УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

СМОЛЯНЮК НАДІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 624.016.073

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ І ГРАНИЧНИЙ СТАНИ СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі мостів, конструкцій і будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

– доктор технічних наук, професор

Чихладзе Елгуджа Давідович, завідуючий кафедрою будівельної механіки і гідравліки Української державної академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

– доктор технічних наук, професор

Молодченко Геннадій Анатолійович, завідуючий кафедрою будівельних конструкцій Харківської державної академії міського господарства;

– кандидат технічних наук, доцент

Кириленко Віталій Федорович, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Кримської академії природоохоронного і курортного будівництва.

Провідна установа:

– Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки України, кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій.

Захист відбудеться **25 грудня 2003 р.** о **14 $\underline{00}$ годині** на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий 17 листопада 2003 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради канд. техн. наук, доцент Ватуля Г. Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з найважливіших напрямків технічного прогресу в будівництві є вживання ефективних конструкцій, що дозволяють значно поліпшити показники матеріалоємності, вартості і трудомісткості. До числа таких конструкцій відносяться конструкції із зовнішнім армуванням. Використання зовнішнього армування припускає надійне об'єднання бетону з армуючим листом. Існуючі способи об'єднання (одностороннє рифлення сталі в процесі її прокатки; приварювання до листа різних об'єднувальних деталей – упорів, анкерів і т.д.; використання клеїв і ін.) в одних випадках зв'язані із застосуванням складної технології, в інших – з використанням дорогих матеріалів, в третіх – з виникненням в технологічному процесі температурних напружень і деформацій. У зв'язку з цим розробка нових конструктивних рішень сталебетонних плит, вільних від відзначених недоліків, і дослідження їх роботи є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота була виконана в рамках наукової теми “Розробка способів посилення аварійних та передаварійних споруд та методів оцінки їх несучої здатності після посилення з урахуванням реальних властивостей матеріалів”, реєстраційний номер 0102V002542 – 02. *Особистий внесок* – участь в дослідженнях споруд і чисельні розрахунки несучої здатності плит перекриття.

Метою роботи є розробка нових конструктивних рішень плит перекриттів із зовнішнім листовим армуванням, у яких об'єднання сталевого листа з бетоном здійснюється за допомогою відігнутих просічок, і математичного апарату для оцінки напружено-деформованого і граничного станів.

Задачі досліджень. Для досягнення поставленої в роботі мети були поставлені наступні задачі:

1. Розробити конструкцію сталебетонного перекриття, яка б забезпечила спільну роботу тонкого листа і бетонного шару за допомогою відігнутих просічок.
2. Експериментально на зразках вивчити особливості роботи сталебетонних плит перекриттів з різними варіантами об'єднання плоского листа з бетоном за допомогою просічок.
3. На підставі отриманих даних виконати аналіз процесу деформування, а також схем руйнування.
4. Розробити розрахункову модель сталебетонного перекриття. За допомогою програмного комплексу Structure CAD для Windows провести оцінку напружено-деформованого і граничного станів.
5. Дослідити несучу здатність з умови міцності нормальних перерізів і контакту сталевого листа з бетоном методом граничної рівноваги.

6. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень зробити оцінку ступеня впливу запропонованого способу об'єднання на несучу здатність і напружено-деформований стан перекриттів, у тому числі в порівнянні з перекриттями, в яких об'єднання здійснюється за допомогою анкерних упорів.

7. Упровадити результати досліджень в практику проектування і розрахунку сталебетонних перекриттів.

Об'єкт дослідження. Сталебетонна плита перекриття.

Предмет дослідження. Напружено-деформований і граничний стани сталебетонної плити перекриття, в якій спільна робота плоского листа і бетону досягається за рахунок відігнутих просічок.

Методи дослідження. Визначення напружено-деформованого і граничного станів сталебетонного перекриття здійснюється теоретичним і експериментальним шляхами. Теоретичні принципи досліджень граничного стану базуються на методі граничної рівноваги, розрахунок напружено-деформованого стану ведеться методом кінцевих елементів за допомогою проектно-обчислювального апарату Structure CAD для Windows. Для експериментального дослідження поставленої задачі випробовувалися зразки плит перекриття з різними варіантами розміщення просічок.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна даних досліджень визначається наступними результатами:

1. Розроблено конструкції і проведено випробування квадратних в плані зразків сталебетонних плит перекриттів з різним розміщенням просічок: віялоподібним, під кутом 90° щодо кромки плити, і по кутах плити.

2. Отримано експериментальні дані про несучу здатність і деформації, які виникають в запропонованих конструкціях плит; визначено, що найбільшу несучу здатність і якнайменшу деформативність мають плити з віялоподібним розташуванням просічок.

3. Отримано експериментальні дані про особливості роботи бетону в просічках: бетон в трикутній шпонці під відігнутою просічкою стислий.

4. Отримано експериментальні дані про роботу відігнутої просічки: в ній виникають деформації розтягання.

5. Отримано дані про роботу стислого бетону: фіброві волокна бетону в середині плити у момент руйнування знаходилися в стані, близькому до граничного (відносні деформації складали 2,2 мм/м).

6. Отримано результати порівняльного аналізу експериментальних даних при випробуваннях запропонованої сталебетонної плити перекриття із сталебетонними плитами, в яких спільна робота

сталевого листа і бетону забезпечувалася анкерними упорами. Несуча здатність плит перекриття з просічками виявилася на 20% більше.

7. На підставі отриманої схеми руйнування розроблено методику оцінки несучої здатності сталебетонного перекриття за допомогою методу граничної рівноваги.

8. Була розроблена розрахункова модель сталебетонних плит на підставі методу кінцевих елементів, за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD оцінено напружено-деформований і обгрунтовано граничний стани.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі отриманих експериментальних і теоретичних даних з'явилася можливість подальшого удосконалення конструкцій перекриттів із забезпеченням їх ефективності і надійності. Квадратна сталебетонная плита перекриття розмірами 6 × 6 м і завтовшки 250 мм упроваджена в проект реконструкції депо "Варшавське" в Москві. Проект реконструкції виконувався ВАТ "Метрогипротранс". Товщина сталевого листа 5 мм. Перекриття із зовнішнім листовим армуванням встановлено на цегляні стіни. Розрахунок показав економічну ефективність сталебетонних плит перекриттів в порівнянні із залізобетонними. При цьому прогин сталебетонної плити в 5 разів менше, ніж в залізобетонній при менших витратах сталі.

Особисто отримані здобувачем результати.

1. На підставі літературних джерел виконано аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку сталебетонних перекриттів цивільних і промислових будівель.

2. Виготовлені експериментальні зразки сталебетонних плит перекриттів, в яких спільна робота сталевого листа і шару бетону забезпечується за рахунок просічок, виконаних в тонкому листі.

3. Проведено експериментальні дослідження квадратних в плані плит із зовнішнім армуванням і різним розташуванням просічок; отримано результати їх порівняльного аналізу між собою і з плитами, де об'єднання листа з бетоном було здійснено за допомогою анкерних упорів.

4. На підставі отриманої схеми руйнування розроблено методику оцінки несучої здатності сталебетонного перекриття методом граничної рівноваги.

5. Розроблено розрахункову модель сталебетонних плит на основі методу кінцевих елементів, за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD оцінено напружено-деформований і обгрунтовано граничний стани.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на:

1. Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії і фахівців залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2002 р.).

2. Четвертій науково-технічній конференції "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди" (м. Рівне, 2003 р.).

3. Міжнародній науково-технічній конференції “Автоматизация проектирования в строительстве и гидротехнике” (м. Одеса, 2003 р.).

4. Міжнародному конгресі “Современные технологи в промышленности строительных материалов и стройиндустрии”, присвяченому 150-річчю В.Г. Шухова (м. Бєлгород, 2003 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 6 наукових роботах. З них 4 – у виданнях, рекомендованих ВАК України для публікації результатів дисертаційних робіт, 1 – в Росії і 1 – доклад на міжнародній науковій конференції.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків і налічує 210 сторінок тексту, з них – 62 сторінки додатків. Основна частина роботи займає 135 сторінок і включає 109 рисунків і 11 таблиць. Список використаних літературних джерел налічує 132 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність, наукову новизну і практичну цінність роботи, дана її загальна характеристика.

В **першому розділі** дисертаційної роботи приводиться огляд літературних джерел, присвячених опису існуючих видів конструкцій сталебетонних перекриттів, області їх застосування, експериментальним дослідженням, основним способам і передумовам розрахунку, а також способам об'єднання листової арматури з бетонним шаром.

Вивченню властивостей комбінованих конструкцій, у тому числі і конструкцій із зовнішнім армуванням листовою сталлю, присвячені роботи Клименко Ф.Е., Воронкова Р.В., Стрелецького Н.Н., Людковського І.Г., Залесова А.С., Чихладзе Е.Д., Скоробогатова С.М., Бочагова В.П., Васильєва А.П., Стороженка Л.І., Шагіна О.Л., Шмуклера В.С., Фомици Л.М., Пустовойтова В.П., Кириленка В.Ф., Молодченка Г.А., Санжаровського Р.С., Бердичевського Г.І., Аншина Л.З., Барабаша В.М., Потера М.Л., Лавсена Р.М., Онга К.С., Лобяк О.В., Берестянської С.Ю., Чернишової Е.В., Веревічевої М.А. та ін.

Огляд накопиченого матеріалу показав, що в сталебетонних конструкціях зчепленню листової арматури з бетоном по довжині контакту надається першорядне значення, оскільки надійний зв'язок є єдиною гарантією експлуатаційної придатності конструкцій. В протилежному випадку, несуча здатність обмежується міцністю об'єднання листа з бетоном. В даний час існують прогресивні зварювальні технології, широко застосовуються в будівництві ефективні синтетичні клеючі засоби, нові види листової арматури. Разом з цим огляд показав, що і ці способи об'єднання мають недоліки, тому необхідні нові конструктивні рішення плит із зовнішнім листовим армуванням.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням напружено-деформованого і граничного станів сталебетонних плит перекриттів.

За допомогою програмно-обчислювального комплексу SCAD були розраховані в пружній стадії роботи бетону сталебетонні плити з безанкерним об'єднанням бетону і сталі (рис.1) і сталевий каркас (до бетонування). Для цього створювалися розрахункові моделі сталебетонних плит і каркаса шляхом розбиття їх на кінцеві елементи, враховуючи умову співвідношення елементів кінцево-елементної сітки не більше 1:10.

Основним результатом, знайденим в процесі розрахунку напружено-деформованого стану сталебетонних плит, з'явилася картина розподілу нормальних і дотичних напружень по полю плити, що дозволила припустити схему зламу в граничному стані (рис.2).

Рис.1. Фрагмент сталебетонної плити перекриття:

1 – сталевий лист;

2 – бортовий елемент;

3 – П-образні просічки;

4 – бетонний шар.

Вважаючи справедливими основні передумови методу граничної рівноваги, в роботі був запропонований наступний спосіб визначення несучої здатності з умови міцності нормальних перерізів.

Граничний момент по лініях пластичних шарнірів (рис.2) визначався за формулою

$$M_u = \int_0^{l_i} A_s \overline{\sigma_s} \left[h_0 - 0{,}5 A_s \overline{\sigma_s} / \overline{R_b} \right] ds, \qquad (1)$$

де li - довжина деякої *i*-тої ділянки пластичного шарніра; A_s – площа поперечного перерізу листової арматури на довжині пластичного шарніра; $\overline{\sigma_s}$ - граничні напруження в сталевому листі в напрямі, який перпендикулярний лінії пластичного шарніра з урахуванням двовісного напруженого стану; $\overline{R_b}$ - граничні напруження в бетоні в напрямі, який перпендикулярний лінії пластичного шарніра з урахуванням двовісного напруженого стану; h_0 - робоча висота перерізу.

Рис.2. Схема зламу сталебетонних плит

Унаслідок ізотропного характеру армування сталебетонних плит, напрям лінії пластичного шарніра можна вважати перпендикулярним до напряму максимальних головних площадок, отже,

величина граничних напружень, що здійснюють роботу на віртуальних переміщеннях, дорівнює напруженням на максимальній головній площадці. Тоді, відповідно до умови пластичності за енергетичною теорією Мізеса, маємо

$$\overline{\sigma_s} = \sigma_{\text{т}} / \sqrt{1 + \eta^2 - \eta}, \tag{2}$$

де $\sigma_{\text{т}}$ – фізична границя текучості при одноосному розтяганні; η - величина співвідношення напружень на головних майданчиках, що змінюється уздовж лінії пластичного шарніра $\eta = \sigma_2 / \sigma_1$.

Як показують чисельні розрахунки, збільшення міцності бетону до 30%, яке відповідає двовісному стисненню, майже не позначається на величині граничного моменту, тому у формулі (1) можна прийняти, $\overline{R_b} = R_b$, де R_b – міцність бетону при одноосному стисненні. Таке допущення справедливо також і для кутових зон плити, де після утворення тріщин у напрямку дії негативного згинаючого моменту M_2, робота стислого бетону у напрямі дії моменту M_1 близька до одноосної. Відповідно до представленої схеми зламу (рис. 2) складемо рівняння, що характеризують роботу зовнішніх і внутрішніх сил на одиничному переміщенні

$$A = 4\sum_{i=1}^{n} M_i l_i \alpha_3 + 2\sum_{j=1}^{m} M_j l_j \alpha_1 + 2\sum_{\gamma}^{k} M_\gamma l_\gamma \alpha_2 \ , \tag{3}$$

$$\text{V} = \text{q}\ (a_1 b_1 - a_2 b_2)\ , \tag{4}$$

де A – робота внутрішніх сил; V – робота зовнішніх сил; $\alpha_3 = \alpha_1 \cos\varphi + \alpha_2 \sin\varphi$ – кут взаємного повороту суміжних дисків уздовж лінії AA′; $\alpha_1 = \dfrac{2}{(b - b_1)}$ – кут взаємного повороту суміжних дисків уздовж лінії A′D′; $\alpha_2 = \dfrac{2}{(a - a_1)}$ – кут взаємного повороту суміжних дисків уздовж лінії A′B′; $tg\varphi = \dfrac{(b - b_1)}{(a - a_1)}$ - кількісна характеристика, що визначає якісну схему, яка знаходиться з умови мінімуму руйнуючого навантаження; n, m, k – число відрізків на лінії пластичного шарніра; l_{i} – величина відрізка по лінії AA′; l_{j} – величина відрізка по лінії A′D′; l_γ – величина відрізка по лінії A′B′; q – інтенсивність рівномірного навантаження.

Прирівнюючи (3) і (4), отримаємо вираз для розподіленого по замкнутій смузі руйнуючого навантаження з умови міцності за нормальним перерізом:

$$q_H = 4\left[M_1(ctg\varphi + tg\varphi) + a_1 M_2 /(b - b_1) + b_1 M_3 /(a - a_1)\right]/(a_1 b_1 - a_2 b_2), \quad (5)$$

де $M_1 = \sum_{i=1}^{n} \overline{M_i} / n; \quad M_2 = \sum_{j=1}^{m} \overline{M_j} / m; \quad M_3 = \sum_{\gamma=1}^{k} \overline{M_\gamma} / k;$

$tg\varphi = (b - b_1)/(a - a_1).$

В дисертації був отриманий аналогічний вираз для навантаження, рівномірно розподіленого за всією площею плити. Для визначення величини η використовувалося рішення для пружної пластини, виконане за допомогою програмного комплексу Structure CAD для Windows.

Контакт сталевого листа із бетоном здійснювався в місцях відгину просічок. Для ліній відгинів, розташованих паралельно опорному контуру, можна прийняти кінематичну схему граничного стану, аналогічну показаній на рис. 2. Тепер можна знайти несучу здатність з умови міцності контакту.

Робота зовнішніх сил:

$$V = q\ (a_1 b_1 - a_2 b_2). \quad (6)$$

Робота внутрішніх сил складалася з роботи просічок $A_{пр}$ і роботи зусиль, що виникають в поперечному перерізі унаслідок зламу $A_{зл}$. Робота просічок виражалася залежністю:

$$A_{пр} = 2\,\tau_a(\Gamma_1 S_1 + \Gamma_2 S_2), \quad (7)$$

де τ_a – граничне зусилля на площі контакту; Γ_1 – зсув по контакту по лінії B′A′; Γ_2 – зсув по контакту по лінії C′B′; S_1 – площа контакту листової арматури і бетону по лінії B′A′; S_2 – площа контакту листової арматури і бетону по лінії C′B′.

З метою спрощення, без істотної погрішності, можна вважати граничні напруження в бетоні постійними уздовж лінії пластичного шарніра і рівними міцності бетону при одноосному стисненні R_b. Тоді, умова рівності нулю всіх сил, прикладених до дисків BCC′B′ і ABB′A′ (рис.3) має вигляд:

$$R_b \bar{x} a = \tau_a S_1, \quad R_b \bar{x} b = \tau_a S_2 \ , \quad (8)$$

де $\bar{x}$ - середня висота взаємодії дисків.

З простих геометричних міркувань виходить:

$$\Gamma_1 = \alpha_1(h_b - \bar{x}), \quad \Gamma_2 = \alpha_2(h_b - \bar{x}), \tag{9}$$

$$S_1 = \delta_1 c_1 \Theta_1, \quad S_2 = \delta_2 c_2 \Theta_2, \tag{10}$$

е h_b – висота бетонного шару; x – висота стислої зони бетону; δ_1 – товщина просічення по стороні a_1; c_1 – ширина просічок по стороні a_1; Θ_1 – кількість просічок на довжині a_1; δ_2 – товщина просічок по стороні b_1; c_2 – ширина просічок по стороні b_1; Θ_2 – кількість просічок на довжині b_1.

Підставивши 9 і 10 в 7 отримаємо вираз для роботи зв'язків зсуву:

$$A_{np} = 2\tau_a(h_b - \bar{x})(\alpha_1\delta_1 c_1\Theta_1 + \alpha_2\delta_2 c_2\Theta_2). \tag{11}$$

Робота зусиль стислої зони бетону:

$$A_b = \sum_{i=1}^{8} \overline{M}\alpha_i l_i \tag{12}$$

Рис. 3. Гранична рівновага сталебетонної плити при руйнуванні за міцністю контакту сталевого листа з бетоном

Складаючи 11 з 12 і прирівнюючи отриманий результат виразу 6 після простих перетворень отримано рівняння для визначення руйнуючого навантаження з умови міцності контакту:

$$q_k = 2\tau_{à}(h_b - 0.5\bar{x})(\alpha_1\delta_1 c_1\Theta_1 + \alpha_2\delta_2 c_2\Theta_2)/(a_1 b_1 - a_2 b_2). \tag{13}$$

З метою оптимального проектування кількість просічок, які виконуються в сталевому листі, необхідно визначати з умови рівності граничних навантажень за нормальним перетином (5) і за контактом (13).

В **третьому розділі** дисертації описано експериментальні дослідження сталебетонних плит перекриттів, які були проведені в лабораторії кафедри будівельної механіки і гідравліки Української державної академії залізничного транспорту. Метою проведення даних досліджень

було визначення: несучої здатності квадратних в плані сталебетонних плит перекриттів, в яких зв'язок сталевого листа з бетоном здійснювався за рахунок прямокутних просічок, вирізаних з листа; закономірностей деформування і вичерпання несучої здатності плит при різних схемах розташування і конфігурації просічок; тріщиноутворення в бетоні і пластичних властивостей в сталевому листі; прогинів і деформацій до і після моменту утворення перших тріщин; схем руйнування зразків плит перекриттів.

Рис. 4. Металевий лист з просічками, розташованими віялоподібно (плита П-2):

1 - металевий лист;

2 - відбортівки;

3 - П-образні просічки.

Експериментальні дослідження проводилися на 9 дослідних зразках квадратних сталебетонних плит (П-1 – П-9) з розмірами в плані 1,0 × 1,0 м і висотою 0,05 м. Товщина сталевого листа – 1 мм. Зчеплення плоского сталевого листа з відбортівками і розміщеного на цьому листі бетонного шару досягалося за рахунок П-образних просічок шириною 20 мм, виконаних в металевому листі (рис.4). Оскільки основа кожної просічки розміщувалася на листі, а відігнута кромка просічок – на відбортівках, по периметру сталевого листа утворилися трикутні шпонки (рис.5). Відігнуті кромки прорізів приварювалися до відбортівок ручною електродуговою зваркою.

Рис. 5. Армоопалубочний елемент плити, заповнений бетоном:

1 - металевий лист;

2 - відбортівки;

3 - П-образні просічки;

4 - бетон;

5 - трикутна шпонка.

Розглядалися наступні варіанти розміщення П-образних просічок: під кутом 90° по відношенню до кромки листа (зразки П-1, П-4, П-5); віялоподібне (зразки П-2, П-6, П-7) під кутами від 54° до 90° по відношенню до кромки листа і по кутах плити (зразки П-3, П-8, П-9). На зразках П-3, П-8, П-9 відпрацьовувалася методика експериментальних досліджень і вивчався вплив закріплення кутових зон на несучу здатність і деформативність плит. Крім того, в кожному третьому зразку просічки при з'єднанні з відбортівками закручувалися на 180° для поліпшення зчеплення бетону з листовою арматурою.

Випробування проводилися на спеціальній установці, що складається з постаменту і навантажуючої рами, на дію розподіленого навантаження, прикладеного в центрі плити через жорсткий штамп із зовнішніми розмірами 40 × 40 см і внутрішніми - 20 × 20 см. Таким чином, навантаження передавалося по замкнутій смузі площею 0,12 м^2. Під штампом розташовувався шар щільної гуми товщиною 1 см. Робоче зусилля створювалося гідравлічним домкратом. Запобігання відриву плити від опорного контура в кутових зонах здійснювалося скобами, що допускали вільні кутові переміщення.

Вертикальні переміщення точок зразків в процесі навантаження фіксувалися індикаторами годинникового типу з ціною розподілу 0,01 мм, які розташовувалися уздовж осі симетрії плити. В зразках вимірювалися відносні деформації сталевого листа, а також деформації у верхніх волокнах бетону і в просічках за допомогою тензометричних датчиків. На бетоні використовувалися датчики з базою 50 мм, на сталі – з базою 20 мм. При випробуванні сталебетонні плити навантажувалися ступенями, приблизно 0,05 від руйнуючого навантаження, із швидкістю 0,3 кН/сек.

Порівняння діаграм деформування сталебетонних плит під навантаженням (рис.6) з аналогічними діаграмами для залізобетонних плит дозволяє зробити висновок про те, що листове армування на відміну від стержневого згладжує анізотропні властивості елемента плити після утворення тріщин в розтягнутій зоні бетону. Тому на діаграмі деформування сталебетонних плит відсутній різкий перелом, характерний моменту тріщиноутворення в залізобетонних плитах.

Рис.6. Діаграма “навантаження - прогин” для центральних точок сталебетонних плит П-1 – П-9

Результати вимірювань відносних деформацій на поверхні бетону плити П-2 приведено на рис. 7. Максимальні значення зареєстровані в середині плити і при навантаженні 121 кН складали 2,2 мм/м. За даними Г.Купфера при рівномірному двовісному стисненні важкого бетону відносні деформації в бетоні при руйнуванні досягають величини 2,6 мм/м при напруженнях $\sigma_1 = 1{,}15\ R_b$ (R_b – міцність при одноосному стисненні). Отже, можна припустити, що при навантаженні на плиту 121 кН фіброві волокна бетону в середині плити знаходилися в стані, близькому до граничного.

Рис.7 . Деформації бетону на поверхні плити П-2

Рис.8. Деформації зовнішньої листової арматури плити П-1

В ході експерименту було відзначено, що датчики, розташовані на бетоні в прорізах, також показали відносні деформації стиснення. Це можна пояснити тим, що трикутна шпонка стискається відігнутою просічкою, що працює на розтягання, і поперечною силою на опорі.

Як показали вимірювання деформацій зовнішньої арматури (рис.8), пластичні деформації в листі з'являються при навантаженні 98 кН в середній зоні плит.

В табл. 1 приведено значення навантажень, при яких було зафіксовано вичерпання несучої здатності, появу тріщин на бетоні в кутових зонах, а також випинання бортових елементів сталевого листа. Порівняльний аналіз результатів дослідження показав, що тільки у зразків з просічками, виконаними по кутах, несуча здатність була невелика (на 70 % менше ніж у плит з іншим розташуванням просічок), оскільки просічки знаходилися перпендикулярно до напряму дії згинаючого моменту від′ємної величини, тобто в місцях утворення кутових тріщин. Найвища несуча здатність спостерігалася у плит з віялоподібно розташованими просічками.

Таблиця 1

Значення характерних для роботи конструкції навантажень

Експериментальний зразок	Випинання бортових елементів сталевого листа на 1мм, кН	Випинання бортових елементів сталевого листа ≥ 5мм, кН	Поява тріщин в бетоні в кутових зонах, кН	Несуча здатність, кН
Плита П-1	100	125	105	135
Плита П2	105	130	125	150
Плита П-3	–	–	кути не закріплені	45
Плита П-4	85	120	95	130
Плита П-5	85	105	95	120
Плита П-6	75	130	120	135
Плита П-7	75	125	105	130
Плита П-8	–	–	30	32,5
Плита П-9	–	–	36	42

Порівняння експериментальних значень руйнуючих навантажень з навантаженнями для плит, в яких об'єднання бетонного шару з листом було виконано за допомогою анкерних упорів, свідчить про те, що запропонований спосіб об'єднання приводить до збільшення несучої здатності плит в середньому на 20%. Збільшення несучої здатності пояснюється утворенням по периметру плит трикутних шпонок, що працюють на стиснення і запобігають зсуву бетону щодо сталевого

листа. Руйнуючі навантаження плит з взаємно перпендикулярним розташуванням просічок в середньому на 10% менше, ніж навантаження плит з віялоподібними просічками.

Після завершення випробувань проводилося розкриття сталевого листа. За результатами випробувань плити П-2, в процесі яких вимірювалися деформації сталевої листової арматури, і подальшої обробки отриманих даних, були побудовані замкнуті криві (рис.9), що обмежують зону текучості сталевого листа при різних навантаженнях на плиту.

Рис.9. Розвиток пластичних властивостей в листовій арматурі сталебетонної плити П-2

На підставі аналізу схеми тріщиноутворення і послідовності розвитку пластичних властивостей в листовій арматурі можна стверджувати, що схеми граничного стану при руйнуванні сталебетонних плит за нормальним перерізом співпадають із запропонованими схемами, отриманими в результаті розрахунку на ЕОМ, і з схемами для залізобетонних плит. Отже, вживання методу граничної рівноваги до оцінки несучої здатності можна вважати обгрунтованим також і для плит із зовнішнім листовим армуванням.

Розрахунок граничних навантажень здійснювався для плит П-1, П-2, П-4, П-5, П-6, П-7 за формулами (5) і (13). Результати порівняння експериментальних і теоретичних значень несучої здатності плит показали, що при розрахунку з умови міцності контакту розрахункове навантаження більше експериментального в середньому на 14 %, а при розрахунку з умови міцності за нормальним перерізом розрахункове навантаження менше експериментального в середньому на 6 %. Приведені дані свідчать про те, що для сталебетонных плит метод граничної рівноваги з умови міцності за нормальним перерізом занижує величину несучої здатності. Це пояснюється невідповідністю діаграми ідеально пружно-пластичного матеріалу, що приймається в методі, реальній діаграмі деформування, що в умовах двовісного розтягання більш відчутно, ніж при одноосному.

В **четвертому розділі** проводиться аналіз існуючих конструктивних рішень сталебетонних плит, і наводяться дані про практичне вживання результатів дисертаційної роботи.

Рис.10. Сталевий лист з просічками і відбортівками плити розмірами 6 × 6 м

Запропонована квадратна сталебетонна плита перекриття розмірами 6×6 м і товщиною 250 мм (рис.10) упроваджена в проект реконструкції цеху поточного ремонту ТР-3 депо “Варшавське” в Москві (рис.11). Товщина сталевого листа 5 мм. Проект реконструкції виконувався ВАТ “Метрогипротранс” спільно з автором дисертації. Опирання плит перекриття із зовнішнім

армуванням здійснюється по чотирьох сторонах на цегляні стіни і обв'язувальні балки. По кутах плити були закріплені від підйому приварюванням до закладних деталей обв'язувальної балки.

Рис. 11. Розріз плану цеху ТР-3 і вузли опирання сталебетонних плит перекриттів

Результати порівняння сталебетонних плит із залізобетонними свідчать про те, що заміна стержневого армування на листове в плитах опертих по контуру приводить до істотного підвищення їх жорсткості. Так, максимальний прогин сталебетонної плити, зареєстрований при розрахунковому навантаженні, в 5 разів менше, ніж в залізобетонній плиті при менших витратах сталі. Розрахунок також показав економічну ефективність сталебетонних плит перекриттів в порівнянні із залізобетонними (табл.2).

Таблиця 2

Порівняння сталебетонної і залізобетонної плит розмірами 6 × 6 м

Плита	Розрахункове навантаження, кН/м^2	Робоча висота перерізу, мм	Клас бетону	Загальна витрата, м^3	Сталевий прокат (загальна витрата), кг	Максимальне значення прогину, мм
сталебетонна	8	250	В 35	9	1680	0,57
залізобетонна	8	300	В 35	10,7	2386	2,90

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі огляду літературних джерел встановлено, що розробка нових конструктивних рішень сталебетонних плит перекриттів є актуальною задачею, направленою на зниження матеріалоємності і вартості будівництва.

2. Розроблено експериментальні зразки сталебетонних плит перекриттів, в яких спільна робота сталевого листа і шару бетону забезпечується за рахунок просічок, виконаних в тонкому листі.

3. Проведено експериментальні дослідження квадратних в плані плит, які дали наступні результати:

– найбільшу несучу здатність мають плити з віялоподібним розташуванням просічок, їх несуча здатність майже на 60% більше, ніж у плит з просіченнями по кутах, і на 10% більше, ніж у плит з взаємно перпендикулярним розташуванням просічок;

– на підставі отриманих даних про особливості роботи бетону і сталі в просічках зроблено висновок, що бетон в трикутній шпонці під відігнутою просічкою стислий, а в самій просічці виникають деформації розтягання;

– у фібрових волокнах бетону в середині плити в момент, передуючий руйнуванню, деформації при рівномірному двовісному стисненні досягали величини 2,2 мм/м, що узгоджується з даними інших джерел;

– пластичні деформації в сталевому листі з'являються при навантаженні на 30 - 40% більше, ніж в сталебетонних плитах, де спільна робота сталевого листа і бетону забезпечується за допомогою анкерів;

– несуча здатність сталебетонних плит перекриття з просічками на 20% більше, ніж несуча здатність плит з привареними анкерними упорами.

4. На підставі експериментально і теоретично отриманої схеми руйнування розроблено методику оцінки несучої здатності сталебетонного перекриття за допомогою методу граничної рівноваги.

5. Розроблено розрахункову модель сталебетонних плит на підставі методу кінцевих елементів, за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD оцінено напружено-деформований і обгрунтовано граничний стани.

6. Здійснено упровадження запропонованої конструкції сталебетонного перекриття при реконструкції депо “Варшавське” (Москва).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коровниченко Н.В. (Смолянюк Н.В.) Сталебетонная плита перекрытия // Збірник наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 48. – С.57 – 60.

2. Смолянюк Н.В., Кислов А.Г. Экспериментальные исследования сталебетонных плит // Сб. науч. трудов. Вестник ХНАДУ. – Харьков, 2002. – Вып. 19. – С. 140 – 141.

Особистий внесок – Планування експерименту, розробка експериментальних зразків і отримання результатів.

3. Смолянюк Н.В. Экспериментальные исследования сталебетонных плит с треугольными шпонками // Зб. наук. праць “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне: РДТУ, 2003. – Вип. 9. – С.317 – 323.

4. Смолянюк Н.В. Экспериментальные исследования плит перекрытия с внешним армированием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ, 2003. - №5. – С. 431 – 433.

5. Смолянюк Н.В. Экспериментальные исследования сталебетонных плит // Вісник Одеського національного морського університету. Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2003. - №10. – С. 208 – 212.

6. Смолянюк Н.В. Несущая способность сталебетонных плит // Науковий вісник будівництва. Матеріали міжнародної наукової конференції „Ресурси і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд". – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2003. – Вип.. 23. – С.157 – 160.

АНОТАЦІЯ

Смолянюк Н.В. Напружено-деформований і граничний стани сталебетонних плит перекриттів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2003.

Дисертація присвячена розробці нових конструктивних рішень плит перекриттів із зовнішнім листовим армуванням та математичного апарату для оцінки напружено-деформованого та граничного станів. Розроблено конструкцію сталебетонної плити перекриття, в якій сумісна робота тонкого металевого листа з бетоном досягається завдяки зробленим в цьому листі прямокутним просічкам. Просічки відігнуті та приварені до бортових елементів листа, утворена металева конструкція заповнена бетоном. Були виготовлені та випробувані дослідні зразки з різним розташуванням просічок. При випробуванні зразків були отримані і проаналізовані дані про закономірності деформування та вичерпання несучої здатності плит, характер тріщиноутворення в бетоні та пластичних властивостей в сталевому листі, а також про схеми руйнування зразків перекриттів.

На підставі експериментально і теоретично отриманої схеми руйнування розроблена методика оцінки несучої здатності сталебетонного перекриття за допомогою метода граничної рівноваги. Несуча здатність була визначена за нормальним перерізом та за міцністю контакту листа з бетоном. На основі методу кінцевих елементів за допомогою проектно-обчислювального комплексу Structure CAD для Windows була розроблена розрахункова модель сталебетонних плит перекриттів та оцінено напружено-деформований і обгрунтовано граничний стани.

Ключові слова: сталебетонна плита перекриття, напружено-деформований та граничний стани, несуча здатність, сумісна робота сталевого листа з бетоном, просічка.

АННОТАЦИЯ

Смолянюк Н.В. Напряженно-деформированное и предельное состояния сталебетонных плит перекрытий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2003.

В сталебетонных конструкциях сцеплению листовой арматуры с бетоном по длине контакта придаётся первостепенное значение, так как надёжная связь является единственной гарантией эксплуатационной пригодности конструкций. Обзор накопленного материала показал, что необходимы новые конструктивные решения элементов с внешним листовым армированием, а особенно способов объединения плоского стального листа с бетонным слоем.

Диссертация посвящена разработке новых конструктивных решений плит перекрытий с внешним листовым армированием и математического аппарата для оценки напряженно-деформированного и предельного состояний. Разработана конструкция плиты сталебетонного перекрытия, в которой совместная работа тонкого металлического листа с бетоном достигается благодаря сделанным в этом листе прямоугольным просечкам. Просечки отогнуты и приварены к бортовым элементам листа, полученная металлическая конструкция заполнена бетоном. Таким образом, по периметру плиты образовывались треугольные шпонки. Были изготовлены и испытаны девять опытных образцов квадратных плит перекрытий размерами в плане 1×1 м с различным расположением просечек: взаимно перпендикулярным (под углом 90° к кромке листа), веерообразным (под различными углами к кромке листа) и по углам плиты.

При испытании образцов получены и проанализированы данные о закономерностях деформирования и исчерпания несущей способности плит при различных схемах расположения просечек, характере трещинообразования в бетоне и пластических свойств в стальном листе, а также о схеме разрушения образцов перекрытий. Экспериментальные исследования показали, что наиболее высокая несущая способность наблюдалась у плит с веерообразно расположенными просечками. Сравнение полученных экспериментальных значений разрушающих нагрузок с нагрузками для плит, в которых объединение бетонного слоя с листом выполнено при помощи анкерных упоров, свидетельствует о том, что предложенный способ объединения приводит к увеличению несущей способности плит в среднем на 20%. Увеличение несущей способности объясняется образованием по периметру плит треугольных шпонок, работающих на сжатие и предотвращающих сдвиг бетона относительно стального листа.

На основании экспериментально и теоретически полученной схемы разрушения разработана методика оценки несущей способности сталебетонного перекрытия при помощи метода

предельного равновесия. Несущая способность была определена по нормальному сечению и по прочности контакта листа с бетоном. На основании численного анализа, в целях оптимального проектирования выяснено, что количество просечек, выполняемых в стальном листе, необходимо определять из условия равенства предельных нагрузок по нормальному сечению и по контакту.

Разработана расчётная модель сталебетонных плит на основе метода конечных элементов, при помощи проектно-вычислительного комплекса Structure CAD для Windows оценено напряженно-деформированное и обосновано предельное состояния.

Ключевые слова: сталебетонная плита перекрытия, напряженно-деформированное и предельное состояния, несущая способность, совместная работа стального листа с бетоном, просечка, треугольная шпонка.

SUMMARY

Smolyanyuk N.V. Stress-strained and limiting states of steel-concrete floor slabs. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences by speciality 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. –Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2003.

Dissertation aims at developing the new structural approaches of floor slabs with external sheet reinforcement and mathematical technique to estimate stress-strained and limiting states. Steel-concrete floor slab structure has been developed. Collaboration of a thin steel sheet with a concrete is provided with the help of rectangular notchings. Notchings are flanged and welded to the side elements of a sheet. A concrete fills the new-formed metallic construction. Experimental models with different location of notchings have been made and tested. During the test of samples we obtained and analyzed the data of deformation and slabs carrying capacity exhaustion laws, cracking character in a concrete and plastic properties in a steel sheet along with the scheme of floor slabs destruction.

The technique for steel-concrete floors carrying capacity defining was developed with the help of limiting equilibrium method based on the experimental and theoretical obtained scheme. Carrying capacity was definite on the normal section and on contact durability of the sheet with a concrete. Based on the method of finished elements with the help of project-calculable complex Structure CAD for Windows the design model of steel-concrete floors was developed and stress-strained and limiting states were considered.

Keywords: steel-concrete floor slab, stress-strained and limiting states, carrying capacity, collaboration of a steel sheet with a concrete, notching.

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ І ГРАНИЧНИЙ
СТАНИ СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ

Смолянюк Надія Володимирівна

Підписано до друку 13.11.2003 г.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів
Умов.-друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,25.
Замовл. № 1287 Наклад 100 прим. Ціна договірна.

Надруковано в мінідрукарні ТОВ “Рейтинг”
м. Харків, вул. Сумська, 37, т. 14-34-26, 700-53-51