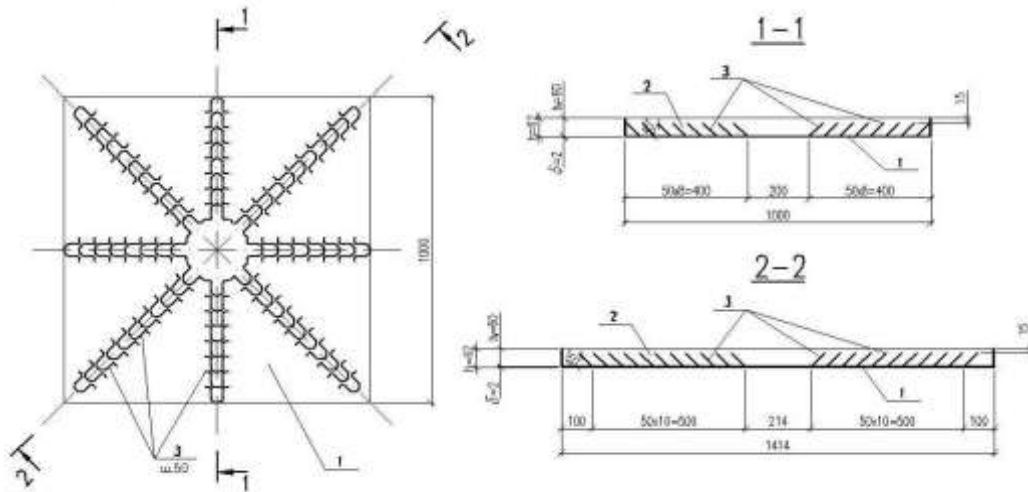


Рис. 5. Конструкція сталобетонних плит ПШ50-1, ПШ50-2, ПЗ50-1, ПЗ50-2: 1 – металевий лист, 2 – бетон, 3 – петльові анкери

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 ПШ100-1, ПШ100-2	Плити ПШ50-1, ПШ50-2, ПЗ100-1, ПЗ100-2, ПЗ50-1, ПЗ50-2
Границя міцності на стиск (кубикова міцність) R_b , МПа	40,7	40,1
Нормативна границя міцності на стиск (кубикова міцність) R_p^n , МПа	33,4	22,7
Границя міцності на стиск (призмова міцність) R_b , МПа	31,2	21,6
Нормативна границя міцності на стиск (призмова міцність) R_p^n , МПа	24,3	16,8
Границя міцності на розтяг R_{bt} , МПа	5,69	5,43

Модуль пружності $E_b \times 10^4$, МПа	3,37	3,29
Коефіцієнт поперечної деформації ν_b	0,18	0,18

Зразки плит були випробувані на спеціальній установці, схема якої наведена на рис. 6. Конструкція є самоврівноваженою системою, яка складається з основи 1, до якої приварена навантажувана рама 2. На основу 1 за допомогою болтів 6 жорстко кріпилися квадратні накладки 3 для шарнірного обпирання плит ПШ100-1, ПШ100-2, ПШ50-1, ПШ50-2 по кутах. Випробування плит проводили на дію зосередженої сили, яка була прикладена в геометричному центрі плити і передавалася через квадратний штамп зі стороною 10 см. Робоче зусилля здійснювалося гідравлічним домкратом 5. Під штампом знаходився шар щільної маслобензостійкої гуми 4 завтовшки 1 см для запобігання продавлюванню бетону під штампом. Жорстке закріплення кутів плит ПЗ100-1, ПЗ100-2, ПЗ50-1, ПЗ50-2 було виконано за допомогою струбцин, спеціально виготовлених для експерименту.

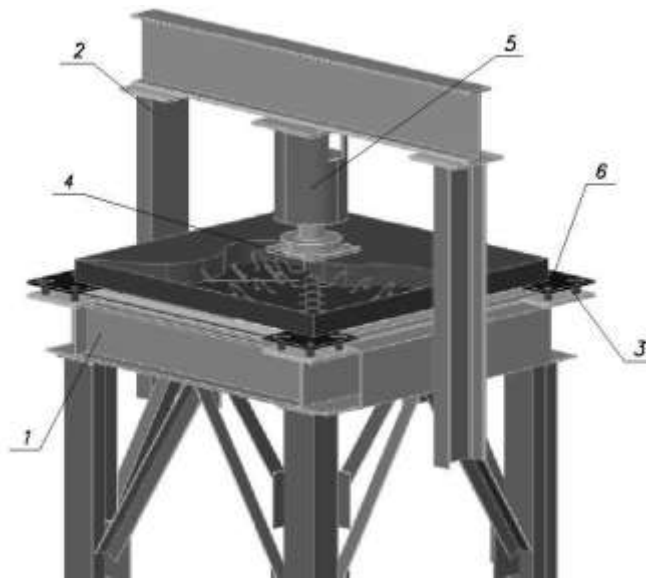


Рис. 6. Загальний вигляд випробувальної установки

Випробування проводили навантаженням зразків ступенями. Крок прикладання навантаження не перевищував 10 % від передбачуваного руйнівного навантаження. Вертикальні переміщення точок плити фіксувалися вздовж осі симетрії і по кутах індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм і прогиномірами Аїстова. Деформації плити визначалися за методом електротензометрії. Показання тензорезисторів реєструвалися за допомогою багатоканальної вимірювальної системи ВВП-9. Прогини вимірювалися в середині плити під прикладеним навантаженням індикатором годинникового типу.

В результаті випробування дослідних зразків плит було отримано дані про їх деформування під навантаженням (рис. 7).

Аналіз діаграми «навантаження-прогин» дозволяє відзначити, що переміщення плит кожної серії носили різний характер. Найбільше навантаження витримують плити з кроком анкерів 50 мм.

На підставі схем тріщиноутворення і послідовності розвитку пластичних властивостей у листі зроблено висновок, що схеми граничного стану при руйнуванні сталобетонних зразків збігаються з прийнятими в теоретичній частині.

У табл. 2 наведено порівняльні результати визначення руйнівних навантажень дослідженим і розрахунковим шляхом, а також при розрахунку за допомогою програмного комплексу «ЛІРА».

Таблиця 2

Порівняння експериментальних і теоретичних значень
несучої здатності сталобетонних плит

№ плити	F_E , кН	$F_{теор}$, кН	$F_{теор}$ ЛІРА, кН	$\Delta = \frac{F_{теор} - F_3}{F_3}$ %	$\Delta = \frac{F_{теор} \text{ ЛІРА} - F_3}{F_3}$ %
ПШ100-1	109	119	113	9,1	3,7
ПШ100-2	111			7,2	1,8
ПШ50-1	116	118	117	1,7	0,9
ПШ50-2	115			2,6	1,7
ПЗ100-1	115	125	119	8,6	3,5
ПЗ100-2	117			6,8	1,7
ПЗ50-1	121		123	3,3	1,6
ПЗ50-2	119			3,4	3,4

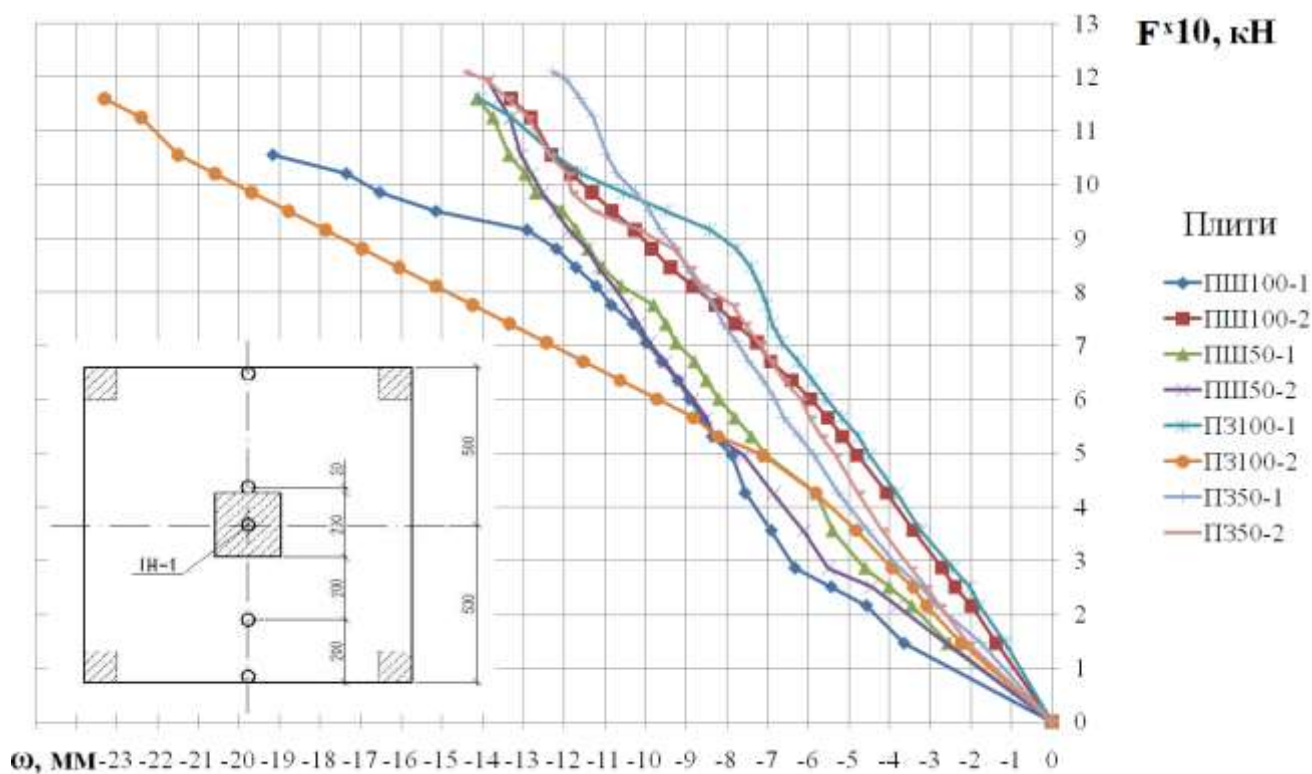


Рис. 7. Показання індикатора ІН-1 в геометричних центрах плит

Розрахункове значення руйнівного навантаження, яке отримане методом скінченних різниць, декілька перевищує експериментальне за рахунок припущення про спільну роботу бетону і металевого листа (при кроці анкерів 100 мм розбіжність становить до 9 %). При кроці анкерів 50 мм, коли сталева плита і бетон працюють сумісно, розбіжність з експериментом не перевищує 3,5 %. Руйнування, як і в експерименті, відбувається, починаючи від центру плит внаслідок великих деформацій під штампом.

Результати чисельного експерименту з використанням програмного комплексу «ЛІРА» (рис. 8-13) дають кращий збіг руйнівного навантаження з експериментальним (похибка до 4,5 % при будь-якому кроці анкерів), оскільки математична модель плити, закладена в програму, описує всі особливості конструкції. Такий збіг свідчить про адекватність запропонованої моделі.

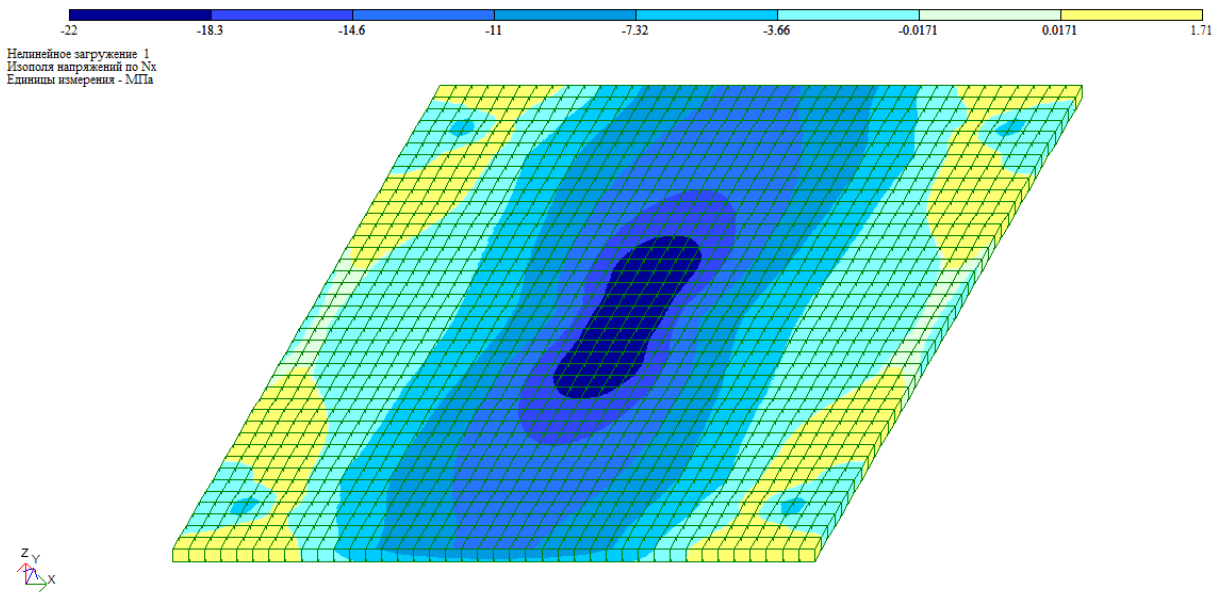


Рис. 8. Изополя напряжений σ_x , МПа в стиснутій зоні бетону плити, шарнірно-обіпертої по кутах

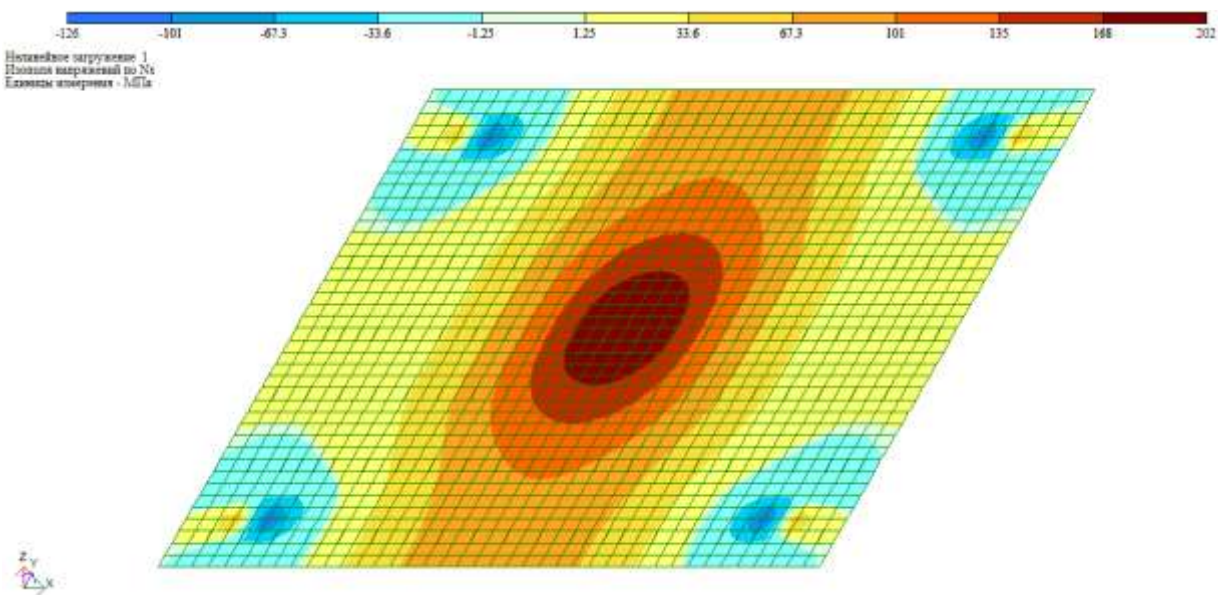


Рис. 9. Ізополя напружень σ_x , МПа в металевому листі плити, шарнірно-обіпертої по кутах

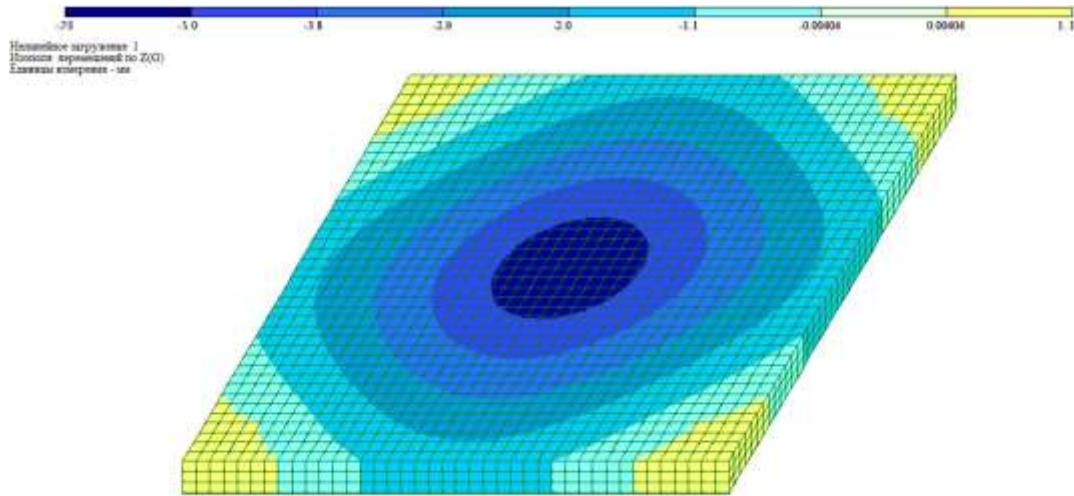


Рис. 10. Ізополя пргинів плити, шарнірно-обіпертої по кутах

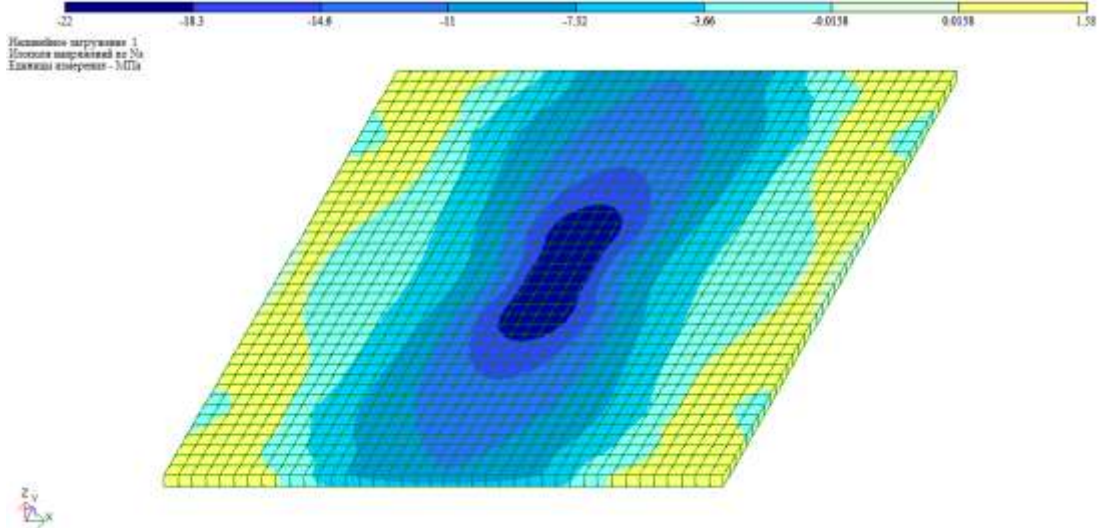


Рис. 11. Ізополя напружень σ_x , МПа в стиснутій зоні бетону плити, затисненої по кутах

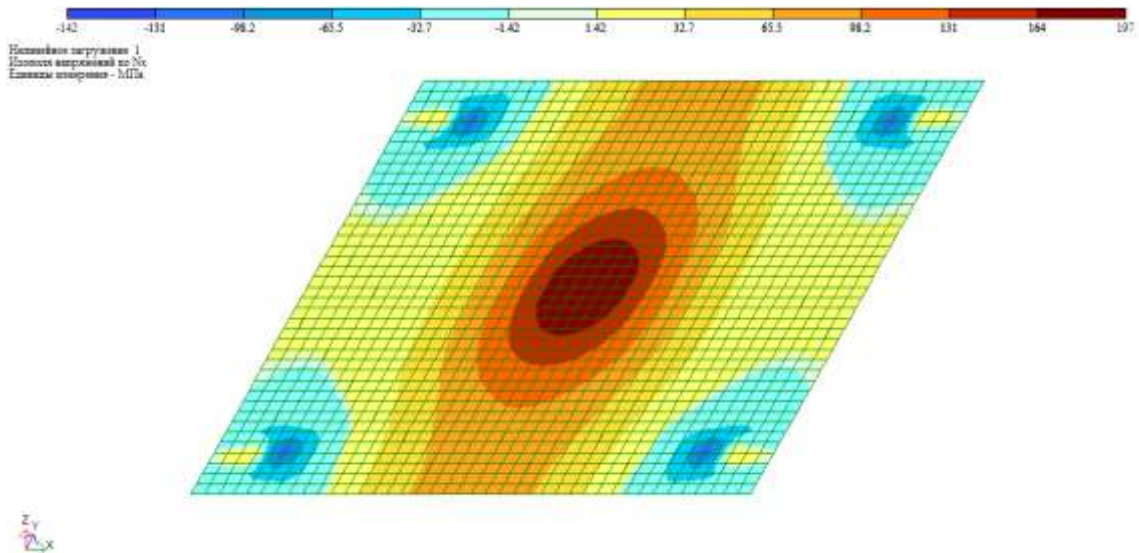


Рис. 12. Ізополя напружень σ_x , МПа в металевому листі плити, затисненої по кутах

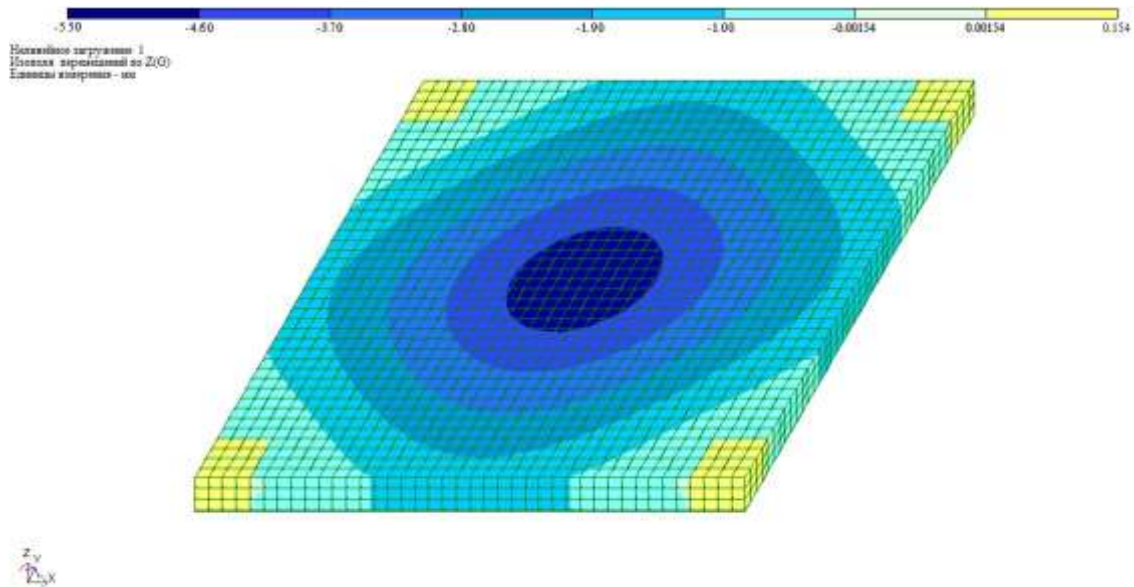


Рис. 13. Ізополя прогинів плити, затисненої по кутах

Порівняння отриманих результатів з експериментальними дає підставу стверджувати, що реалізована розрахункова методика на основі теоретичних передумов є прийнятною для дослідницьких задач з визначення напружено-деформованого стану плит.

Четвертий розділ містить опис використання зовнішнього металевих армування в будівельній практиці; порівняння ефективності роботи сталобетонних і залізобетонних плит, впровадження сталобетонної плити.

За допомогою програмного комплексу «ЛІРА» було запроєктовано та розраховано монолітну залізобетонну плиту розмірами в плані 6×6 м і товщиною 300 мм, відсоток армування дорівнював 2,54 %. Використовувався бетон класу С30/35, як і в запропонованій сталобетонній плиті. Сталобетонна плита з товщиною бетонного шару 300 мм розраховувалася з тим же відсотком армування.

Ізополя прогинів представлено на рис. 14-17.

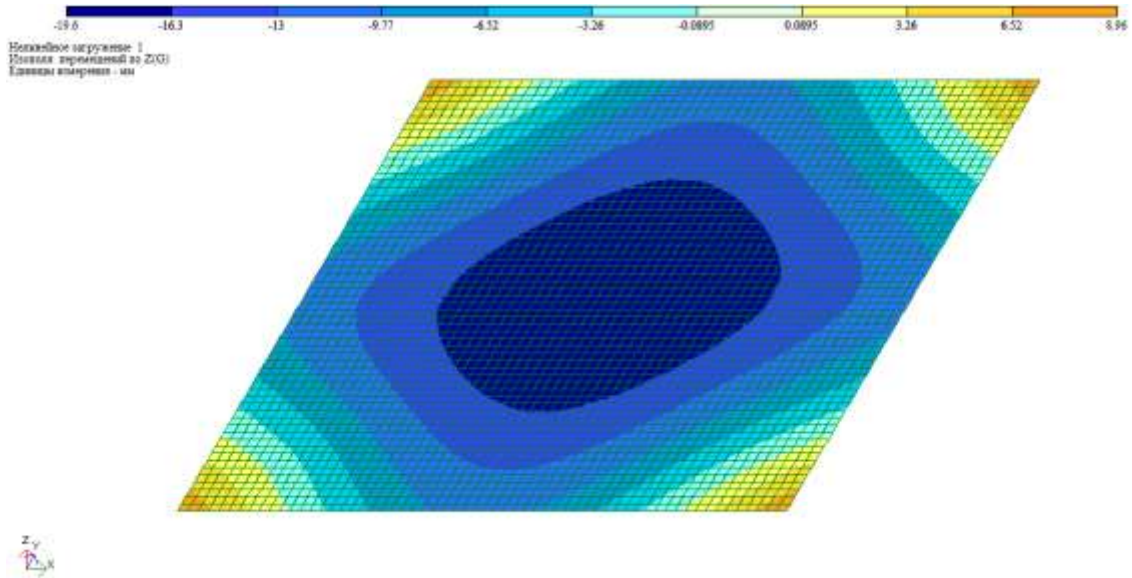


Рис. 14. Ізополя прогинів залізобетонної плити, шарнірно-обіпертої по кутах

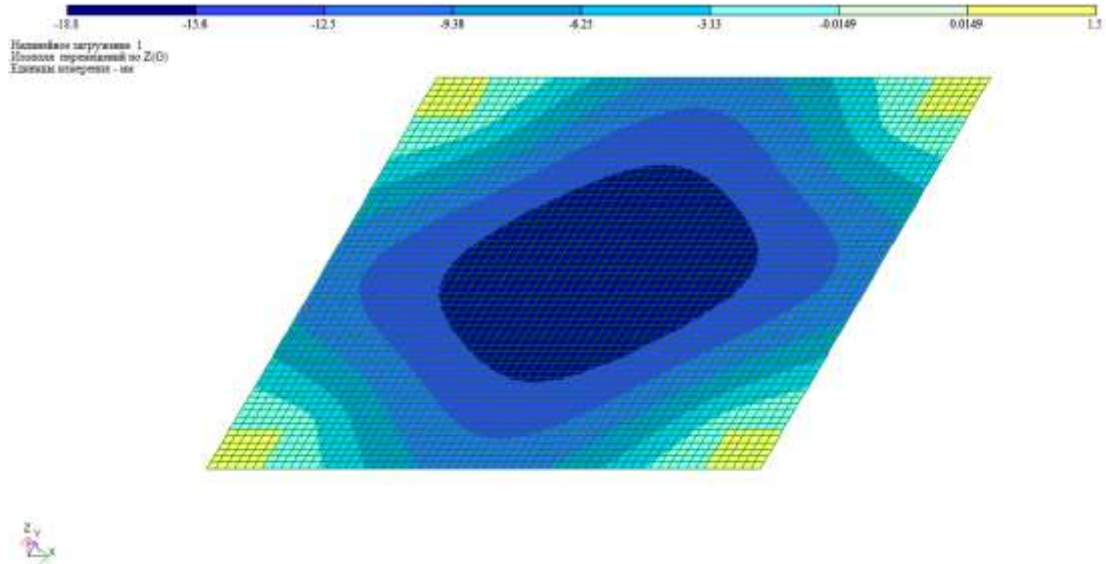


Рис. 15. Ізополя прогинів залізобетонної плити, затисненої в кутах

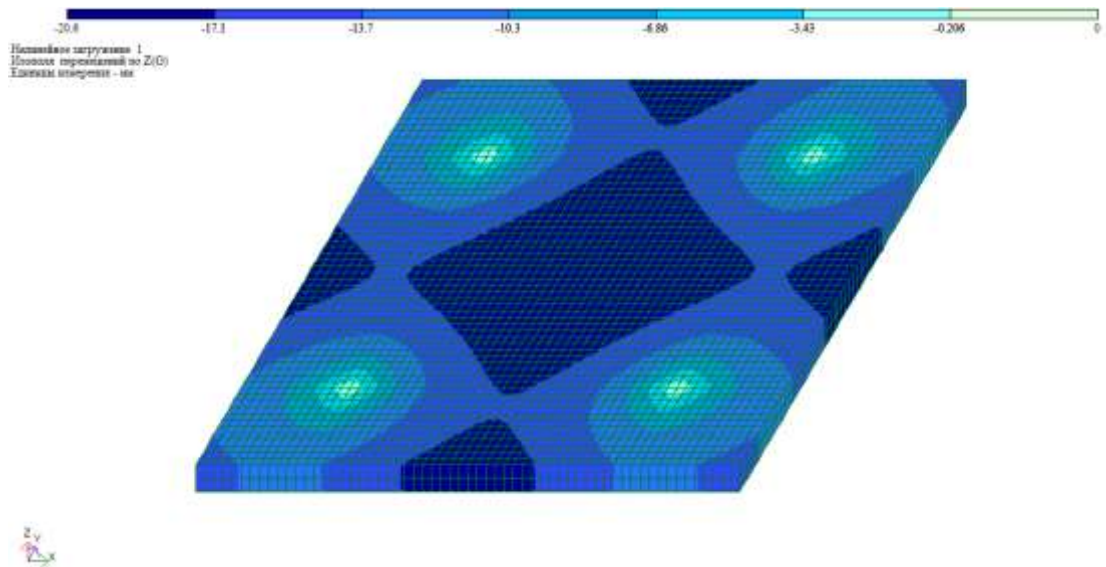


Рис. 16. Ізополя прогинів сталобетонної плити, шарнірно-обіпертої по кутах

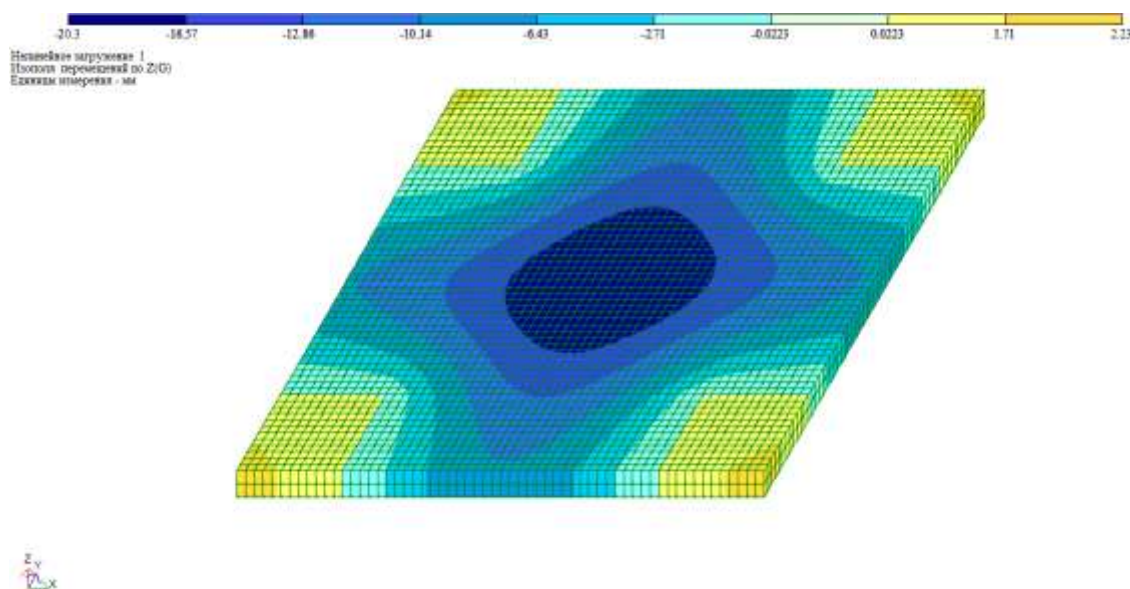


Рис. 17. Ізополя прогинів сталобетонної плити, затисненої в кутах

Плити завантажувалися рівномірно розподіленим по всій поверхні навантаженням. В ході розрахунків визначалися руйнівне навантаження, прогини, напруження.

Результати порівняння свідчать про те, що заміна стержневого армування на листове в плитах, закріплених по кутах, призводить до суттєвого підвищення їх міцності. Так, несуча здатність сталобетонної плити в 2,7–3 рази більше, ніж залізобетонної при однаковій матеріаломісткості. При цьому прогини на момент руйнування практично співпадають.

Запропонована конструкція сталобетонної плити забезпечує економію металу і зниження трудомісткості виготовлення в порівнянні з монолітними залізобетонними плитами.

ВИСНОВКИ

1. Проведений огляд літературних джерел дозволяє стверджувати, що розробка нових конструктивних рішень сталобетонних плит перекриттів і покриттів є актуальною задачею, спрямованою на зниження ресурсомісткості будівництва.

2. Розроблено математичну модель комбінованої системи в плоскій постановці. Методом скінченних різниць досліджено напружено-деформований стан сталобетонної плити.

3. Розроблена розрахункова модель сталобетонних плит та оцінено їх напружено-деформований та граничний стани методом скінченних елементів.

4. Розроблено методику чисельної оцінки несучої здатності квадратних сталобетонних плит за методом граничної рівноваги.

5. Розроблено конструкцію сталобетонних плит, в яких спільна робота бетонного шару і металевого листа забезпечується за рахунок анкерних упорів, приварених під кутом 45° до листа з різним кроком.

6. Проведено експериментальні дослідження сталобетонних плит, квадратних в плані, опертих по кутах, з різним кроком та розташуванням анкерних упорів, і навантажених за допомогою штампа. В результаті встановлена закономірність деформування, тріщиноутворення і вичерпання несучої здатності. Також в

результаті випробувань встановлено, що найбільшу несучу здатність мають плити з кроком анкерів 50 мм (1/20 сторони плити). Такий крок забезпечує руйнівне навантаження таке саме, як при спільній роботі. Експериментальні дослідження підтвердили адекватність математичних моделей і запропонованих чисельних методів розрахунку.

7. Запропоновану конструкцію впроваджено при проектуванні платформи вагонних ваг на УА ТОВ «КОДА».

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні публікації:

1. Чихладзе Э.Д. Изгиб сталебетонных плит / Э.Д. Чихладзе, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 122. – С. 266-269.
Особистий внесок: виконано чисельний аналіз напружено-деформованого стану поперечно навантаженої тонкої сталебетонної плити.
2. Чихладзе Э.Д. Предельное состояние композитных пластинок / Э.Д. Чихладзе, С.Ю. Берестянская, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Наук.-техн. зб. «Комунальне господарство міст». – Харків, 2011. – Вип. 99. – С. 442-447.
Особистий внесок: отримано вирази для визначення положення нейтральної осі композитних пластинок.
3. Чихладзе Э.Д. Напряжённо-деформированное состояние сталебетонных пластинок / Э.Д. Чихладзе, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 125. – С. 5-12.
Особистий внесок: отримано залежності для визначення напружень і деформацій сталебетонних пластинок.
4. Китов Ю.П. Расчёт тонких сталебетонных плит как упругих двухслойных композитных пластинок / Ю.П. Китов, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Сб. научн. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – Днепропетровск, 2011. – Вип. 61. – С. 213-218.
Особистий внесок: виконано чисельний розрахунок сталебетонної тонкої плити.
5. Петрушевська А.А. Експериментальні дослідження квадратних сталебетонних плит / А.А. Петрушевська, Є.В. Ігнатенко // Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 384-389.
Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження квадратних сталебетонних плит.
6. Веревічева М.А. Числове оцінювання напружено-деформованого стану квадратної бетонної плити із зовнішнім армуванням сталевим листом / М.А. Веревічева, А.А. Петрушевська // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип. 129. – С. 247.

Особистий внесок: виконана чисельна оцінка напружено-деформованого стану сталобетонної плити.

7. Пат. 72173 Україна, МПК Е 04 С 2/08. Сталобетонна 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 експериментальну оцінку способів об'єднання сталевих листа та бетонного шару.

Апробаційного характеру:

1. Петрушевська А.А. Експериментальні дослідження роботи квадратних плит з зовнішнім листовим армуванням при силовому навантаженні / А.А. Петрушевська // Сб. науч. трудов «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы III Междунар. научн.-техн. интернет-конф.». – Харьков: ХНАГХ, 2012. – С. 142-144.
2. Петрушевская А.А. Экспериментальные исследования фрагментов сталобетонных перекрытий / А.А. Петрушевская // Сб. научн. тр. SWorld. Материалы междунар. научн.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Вып. 4. – Том 47. Искусствоведение, архитектура и строительство. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 74-77.
3. Петрушевская А.А. Исследование работы квадратной сталобетонной плиты при силовом нагружении / А.А. Петрушевская // Материалы международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». – Пермь, 2012. – Т.4. – С. 67-73.
4. Вереvичева М.А. Чисельне та експериментальне оцінювання напружено-деформованого стану квадратної сталобетонної плити / М.А. Вереvичева, А.А. Петрушевська // Збірник тез доповідей III Міжнар. конф. «Науково-технічне та організаційно-економічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві». – Макіївка, 2012. – Ч. I. – С. 233-235.

Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження сталобетонних плит, проведено аналіз отриманих даних щодо характеру напружено-деформованого стану плит.

Додаткові публікації:

1. Опанасенко О.В. Визначення несучої здатності сталобетонних елементів прямокутного поперечного перерізу з використанням діаграм граничних станів / О.В. Опанасенко, А.А. Петрушевська // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – №664. – С. 124-127.
Особистий внесок: виконано оцінку несучої здатності стержневих сталобетонних конструкцій прямокутного поперечного перерізу.
2. Китов Ю.П. Расчёт тонких сталобетонных плит при малых уровнях напряжённого состояния / Ю.П. Китов, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 122. – С. 293-298.
Особистий внесок: виконано розрахунок тонкої сталобетонної плити.

АНОТАЦІЯ

Петрушевська А.А. Напружено-деформований стан сталобетонних безбалкових перекриттів. – 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 МОН України, Харків, 2013.

Дисертація присвячена теоретично-експериментальним дослідженням сталобетонних квадратних плит в умовах статичного короткочасного навантаження.

У роботі запропоновано математичну модель сталобетонної плити для дослідження її напружено-деформованого стану. Теоретичною основою визначення прогинів є рівняння, аналогічне рівнянню Софі Жермен на площині з урахуванням композитності плити при визначенні жорсткості. Запропоновано алгоритм, написано програму розрахунку плоского напружено-деформованого стану сталобетонної плити. Розроблено розрахункову модель оцінки напружено-деформованого стану сталобетонної плити за допомогою програмного комплексу «ЛІРА».

Розроблено методику оцінки несучої здатності квадратних сталобетонних плит методом граничної рівноваги. Проведено експериментальні дослідження квадратних сталобетонних плит та отримано дані про характер напружено-деформованого стану, тріщиноутворення і граничний стан конструкції. Проведені випробування дозволили оцінити вплив кроку анкерних упорів на несучу здатність і деформативність сталобетонних плит.

Отримано задовільний збіг експериментальних результатів і розрахунків, що дозволяє зробити висновок про відповідність математичної моделі досліджуваному процесу руйнування плити. Результати дисертаційної роботи впроваджено в практику проектування і будівництва.

Ключові слова: безбалкові перекриття, сталобетонна квадратна плита, несуча здатність, напружено-деформований стан, композитні пластини, умови обпирання, метод скінчених різниць, метод скінчених елементів, експериментальні дослідження.

АННОТАЦИЯ

Петрушевская А.А. Напряжённо-деформированное состояние сталобетонных безбалочных перекрытий. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена теоретико-экспериментальным исследованиям сталобетонных квадратных плит в условиях статического кратковременного нагружения.

Проведенный обзор литературных источников позволяет сделать вывод о том, что существенной проблемой сталобетонных конструкций является объединение

плоского стального листа с бетоном. Этот вопрос требует детального рассмотрения и новых решений. Недостаточно изучена жесткость и прочность композитных плит с внешним армированием с учетом плоского напряженного состояния.

В работе предложена математическая модель сталебетонной плиты для исследования её напряжённо-деформированного состояния. Теоретической основой определения прогибов является уравнение, аналогичное уравнению Софи Жермен на плоскости с учётом композитности плиты при определении жесткости.

Предложен алгоритм и написана программа расчёта плоского напряжённо-деформированного состояния сталебетонной плиты итерационным методом, на каждом шаге которого уточняются механические характеристики бетона и решается уравнение Софи Жермен на плоскости совместно с граничными условиями конечно-разностным методом.

Разработана расчётная модель сталебетонных плит с использованием метода конечных элементов; при помощи программного комплекса «ЛИРА» оценено напряжённо-деформированное и предельное состояния.

Разработана методика оценки несущей способности квадратных сталебетонных плит методом предельного равновесия.

В результате экспериментальных исследований квадратных сталебетонных плит были получены данные о характере их напряженно-деформированного состояния на различных этапах нагружения, а также данные о характере трещинообразования и предельном состоянии конструкции. Исследование полученных данных позволило оценить влияние шага анкерных упоров на несущую способность и деформативность сталебетонных плит. Можно сделать вывод об эффективности использования плит с шагом анкерных упоров 50 мм (1/20 стороны плиты), так как по результатам исследования они имеют наибольшую несущую способность и наименьшую деформативность.

Получено удовлетворительное совпадение экспериментальных результатов и расчётов, полученных при помощи программного комплекса «ЛИРА» и методом конечных разностей, что позволяет сделать вывод о соответствии математической модели исследуемому процессу разрушения плиты.

Сравнение прочности и жёсткости сталебетонных и монолитных железобетонных плит на основании численного эксперимента даёт возможность сделать вывод о более эффективной работе сталебетонной плиты по сравнению с железобетонной: при одинаковом расходе бетона и проценте армирования сталебетонные плиты несут нагрузку в 2,7–3 раза большую, чем железобетонные. При этом прогибы на момент разрушения практически совпадают.

Предложенная конструкция сталебетонной плиты обеспечивает экономию металла и снижение трудоёмкости изготовления по сравнению с монолитными железобетонными плитами.

Результаты диссертационной работы внедрены в практику проектирования и строительства.

Ключевые слова: безбалочные перекрытия, сталебетонная квадратная плита, несущая способность, напряжённо-деформированное состояние, композитные пластины, условия опирания, метод конечных разностей, метод конечных элементов, экспериментальные исследования.

ABSTRACT

Alla Petrushevskaya. The stress-strain state of steel-concrete beamless slabs. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.01 – constructions, buildings and structures. – Ukrainian State Academy of Railway Transport MONmolodezhisporta of Ukraine, Kharkov, 2013.

The thesis is devoted to theoretical and experimental research steel-concrete square plates under static load short.

The mathematical model steel-concrete plate to explore its stress-strain state is proposed. The theoretical basis for determining the deflection equation is similar to equation Sophie Germain on the plane considering composite boards in determining stiffness. The algorithm, written program for calculating flat stress-strain state steel-concrete plate. The developed simulation model estimates the stress-strain state steel-concrete plates using software complex "LIRA".

The method of assessment of carrying capacity steel-concrete square plates by limiting equilibrium is proposed. Experimental research steel-concrete square plates and received data on the nature of the stress-strain state, cracking and limit state design. Tests allowed to evaluate the effect of anchor step emphasis on carrying capacity and deformability steel-concrete plates.

The satisfactory coincidence of experimental and calculated data suggests the appropriateness of the mathematical model studied process fracture plates. The results of the thesis into practice design and construction.

Key words: beamless slabs, steel-concrete square plate, carrying capacity, the stress-strain state, the composite plate, support conditions, finite-difference method, the method of finite elements, experimental researches.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
СТАЛЕБЕТОННИХ БЕЗБАЛКОВИХ ПЕРЕКРИТТІВ**

Петрушевська Алла Андріївна

Відповідальний за випуск
Романенко В.В.

Підписано до друку __.__.13 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів.
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,25.
Замовлення №_____. Тираж 100.

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