

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ОРЕЛ ЄВГЕН ФЕДОРОВИЧ

УДК 624.072.2.016.046.2

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ З
РІЗНИМИ УМОВАМИ ОПИРАННЯ**

*Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції,
будівлі і споруди*

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Чихладзе Елгуджа Давидович,

завідувач кафедри будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор

Яременко Олександр Федорович,

завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури;

- кандидат технічних наук, доцент

Більченко Анатолій Васильович,

доцент кафедри мостів, конструкцій та будівельної механіки Харківського національного автомобільно–дорожнього університету.

Провідна установа: Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, м. Харків.

Захист відбудеться 18 травня 2006 р. о 12³⁰ год. 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 ррозісланий 8 квітня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд. техн. наук, доц.

Ватуля Г. Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Застосування сталобетонних конструкцій дозволяє значно поліпшити показники матеріалоемності, вартості і трудомісткості будівництва, що досягається завдяки багатофункціональному використанню сталевих листів: як опалубки, закладних деталей; робочої арматури, розташованої в зовнішньому краю елемента, що згинається, і сприймаючі розтяжні зусилля одночасно в усіх напрямках. Найбільший ефект від зовнішнього армування досягається в плитах перекриттів і покриттів, які згинаються в двох напрямках. Плоский сталевий лист працює в умовах двохосового розтягання, завдяки чому підвищується твердість і несуча здатність сталобетонної плити в порівнянні із залізобетонною плитою при однаковій витраті металу. Проблема розрахунку сталобетонних плит на силові впливи на сьогоднішній день полягає в необхідності урахування: неоднорідного напруженого стану; особливостей обпирання плит по контуру; не лінійності деформування бетону в умовах плоского напруженого стану і його анізотропних властивостей; залежності жорсткісних характеристик від деформованого стану; піддатливості контакту; довільного навантаження й інших факторів.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення задачі, пов'язаної з удосконалюванням теоретичних основ і практичних способів розрахунку економічних і надійних сталобетонних перекриттів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана в рамках наукової теми “Розробка способів посилення аварійних та перед аварійних споруд та методів оцінки їх несучої здатності після посилення з урахуванням реальних властивостей матеріалів”, реєстраційний номер 0102V002542. *Особистий внесок* – розробка алгоритму і числові розрахунки.

Мета дослідження. Удосконалювання методики розрахунку довільно навантажених і різним способом обпертих сталобетонних плит, у яких сталевий лист знаходиться не тільки в розтягнутій, але й у стиснутій зонах.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Розробити методику розрахунку плит із зовнішнім листовим армуванням у стиснутій і розтягнутій зонах з урахуванням особливостей деформування сталевих листів і бетону в умовах плоского напруженого стану під впливом довільно розташованого в плані короткочасного навантаження.

2. Розробити алгоритм і програму розрахунку сталобетонних плит з різними умовами обпирання на ПЕОМ.

3. Провести чисельні дослідження роботи сталобетонних плит з різними навантаженнями, умовами обпирання, розташуванням армувальних листів, міцнісними характеристиками матеріалів, товщинами сталевих листів, піддатливостями об'єднання сталевих листів і бетону.

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

Об'єкт дослідження – сталобетонні плити.

Предмет дослідження - напружено-деформований стан сталобетонних плит з різними умовами обпирання, різним способом навантажених, у яких армувальні листи розташовані в стиснутій і розтягнутій зонах.

Методи дослідження – аналітичні і чисельні. Визначення напружено-деформованого стану сталобетонних плит здійснено в такий спосіб: теоретично отримана повна система рівнянь (фізичні рівняння, геометричні залежності, рівняння рівноваги), що визначають напружено-деформований стан малого елемента сталобетонної плити, чисельним методом (метод скінчених різниць) здійснено розв'язання цих рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна дійсних досліджень визначається такими результатами:

1. Розроблено методику оцінки напружено-деформованого стану тришарових сталобетонних плит з різними умовами обпирання при силових впливах.

2. Розроблено методику урахування різних умов обпирання сталобетонних плит, що згинаються. Уведено поняття фіктивних опорних закріплень і фіктивних консолей у кутових зонах, завдяки цьому, можливий розрахунок сталобетонних плит будь-якої конфігурації.

3. Розроблено обчислювальний апарат розрахунку напружено-деформованого стану сталобетонних плит при довільно розташованому у плані короткочасному навантаженні.

4. Розроблено методику визначення зрушувальних сил, між бетоном і сталевим листом, що включає знаходження необхідного числа зв'язків зрушення.

5. За розробленою програмою на ЕОМ проведено чисельні дослідження й отримано дані про вплив на напружено-деформований стан плит: виду навантаження, способів обпирання по контуру, міцнісних і деформативних характеристик бетону і сталевих листів, товщини сталевих листів, піддатливостей контакту.

6. Запропоновано конструкцію сталобетонної плити, у якій бетон складається з двох шарів: з важкого і легкого бетону (у розтягнутій зоні).

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована методика розрахунку дозволяє визначати несучу здатність сталобетонних плит з різними умовами обпирання при дії статично прикладеного навантаження. З'являється можливість раціонально проектувати плити перекриттів будівель і споруд з урахуванням реальних умов обпирання і навантаження.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у вигляді програми розрахунку напружено-деформованого стану сталобетонних плит з різними умовами обпирання на силові впливи в проектному інституті Укрміськбудпроект.

Особисто отримані здобувачем результати.

1. На підставі літературних джерел виконано аналіз методів розрахунку конструкцій із зовнішнім листовим армуванням при дії статичного навантаження.

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

3. Проведено чисельні дослідження сталобетонних плит з різними умовами опираючості. Досліджено вплив міцнісних характеристик матеріалів, а також граничних умов на несучу здатність сталобетонних плит.

4. Досліджено вплив глибини розкриття тріщин на несучу здатність сталобетонних плит.

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

1. Всеукраїнській науково – технічній конференції “Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель” (м. Київ, 2004 р.).

2. Всеукраїнській науково – технічній конференції “Математичні моделі процесів у будівництві” (м. Луганськ, 2004 р.).

3. Всеукраїнській науково – технічній конференції “Науково - технічні проблеми сучасного залізобетону” (м. Суми, 2005 р.)

4. Науково – технічних конференціях Української державної академії залізничного транспорту (1999 –2005 р.).

Публікації. Основний зміст опубліковано у 6 наукових працях, у збірниках, рекомендованих ВАК України для публікацій результатів дисертаційних досліджень.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатка і нараховує 252 сторінок тексту, у тому числі: 139 сторінки основного тексту, 69 рисунків, 7 таблиць, 100 сторінок додатка. Список використаних літературних джерел нараховує 128 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність, наукову новизну і практичну цінність роботи, дано її загальну характеристику.

У першому розділі дисертаційної роботи зроблено огляд літературних джерел, присвячених описові існуючих видів конструктивних рішень будівель і споруд, у яких використана зовнішня листова арматура, а також існуючих методів розрахунку таких конструкцій.

Вивченню властивостей конструкцій, у тому числі і із зовнішнім армуванням листовою сталлю, присвячено роботи Клименка Ф.Є., Воронкова Р.Е., Стрелецького Н.Н., Людковського І.Г., Залесова А.С., Чихладзе Е.Д., Скоробогатова І.Г., Васильєва А.П., Аншина Л.З., Бердичівського Г.І., Барабаша В.М., Бочагова В.П., Стороженка Л.І., Шагіна О.Л., Яременка О.Ф., Кириленка В.Ф., Лучковського І.Я., Бильченка А.В., Санжаровського Р.С., Потера М.Л., Лавсена Р.М., Онга К.С., Шмуклера В.С, Фомиці Л.М, Пустовойтова В.П., Гришина А.В., Веревічевої М. А., Берестянської С. Ю., Смолянчук Н. В., Лобяк О. В. та ін. Ці роботи зробили істотний внесок у теорію і практику залізобетону і сталобетону, однак характер деформування і втрати несучої здатності сталевих плит, що згинаються в двох напрямках, які зазнають силових впливів, досліджено недостатньо. Це в першу чергу стосується впливу на напружено-деформований стан: граничних умов, розташування армувальних листів, товщини сталевих листів, піддатливості об'єднання сталевих листів і бетону. Побудова методики розрахунку повинна базуватися на досить вивчених положеннях з розрахунку аналогічних залізобетонних плит на подібні впливи з урахуванням особливостей деформування бетону і плоского сталевих листів в умовах плоского напруженого стану. При розв'язанні фізичних рівнянь для елемента з тріщинами необхідно враховувати анізотропні властивості, можливі деформації зрушення по контакту сталевих листів з бетоном, роботу розтягнутого бетону над тріщиною і т.д.

Незважаючи на ефективність, розглянуті сталобетонні конструкції мають ряд недоліків. Це - безпосередній контакт сталевих арматур з навколишнім середовищем; менша вогнестійкість у порівнянні із залізобетонними плитами. Боротьба з відзначеними недоліками загальновідома: використання різних покриттів (у тому числі і лакофарбових), оцинкованих листів, алюмінієвих сплавів замість сталі й ін.; для забезпечення вогнестійкості покриття конструкцій здійснюється також спеціальними матеріалами, що спучують (за даними Е. Д. Чихладзе, М. А. Веревічевої, С. Ю. Берестянської, І. А. Жакіна застосування таких покриттів дозволяє підвищити вогнестійкість плит перекриттів до необхідного рівня).

Другий розділ містить основні положення теорії деформування тришарових сталобетонних плит, що зазнають силових впливів. Елемент сталобетонної плити, а також виникаючі в елементі напруження і деформації наведено на рис. 1.

Рис. 1. Напруження і деформації в перерізі сталобетонного елемента тришарової плити

Рівняння рівноваги елемента сталобетонної плити, що згинається, навантаженим поперечним навантаженням приймається у вигляді:

(1)

де - функція поперечного навантаження.

Геометричні залежності для кривизн приймаються відповідно до лінійної теорії пружності

(2)

де - функція прогинів (вертикальних переміщень) точок плити в ортогональній системі координат.

Фізичні рівняння вигину мають вигляд:

(3)

де

де - площа сталевих листів в розтягнутій і стиснутій зонах перерізу на одиниці довжини; - параметри деформування, отримані приведенням бетону до умовно ізотропного миттєво-пружного суцільного середовища; - параметри деформування сталевих листів в розтягнутій і стиснутій зонах; x_i - положення нейтральних осей.

Параметри деформування знаходяться з таких залежностей:

- для стиснутого бетону:

(4)

- для розтягнутого бетону:

(5)

де , - узагальнені інтегральні модулі деформацій стиснутої і розтягнутої зон перерізу. Вони визначаються так:

(6)

- коефіцієнти, обумовлені з умови мінімуму квадратичних відхилень експериментально отриманих значень напружень у дослідах Г. Купфера і підрахованих з використанням залежностей у вигляді полінома п'ятого ступеня.

Робота сталевих листів за межами пружності описується методом змінних параметрів пружності, введенням характеристики пластичності, відповідно до якої знаходяться змінні значення модуля пружності і коефіцієнта поперечних деформацій пружно – пластичного матеріалу. Зв'язок між інтенсивністю напружень і деформацій при цьому приймається за діаграмою одноосевого розтягання сталі.

Вплив піддатливості контакту сталевих листів з бетоном (піддатливість зв'язків зрушення) у кожному перерізі враховується введенням параметра λ : Величина цього параметра відповідно до рис. 1 для розтягнутої зони має вигляд

(7)

де – величина відносного зрушення по контакту сталевих листів з бетоном, яка визначена експериментально; – кривизна перерізу; - відстань від верхньої крайки перерізу до нейтральної лінії; товщина сталевих листів; робоча висота перерізу.

Вираз для напружень у сталевих листах в розтягнутій зоні одержимо, розв'язавши закон Гука для плоского напруженого стану щодо напружень (:

(8)

Аналогічно визначається напруження в стиснутому листі.

Положення нейтральних осей знаходяться з умови рівності нулеві проекцій усіх сил, що діють у перерізі на горизонтальну площину, і визначаються за формулою:

(9)

де функція дійсного аргументу, для розтягнутої зони обумовлена залежністю

(10)

Вирази (1) - (3) являють собою диференціальні рівняння вигину, справедливі для будь-якої точки плити. Рівняння отримано підстановкою в (1) значень моментів (3) з урахуванням (2). У різнищевій формі воно являє собою лінійне рівняння відносно 20 невідомих значень функції прогинів в околицях розглянутої точки (рис. 2) з координатами . У згорнутому вигляді кінцеве рівняння має вигляд:

(11)

де ; – значення функції зовнішнього навантаження в точці .

Рис. 2. Досліджувана область пластинки

При записі рівняння, що дозволяє, для точок на контурі і прилягаючих до контуру доводиться мати справу із законтурними значеннями функцій прогинів, які необхідно погоджувати додатковими (граничними) умовами зі значеннями цієї функції усередині контуру. Пропонується загальний підхід до урахування граничних умов, у тому числі й у кутових зонах пластинки. Суть підходу полягає в такому. Уводиться поняття про фіктивні опорні закріплення, що являють собою продовження дійсних опорних закріплень по їхньому напрямку за контур пластинки. Тоді, поряд з відомими в літературі умовами, одержимо умови для кутових зон.

Шарнірне обпирання – шарнірне обпирання (рис.3,а):

(12)

Шарнірне обпирання – затиснений край (рис. 3,б):

(13)

а) б)
в) г)

Рис.3. Фрагмент плити

Для вільного краю пластинки граничні умови запишемо в такому вигляді:

(14)

(15)

де ν - коефіцієнт поперечних деформацій умовно ізотропного середовища.

Тоді умова для кутової зони шарнірне обпирання – вільний край (рис. 3, в) буде такою:

(16)

Для пластинки-консолі вводиться поняття фіктивної частини консолі, що примикає до пластинки з боку вільного краю (рис. 3, г). Припустимо, що кут повороту перерізу фіктивної частини пластини не змінюється і визначається кутом повороту перерізу пластинки на її вільному краї в місці примикання фіктивної частини. Тоді можна записати:

(17)

(18)

Застосовуючи (14) до першого ряду, а (15) до другого ряду законтурних точок, одержимо функції прогинів усередині контуру (рис. 3,г). Знаючи твердості першого ряду законтурних точок (на початковому кроці вони задаються, як і твердості всіх точок пластинки), визначаються компоненти напружено-деформованого стану за (2), за (3), потім головні моменти і співвідношення

У третьому розділі дисертації проводиться аналіз напружено – деформованого стану і несучої здатності сталобетонних плит з різними умовами обпирання. Досліджується вплив на несучу здатність сталобетонної плити: міцності бетону, марки сталі, товщини сталевих листів, а також твердості об'єднання бетону і сталевих листів. Розроблено програму розрахунку сталобетонних плит з різними умовами опираючості. Для моделювання процесу деформування плити навантаження здійснювалося кроками. Блок-схема алгоритму розрахунку наведена на рис. 4.

Спочатку для оцінки вірогідності введених передумов зроблено порівняння з наявними експериментальними дослідженнями. У Харківському національному автомобільному університеті (ХНАДУ) випробуванню піддавалися шарнірно обперті плити на опорному контурі 98×98 см на дію зосередженого навантаження, прикладеного в центрі плити через твердий штамп 18×18 см. Запобігання відриву плити від контуру в кутових зонах здійснювалося пристосуванням, що допускало вільні кутові переміщення і не допускало лінійних. Як арматура використовувався сталевий лист товщиною 0.1 см, об'єднаний з бетоном для спільної роботи похилими петлевими анкерами. Деформативно - міцнісні характеристики матеріалів склали: $E_{bo} = 3.30 \cdot 10^4$ МПа, $R_b = 40$ МПа,

$E_s = 2.1 \cdot 10^5$ МПа. При моделюванні процесу деформування була прийнята сітка МКР 10×10 . Результати розрахунку показують, що отримані прогини відрізняються від експериментальних на 8 – 10% .

Рис. 4. Алгоритм розрахунку

Рис. 4. Продовження

Теоретичні дані зіставлялися також з експериментальними дослідженнями, проведеними в Національному Університеті Сінгапуру на вільно обпертих плитах розмірами в плані 0.9×0.9 м. Навантаження проводилося зосередженою силою на площі 0.17×0.17 м. Об'єднання бетонної плити зі сталевим листом виконувалося епоксидним клеєм (у розрахунках приймалися абсолютно тверді зв'язки зрушення $\lambda = 1$). Аналіз свідчить про хорошу збіжність (близько 7%) експериментальних і розрахункових значень прогинів і руйнівних навантажень.

Далі проводилися статичні розрахунки сталебетонних плит при різних умовах обпирання методом скінчених елементів і методом скінчених різниць (за запропонованою методикою). Чисельні дослідження показують, що при роботі плити в пружній стадії значення прогинів w і моментів M_x, M_y, M_{xy} у вузлах звичайно – різницевої сітки, отримані по МСР відрізняються від відповідних значень, отриманих по МСЕ не більше, ніж на 9%.

Для подальших чисельних розрахунків прийнята плита розміром у плані 6×6 м при різних умовах обпирання. Бетонний шар класу В 30 з розрахунковим опором на осьовий стиск 22 МПа, на осьове розтягання 1.8 МПа; початковий модуль пружності МПа, коефіцієнт поперечних деформацій = 0.2, товщина бетонного шару 14 см. Сталевий лист приймався зі Ст 3 із границею текучості = 240 МПа і модулем пружності = $2.1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0.3$. Плита завантажувалася рівномірно розподіленим навантаженням, інтенсивністю . Навантаження здійснювалося кроками Δq , рівними $10 \text{ кН} / \text{м}^2$.

На рис. 5 наведені графіки несучої здатності сталебетонних плит з різними умовами обпирання по контуру в залежності від товщини армувального сталевих листа.

Рис. 5. Залежності несучої здатності сталебетонної плити розміром у плані 6×6 м від товщини армувального листа при різних умовах обпирання:

1 – шарнірно обперта по контуру плита, 2 – затиснена по контуру плита, 3 – із двох протилежних сторін шарнірно обперта, із двох інших сторін затиснена, 4 – із двох протилежних сторін затиснена, з однієї шарнірно обперта і з іншого боку – вільна

Як показали проведені розрахунки, плити руйнувалися по стиснутій зоні бетону. Несуча здатність сталебетонних плит (при збільшенні товщини армувального листа з 0.3 см до 0.7 см) підвищується в 2 – 2.5 рази.

Наступним етапом дослідження було визначення впливу міцності бетону на несучу здатність сталебетонних плит при різних умовах обпирання. Досліджувалися сталебетонні плити такі ж за розміром в плані і з тією ж товщиною бетону, як і в попередньому випадку. Сталевий лист приймався товщиною 0.4 см. Бетонний шар виконувався з важкого бетону природного твердіння класів В 20, В 30, В 45, В 60 з розрахунковим опором на осьовий стиск 15, 22, 32, 43 МПа, осьове розтягання 1.4, 1.8, 2.2, 2.5 МПа, з модулем пружності - $2.7 \cdot 10^4$, $3.25 \cdot 10^4$, $3.75 \cdot 10^4$, $4.0 \cdot 10^4$ МПа відповідно. На рис. 6 наведені графіки несучої здатності сталебетонних плит з різними умовами обпирання в залежності від міцності бетону.

Рис. 6. Залежність несучої здатності сталобетонних плит розміром у плані 6×6 м з різними умовами обпирання від міцності бетону:

1 – шарнірно обперта по контуру плита, 2 – затиснена по контуру плита, 3 – із двох протилежних сторін шарнірно обперта, із двох інших сторін затиснена, 4 – із двох протилежних сторін затиснена, з однієї шарнірно обперта і з іншого боку – вільна

З розрахунків видно, що зі збільшенням класу бетону, тобто збільшенням розрахункового опору бетону, несуча здатність сталобетонних плит істотно зростає (у 2 – 2.3 рази). Руйнування плит відбувалося через досягнення граничних деформацій у стиснутій зоні бетону.

Проведено дослідження впливу піддатливості контакту сталевих листів з бетоном (піддатливості зв'язків зрушення) на несучу здатність сталобетонних плит. Як показують результати експериментальних досліджень і розрахунку сталобетонних плит з абсолютно твердими зв'язками зрушення, граничний стан по деформаціях, обумовлений у відповідності до СНиП 2.03.01 – 84*, настає раніш, ніж граничний стан по міцності нормальних перерізів. Зазначене характерно також для залізобетонних плит і свідчить про те, що механічні властивості арматури використовуються не ефективно. Для залізобетонних перекриттів і покриттів значення гранично припустимих прогинів у відповідності до СНиП 2.03.01-84 при прольотах l менше 6 м складає $l/200$, при прольотах 6 м – 7.5 м – 3 см, а при прольотах більше 7.5 м – $l/250$. Аналогічні значення гранично припустимих прогинів введемо і для сталобетонних плит. Піддатливість зв'язків зрушення в сталобетонних плитах збільшує прогини, тому з погляду раціонального проектування недоцільно допускати об'єднання зовнішньої листової арматури з бетоном зв'язками малої твердості, тим більше допускати в цих зв'язках пластичні деформації. Виходячи з цього зв'язку, зрушення приймаються пружнопіддатливі. Поява в них пластичних деформацій є одним із критеріїв досягнення граничного стану плити.

Дослідження напружено – деформованого стану сталобетонних плит дозволяє виділити найбільш характерні стадії її роботи (рис.7, а, б).

а)

б)

Рис.7. Епюри напружень в одній з головних площин сталобетонної плити в пружно – пластичній стадії (без тріщин) і в пластичній стадії

Аналіз пружно – пластичної стадії показує (рис. 7, а), що напруження в стиснутій частині перерізу σ_{bi} невеликі і приблизно відповідають напруженням у розтягнутій зоні перерізу. Прогини плити і напруження в сталевому листі σ_{si} малі і на порядок менше граничних прогинів плити. На рис.7, б подана епюра напруг у плиті при роботі її в пластичній стадії. Тут - глибина розкриття тріщин, - напруження в стиснутій зоні перерізу, - напруження в сталевому листі, - напруження в розтягнутій зоні бетону, рівне його межі міцності. При збільшенні навантаження розтягнуті волокна виключаються з роботи, нейтральна лінія усе більш зміщується нагору, зменшуючи висоту стиснутої зони, при цьому робоча висота перерізу стає істотно менше. При досягненні в стиснутій зоні бетону або в сталевому листі граничних напружень відбувається різке збільшення прогинів.

На рис.8 показано графік залежності (-навантаження, що відповідає стадії роботи плити без тріщин, рис. 7,а) від глибини розкриття тріщин. Як показано на графіку, при руйнуванні плит по стиснутій зоні відношення складає 0.75 – 0.87.

Рис. 8. Графік залежності несучої здатності сталобетонної плити від глибини розкриття тріщин:

1 – плита 1×1 м, В 60, $h_b = 5\text{см}$, $\delta = 0.2\text{см}$; 2- плита 6×6 м, В 30, $h_b = 14\text{см}$, $\delta = 0.4\text{см}$; 3 – плита 6×6 м, В 30, $h_b = 12\text{см}$, $\delta = 0.12\text{см}$

У четвертому розділі дається порівняння сталобетонних і залізобетонних плит, а також проводиться розрахунок сталобетонної плити, у якій, замість важкого бетону в розтягнутій зоні перерізу укладається легкий бетон. Для ілюстрації ефективності сталобетонних плит у порівнянні із залізобетонними виконані відповідні розрахунки, результати яких подані в табл 1. Крім плит, випробуваних у ХНАДУ (П-3,П-4), до порівняльного аналізу залучалися плити UR 1, UR 2, UR 3 (Національний Університет Сінгапуру) і залізобетонні плити Г. Баха й О. Графа (822,863,866). Параметри порівняння аналогів підбиралися з умови їхньої ефективності за кількістю робочої арматури і її механічних властивостей, робочою висотою перерізу, міцністю бетону і геометричними розмірами плити в плані. Розглядався граничний стан по нормальному перерізі. Результати порівняння свідчать про те, що заміна стержневого армування на листове в плитах, обпертих по контуру приводить до збільшення їхньої несучої здатності в 2.2 – 3.2 рази при однаковій витраті робочої арматури й інших рівних умовах. Відзначені властивості сталобетонних плит визначаються особливістю роботи сталевго листа: сприймає розтяжні зусилля, близькі до його фізичної границі текучості одночасно у взаємно перпендикулярних напрямках; деформується в стиснутих умовах у 1.4 – 2 рази менших, ніж в умовах одноосьового розтягання; після появи тріщин сталобетонний елемент у значно меншому ступені виявляє анізотропні властивості і краще сприймає крутні моменти.

Таблиця 1

Порівняння сталобетонних і залізобетонних плит

Номер плит, розмір у плані, м × м	Вид навантаження	Границя течучості арматури, МПа σ_m	Сталобетонні плити			Залізобетонні плити			$K = \frac{P_{cm}}{P_{жб}}$
			Товщина сталевго листа, мм, δ	Робоча висота перерізу, мм, h_0	Руйнівне навантаження, P_{cm} , кН	Площа арматури на одиниці довжини перерізу, f_{ax} / f_{ay} , м	Робоча висота перерізу, h_{ox} / h_{oy} , мм	Руйнівне навантаження, $P_{жб}$, кН	
П-3, (0.98 × 0.98)	зос.	230	1.0	50.0	120.0	0.5/0.5	50/50	48.0	2.5
П-4, (0.98 × 0.98)	зос.	230	1.0	50.0	130.0	0.5/0.5	50/50	48.0	2.7
UR1, (0.9 × 0.9)	зос.	210	0.62	100.0	163.0	0.31/0.31	100/100	54.0	3.0
UR2, (0.9 × 0.9)	зос.	210	0.62	49.0	84.0	0.31/0.31	49/49	26.0	3.2
UR3, (0.9 × 0.9)	зос.	218	1.0	50.5	111.0	0.5/0.5	50.5/50.5	44.0	2.5
822 (2 × 2)	р.р.	408	0.814	63.5	14.0	0.41/0.41	67/60	6.3	2.2

)									
863,86 6 (3 × 2)	р.р.	430	0.77	104.5	16.0	0.39/0.39	108/101	7.5	2.1
(6 × 6)	р.р.	230	1.2/0.9	135	20.0	0.71/0.71	148/147	10	2.0

У табл. 2 наведені результати розрахунку кошторисної вартості монолітної залізобетонної і сталобетонної плит у цінах від 25 лютого 2005 року.

Таблиця 2

Порівняння показників залізобетонної і сталобетонної плит із заміною частини розтягнутої зони легким бетоном

Показник	Залізобетонна плита	Сталобетонна із заміною частини розтягнутої зони легким бетоном	Економія, %
Витрата сталі, приведеної до А 1, кгс/м ²	14.60	9.39	35.7
Кошторисна вартість, гр/м ²	88.47	84.36	4.6
Трудомісткість, люд-год/ м ²	1.69	1.67	1.2

Аналіз результатів порівняння показників дає підставу стверджувати про зниження витрати металу, зменшення кошторисної вартості, а в деяких випадках і трудомісткості виготовлення сталобетонних плит у порівнянні з монолітними залізобетонними плитами до 20.9%. У кошторисній вартості пристрою плит перекриттів монтаж і демонтаж великощитової опалубки займає 20 – 30%, а в трудомісткості 40 – 50%. Це пояснюється тим, що вага сталобетонної плити значно менша ваги монолітних залізобетонних плит, що розраховуються на більше навантаження. При значних обсягах робіт можливо на будівельному майданчику виготовляти в опалубках блоки 3 × 3 м і більш для плит перекриттів і покриттів і робити монтаж перекриттів і покриттів будинків із пристроєм великощитової опалубки в мінімальному обсязі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Показано, що характер деформування і вичерпання несучої здатності сталобетонних плит, які згинаються в двох напрямках з різними умовами обпирання під дією навантаження досліджено недостатньо. Це в першу чергу стосується до впливу граничних умов, розташування армувальних листів, товщини сталевих листів, піддатливості об'єднання сталевих листів і бетону.
2. Розроблено методику розрахунку сталобетонних плит з різними умовами обпирання з урахуванням особливостей деформування сталевих листів (робота за межею пружності) і бетону (нелінійність деформування в умовах плоского напруженого стану і тріщиноутворення) під впливом короточасного навантаження.
3. Розроблено обчислювальний апарат розрахунку напружено-деформованого стану сталобетонних плит у вигляді програми, реалізованої в середовищі Borland Pascal 7.0.

Як числовий метод розв'язання даної задачі використовується метод скінченних різниць.

4. Розроблено методику визначення зрушувальних сил між бетоном і сталевим листом із знаходженням необхідного числа зв'язків зрушення.
5. Проведено чисельні дослідження напружено-деформованого стану сталебетонних плит, що показали:
 - несуча здатність плит визначається граничними деформаціями стиснутої зони бетону, межею міцності сталевих листів, граничними прогинами плити, а також міцністю контакту сталевих листів і бетонного шару;
 - збільшення класу бетону (В 20 - В 60) підвищує несучу здатність сталебетонних плит з різними граничними умовами в 2 – 2.3 рази;
 - збільшення товщини сталевих листів (0.3 - 0.7) см підвищує несучу здатність сталебетонної плити в 2 – 2.5 рази;
 - піддатливість зв'язків зрушення в сталебетонних плитах збільшує прогини, тому недоцільно допускати об'єднання зовнішньої листової арматури з бетоном зв'язками малої твердості, тим більше допускати в цих зв'язках пластичні деформації.
6. Результати порівняння сталебетонних і залізобетонних плит свідчать про те, що застосування листового армування в плитах приводить до збільшення їхньої несучої здатності в 2.2 – 3.2 рази, економія становить 35.7%, трудомісткість 1.2 - 20.9%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Орел Є. Ф. Напружено – деформований стан сталебетонних плит з різними умовами опирання // Зб. наук. праць / Харків: ХарДАЗТ, 2001. - Вип. 48. – С. 60 –65.
2. Орел Є. Ф. До розрахунку сталебетонних плит з різними умовами опирання. // Зб. наук. праць / Харків: УкрДАЗТ, 2002. - Вип. 49. – С. 136 -140.
3. Лобяк А. В, Орел Е. Ф. Моделирование процесса деформирования и потери несущей способности сталебетонной плиты // Зб. наук. праць / Луганськ: ЛНАУ, 2004. – Вип. 45/52. – С. 122-128.

Особистий внесок – теоретичні та експериментальні дослідження.

4. Орел Е. Ф. Численные исследования сталебетонных плит при различных условиях опирания // Зб. наук. праць / Київ: КиївЗНДІЕП, 2004. – Спец. вип. – С. 242-247.
5. Орел Є. Ф. Дослідження несучої здатності сталебетонних плит з різними умовами опирання // Зб. наук. праць / Харків: УкрДАЗТ, 2004. - Вип. 57. – С. 160 –165.
6. Орел Е. Ф. Влияние граничных условий на несущую способность сталебетонных плит // Міжвід. наук. – техн. зб. / Київ: НДІБК, 2005. – С. 213-219.

АНОТАЦІЯ

Орел Є. Ф. Напружено-деформований стан сталебетонних плит з різними умовами опирання. – 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, 2006.

Дисертація присвячена розробці математичного апарату для розрахунку напружено-деформованого стану сталебетонних плит з різними умовами опирання на силові впливи.

Розроблено й експериментально обґрунтовано методику розрахунку згинальних за двома напрямками сталобетонних плит з різними умовами опирання при силових впливах, з урахуванням нелінійності деформування і тріщиноутворення бетону в умовах плоского напруженого стану, пластичних деформацій сталевго листа за межею пружності, податливості об'єднання листа з бетоном. Отримано повну систему рівнянь, що описує напружено-деформований стан сталобетонної плити під дією навантаження. Зроблено аналіз чисельних розрахунків сталобетонних плит з різними міцнісними та геометричними характеристиками матеріалів, різними умовами опирання.

Ключові слова: сталобетонна плита, плоский напружений стан, несуча здатність, напружено-деформований стан, умови опирання.

АННОТАЦІЯ

Орел Е.Ф. Напряженно-деформированное состояние сталобетонных плит с различными условиями опирания. – 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, 2006.

Диссертация посвящена разработке математического аппарата для определения напряженно-деформированного состояния сталобетонных плит с различными условиями опирания на силовые воздействия.

Проведен анализ литературных источников, посвященных описанию существующих видов конструктивных решений зданий и сооружений, в которых использована внешняя листовая арматура, а также существующих методов расчета таких конструкций. Обзор накопленного материала показал, что характер деформирования и истощения несущей способности изгибаемых в двух направлениях сталобетонных плит, подвергающихся силовым воздействиям исследован недостаточно.

Разработана и экспериментально обоснована методика расчета изгибаемых в двух направлениях сталобетонных плит с различными условиями опирания при силовых воздействиях с учетом нелинейности деформирования и трещинообразования бетона в условиях плоского напряженного состояния, пластических деформаций стального листа за пределом упругости, податливости объединения листа с бетоном. Получена полная система уравнений, описывающая напряженно-деформированное состояние сталобетонной плиты под действием поперечной нагрузки. Разработана методика учета различных условий опирания. Введено понятие фиктивных опорных закреплений и фиктивных консолей в угловых зонах, что позволяет рассчитывать сталобетонные плиты любой конфигурации. Разработан вычислительный аппарат расчета напряженно-деформированного состояния сталобетонных плит в виде программы реализованной в среде Borland Pascal 7.0. В качестве численного метода решения данной задачи используется метод конечных разностей.

Разработана методика определения сдвигающих сил между бетоном и стальным листом с нахождением необходимого числа связей сдвига.

Проведен анализ численных расчетов несущей способности, деформаций, напряжений, внутренних усилий сталобетонных плит при действии статически приложенной нагрузки. Исследовано влияние прочности бетона, марки стали, толщины стального листа, податливости связей сдвига. Определено влияние граничных условий на несущую способность сталобетонных плит, а также исследовано влияние глубины раскрытия трещин на несущую способность сталобетонных плит. Выполнено сравнение теоретических и экспериментальных данных. Сравнение проводилось с экспериментальными исследованиями, проведенными в Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете и с исследованиями, выполненными в Национальном Университете Сингапура.

Ключевые слова: сталобетонная плита, плоское напряженное состояние, несущая способность, напряженно-деформированное состояние, условия опирания.

SUMMARY

Orel E.F. Stressed-deformed state of flags steel concretes with different terms of opposing. – Manuscript.

Dissertation on gaining of scientific degree of candidate of engineering sciences from speciality 05.23.01 – construction structures, buildings and constructions . – the Ukrainian state academy of railway transport, Kharkov, 2006.

Dissertation is devoted to development of mathematical vehicle for the calculation of the stressed-deformed state of flags steel concretes with different terms of opposing on the power influencing.

It is developed and the method of calculation of flags steel concretes a bend after two directions is experimentally grounded with different terms of opposing at the power influencing, taking into account nonlinear of deformation concrete in the conditions of the flat tense state, plastic deformations of steel sheet at a resiliency, pliability of association of sheet with a concrete. The complete system of evening is got, that describes the stressed-deformed state of flag steel concrete under action of loading. The analysis of number calculations of flags steel concretes is done with different geometrical descriptions of materials, different terms of opposing.

Keywords: flag steel concrete, flat tense state, bearing strength, stressed-deformed state, terms of opposing.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ З РІЗНИМИ
УМОВАМИ ОПИРАННЯ**

Орел Євген Федорович

Відповідальний за випуск
Романенко В.В.

Підписано до друку 3.04.06
Формат паперу 60x84 1/16 Папір для множних апаратів.
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.
Замовлення. № 146 . Тираж 100 екз. Безкоштовно.

Видавництво УкрДАЗТа. Посвідчення ДК №112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТа: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7