

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА

АЗІЗОВ ТАЛЯТ НУРЕДІНОВИЧ

УДК 624.012.45:624.042.2

**ПРОСТОРОВА РОБОТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ.
ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському центрі наукових досліджень та проектування промислових будівель і споруд Держбуду України та в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор **Стороженко Леонід Іванович**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, професор кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Барашиков Арнольд Якович**, Київський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій;

доктор технічних наук, професор **Дорофєєв Віталій Степанович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, ректор, завідувач кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій;

доктор технічних наук, професор **Гнідець Богдан Григорович**, Національний університет „Львівська політехніка”, професор кафедри мостів та будівельної механіки

Провідна установа: Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, відділ надійності будівельних конструкцій Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, м. Київ

Захист відбудеться 27 червня 2006 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02 при Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24.

Автореферат розісланий „25” травня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.В. Чернявський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Переkritтя і покриття є відповідальними та найбільш матеріаломісткими елементами будівель. Вони виконують важливі функції - несуть корисні навантаження, забезпечують просторову жорсткість будівлі. Залізобетонні переkritтя виготовляють в збірному (пустотні, ребристі плоскі плити), монолітному, збірно-монолітному варіантах.

Врахування просторової роботи залізобетонних переkritтів підвищує точність визначення зусиль, що діють в елементах переkritтя і тим самим забезпечує істотну економію матеріалів.

Традиційне проектування не враховує просторову роботу та взаємодію окремих елементів збірних і монолітних переkritтів під дією нерівномірних вертикальних навантажень. Дослідження просторової роботи, як правило, зосереджені на вирішенні окремих задач.

Важливою є проблема врахування просторової роботи в оцінці резервів несучої здатності й жорсткості під час обстеження залізобетонних переkritтів.

Комплексний підхід до розрахунку збірних, монолітних, збірно-монолітних залізобетонних переkritтів і покриттів дозволяє з єдиних позицій і економніше оцінювати їх напружено-деформований стан на всіх стадіях роботи, зокрема під час реконструкції. У зв'язку з вищезазначеним розвиток загальної теорії та розроблення загального методу розрахунку збірних, монолітних і збірно-монолітних переkritтів з урахуванням їх просторової роботи, а також використання просторової роботи для виявлення резервів несучої здатності залізобетонних переkritтів при їх обстеженні є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема та зміст дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі оцінки технічного стану експлуатованих будівель і споруд згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №409 від 05.05.1997 р. „Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд і інженерних мереж”; програмі Держбуду України „Проведення експериментальної перевірки спільної роботи плит у диску переkritтя (для обліку при реконструкції підприємств і проектуванні ділянок переkritтів з підвищеним навантаженням)” –шифр Держбуду України № 523.93-94 (1993 р.); дослідженню в межах держбюджетної науково-дослідницької теми на замовлення Держбуду України № 834.95-95 „Методичні вказівки з урахування сумісної роботи плит в диску переkritтя при проектуванні і реконструкції будівель”, де автор виступав науковим керівником і відповідальним виконавцем (1995 р.).

Метою роботи є розроблення методів розрахунку та проектування плоских залізобетонних збірних, монолітних і збірно-монолітних переkritтів з урахуванням просторової роботи, тріщиноутворення, умов обпирання, дефектів, та методів використання ефекту просторової роботи

для виявлення резервів несучої здатності залізобетонних перекриттів під час їх обстеження та підсилення.

Задачі досліджень:

- розроблення загального методу розрахунку збірних, монолітних і збірно-монолітних плоских залізобетонних перекриттів з урахуванням просторової роботи, що дозволяє з єдиних позицій підходити до проектування різних видів плоских перекриттів;

- розроблення ряду окремих методик розрахунку, які уточнюють і доповнюють загальний метод, враховують тріщиноутворення, умови обпирання, дефекти та інші фактори, що впливають на напружено-деформований стан перекриттів;

- виконання експериментальних досліджень напружено-деформованого стану фрагментів збірних суцільних, збірних пустотних і монолітних ребристих перекриттів;

- розроблення методів оцінки впливу просторової роботи на НДС залізобетонних перекриттів із дефектами й пошкодженнями, з урахуванням часткового закладення в стіни, виду обпирання, обмеження деформацій з метою зменшення матеріаломісткості та виявлення резервів їх несучої здатності при обстеженні експлуатованих і проектуванні нових перекриттів;

- розроблення конструктивних заходів для підвищення ефекту просторової роботи, в тому числі нових конструкцій залізобетонних перекриттів, оцінка ефективності їх просторової роботи, а також розробка методів розрахунку підсилених конструкцій і страхувальних пристроїв з урахуванням просторової роботи;

- проведення теоретичних і числових досліджень НДС плоских залізобетонних перекриттів, що знаходяться під впливом вертикальних рівномірних та нерівномірних навантажень, вибір розрахункових МКЕ - і теоретичних схем для розрахунку зусиль та переміщень елементів перекриттів; розроблення інженерних методів просторового розрахунку для варіантного проектування з урахуванням невідповідного сполучення навантажень.

Об'єкт дослідження – залізобетонні збірні, монолітні і збірно-монолітні перекриття та покриття будівель і споруд.

Предмет дослідження – просторова робота залізобетонних плоских перекриттів з урахуванням тріщин, дефектів, умов обпирання; розрахункові моделі для оцінки їх фактичного напружено-деформованого стану.

Методи досліджень:

- аналітичні методи будівельної механіки з використанням теоретичних дискретно-континуальних моделей – для розроблення загального методу розрахунку залізобетонних перекриттів з урахуванням різних факторів;

- методи експериментального дослідження роботи монолітних і збірних залізобетонних перекриттів;

- метод кінцевих елементів – для аналізу просторової роботи перекриттів і порівняння з розробленими методами.

Наукова новизна отриманих результатів:

- дістав подальший розвиток метод Власова В.З., оскільки вперше виведена в загальному розгорненому вигляді й розв’язана система диференціальних рівнянь для визначення всіх складових внутрішніх зусиль по лініях розтину плитно-ребристих систем перекриттів;

- експериментальним шляхом одержані дані, які, на відміну від існуючих, показують можливість руйнування від відриву частини плити над шпонкою у складі збірною перекриття, незначний вплив жорсткості ригелів на сумісну роботу збірних плит;

- на основі окремих випадків виведеної загальної системи рівнянь і врахування додаткових факторів отримані розв’язання задач про напружено-деформований стан перекриттів зі збірних пустотних плит, зокрема з урахуванням зсуву монолітного шва, збірних ребристих плит, монолітних ребристих і кесонних перекриттів;

- вперше запропоновано використання єдиних фіктивних зусиль по лініях розсічення перекриттів для імітації різних жорсткісних параметрів ребер та полиць, що дозволило з істотно меншою, ніж у МКЕ, кількістю невідомих одержати розв’язок задачі з урахуванням зміни згинальних і крутильних жорсткостей елементів перекриттів у результаті тріщиноутворення;

- запропонована методика визначення жорсткостей елементів перекриттів на кручення та згин, де, на відміну від існуючих, враховані нормальні й похилі тріщини як у полицях, так і в ребрах таврових елементів, використана інтегральна оцінка тріщиноутворення та двовісного напруженого стану полиць;

- обґрунтована стрижнева апроксимація суцільних і ребристих перекриттів, де, на відміну від існуючих підходів, враховано кручення стрижнів, що імітують роботу полиць, та розроблена методика визначення їх жорсткісних характеристик, що дозволило відмовитися від застосування діагональних апроксимуючих стрижнів;

- удосконалені методики просторового розрахунку збірних і монолітних перекриттів, у яких, на відміну від існуючих, на основі загального методу враховані такі фактори: кручення полиць, подовжній згин, опір пружної основи, часткове закладення плит у стіни, осідання опор;

- запропоновані принципи варіантного проектування з використанням розробленої наближеної методики розрахунку без застосування ЕОМ, які, на відміну від існуючих, враховують різне положення локальних навантажень, не вигідне сполучення зусиль, відрив частини збірних пустотних плит над шпонкою, кручення головних балок монолітних перекриттів;

- удосконалена методика розрахунку ригелів спільно зі збірним настилом, де вперше враховані не тільки дотичні, але й вертикальні сили взаємодії, отримані за допомогою теорії складених стрижнів та здатні створити як позитивний, так і негативний вплив на спільну роботу збірних плит

із ригелем;

- запропоновані нова конструкція збірною залізобетонного перекриття у вигляді порожнистого трикутного перерізу, яка, на відміну від існуючих таврових, має значно більшу жорсткість на кручення, і конструктивні заходи, котрі в сукупності істотно підвищують ефект просторової роботи;

- у результаті аналізу розрахунків багатьох варіантів перекриттів отримані дані, що дозволяють виявити вплив зсуву монолітного шва на роботу збірних перекриттів, вплив на просторову роботу збірних ребристих перекриттів таких факторів, як товщина полиці, жорсткість поперечних ребер, крутильна жорсткість подовжніх ребер, ексцентриситет прикладення навантажень;

- на основі використання ефекту просторової роботи запропоновані принципи виявлення резервів несучої здатності та жорсткості під час обстеження, що дозволяють, на відміну від існуючих підходів, у багатьох випадках відмовитися від посилення конструкцій з дефектами за рахунок перерозподілу зусиль на непошкоджені ділянки.

Практичне значення одержаних результатів роботи:

- розроблені й впроваджені методи розрахунку, які дозволяють визначати напружено-деформований стан і несучу здатність при проектуванні нових та підсиленні існуючих залізобетонних перекриттів різних типів з урахуванням просторової роботи й факторів, що впливають на їх напружено-деформований стан;

- експериментально підтверджена можливість використання просторової роботи на всіх стадіях напруженого стану залізобетонних перекриттів, можливість існування нових типів руйнування збірних плит перекриття, що дало змогу розробити відповідні методики розрахунку і застосувати їх на практиці;

- розроблені нова конструкція та конструктивні засоби, які дозволяють збільшити ефект просторової роботи перекриттів, виявити резерви їх несучої здатності й жорсткості, розроблені методи розрахунку залізобетонних перекриттів під час їх обстеження і підсилення з урахуванням дефектів та наявності страхувальних пристроїв;

- створено інженерну методику розрахунку залізобетонних перекриттів, яка забезпечує раціональне використання матеріалів на основі обвідних епюр з урахуванням невігідного сполучення локальних і суцільних навантажень, умов обпирання, тріщин, дефектів.

Отримані теоретичні й експериментальні результати розвивають методи розрахунку залізобетонних перекриттів, забезпечують рішення актуальних прикладних задач, а також економічні та надійні проектно-конструкторські рішення. При цьому можливе об'єктивне оцінювання НДС, міцності й жорсткості конструктивних елементів перекриттів, які проектуються на стадії нового будівництва, а також експлуатуються тривалий час і вимагають підсилення та

усунення дефектів та експлуатаційних пошкоджень.

Запропоновані методи розрахунку використані:

- Держбудом України в “Методичних вказівках з врахування сумісної роботи плит в диску перекриття при проектуванні та реконструкції будівель” (шифр 834.95-95) – 1995р.; при розробці пропозицій з теми “Проведення експериментальної перевірки спільної роботи плит в диску перекриття (для обліку при реконструкції підприємств і проектуванні ділянок перекриттів із підвищеним навантаженням)”, де автор виступав як керівник теми та відповідальний виконавець (шифр Держбуду України №523.93-94) – 1993 і 1994 рр;

- Сумським ЦНДПромбудов Держбуду України у розробці проекту реконструкції та підсилення обрубних відділень цеху середнього литва Сумського заводу “Центролит” у частині врахування просторової роботи збірних ребристих плит для розробки проекту підсилення – 1992р.; у проекті заміни монолітних бункерних балок на збірні для складу заповнювачів ДБК Сумського заводу ім. Фрунзе в частині врахування обмежених деформацій кручення балок перекриття бункерної галереї; у проекті посилення мосту із залізобетонною плитою через річку Сумку в м. Суми в частині розрахунку залізобетонної плити з урахуванням просторової роботи і визначення частки навантаження на несучі ферми при дії локальних транспортних навантажень – 1999р;

- науково-виробничою фірмою “Реконструкція” в проектах підсилення покриттів корпусів №1 і №2 ЗАТ “Глуховецький каоліновий комбінат” у частині врахування просторової роботи під час обстеження плит – 2003р; у проекті підсилення торгово-розважального комплексу в м. Тульчин Вінницької області в частині врахування просторової роботи при обстеженні плит – 2005р;

- фірмою “Вторма” в проекті реконструкції будівлі зварювального цеху фірми “Вторма” у м. Умані Черкаської області в частині врахування просторової роботи плит покриття розмірами 3x12м – 2005р; у проекті реконструкції шестиповерхової будівлі колишнього будинку побуту „Мрія” по вул. Більшовицькій у м. Умані в частині обліку просторової роботи локально перенавантажених ділянок перекриттів із збірних залізобетонних багатопустотних плит і ділянок з пробитими отворами для пропуску комунікацій;

- підприємством “Уманьбудпроект” для проектування залізобетонних перекриттів в проекті корегування III черги будівництва 208 кв. житлового будинку по вул. Жовтневій, 83 у м. Умані; при проектуванні залізобетонних перекриттів в проекті корегування 27 квартирною житлового будинку по вул. Леніна, 20 у м. Умані; при проектуванні залізобетонних перекриттів плавального басейну УДПУ по вул. Садовій, 34 у м. Умані;

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Особисто здобувачем без співавторів опубліковано 2 монографії та 24 роботи у журналах, матеріалах конференцій, семінарів. У співавторстві опубліковано 11 робіт.

Особистий внесок здобувача в спільно опублікованих роботах полягає в наступному:

- ідея і розроблення методики розрахунку сумісної роботи ригеля із збірним настилом; методики розрахунку збірно-монолітних перекриттів, у яких плита не пов'язана жорстко з несучими балками; методики розрахунку збірних плит, об'єднаних дискретними з'єднаннями; методики розрахунку перекриттів із збірних пустотних плит з урахуванням зсуву монолітного шва; розроблення методики розрахунку збірних перекриттів з урахуванням тріщини утворення; методики розрахунку страхувальних канатів у збірних перекриттях, проведення розрахунків і їх аналіз [5,11,12,14,18,21,26,30,31,33];

- проведення просторових розрахунків і їх аналіз для нового типу збірного залізобетонного перекриття [9];

- планування і проведення експериментальних досліджень, їх аналіз [26];

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційного дослідження автор доповідав на таких конференціях і семінарах: на міжнародній науково-технічній конференції „Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях” (Суми, 1994 р.); на міжнародній конференції “Инженерные проблемы современного бетона и железобетона” (Білорусь, Мінськ, 1997 р.); на семінарі „Енергозберігаючі конструкції та технології в будівництві” (Суми, 1998 р.); на IV науково-технічній конференції „Будівництво в сейсмічних районах України” (Ялта, 1999 р.); на другій всеукраїнській науково-технічній конференції „Аварії на будівлях и спорудах та їх попередження” (Київ, 1999 р.); на другій всеукраїнській науково-технічній конференції „Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону” (Київ, 1999 р.); на всеукраїнській науково-технічній конференції „Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми” (Київ, 2001 р.); на науково-технічній конференції „Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону” (2003 р.); на науково-технічній конференції „Будівництво в сейсмічних районах України” (Ялта, 2004 р.); на науково-технічній конференції „Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону” (Суми, 2005 р.); на науково-технічних конференціях Сумського національного аграрного університету у 1992-2000 рр., на науково-технічній конференції, присвяченій 100-річчю професора Єременок П.Л. (Одеса, 2006 р.).

У повному обсязі дисертаційну роботу автор доповідав: на розширеному засіданні кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (грудень 2005 р.); на розширеному засіданні кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Одеської державної академії будівництва і архітектури (грудень 2005р.); на розширеному засіданні кафедри будівельних конструкцій та мостів національного університету “Львівська політехніка” (січень 2006р.); на засіданні наукового семінару з будівельних конструкцій секції “Будівництво” Інженерної академії України (Харків, лютий 2006 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у двох монографіях без співавторів і

35-ти статтях у науково-технічних журналах, збірках праць та матеріалах конференцій, патентів.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку літератури, додатків.

Дисертація викладена на 406-ти сторінках, зокрема 289 сторінок основного тексту, 38 сторінок списку літератури, 74 повних сторінки з рисунками, 5 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, показана її актуальність, наведені результати, отримані в роботі, її наукова новизна, апробація результатів досліджень, особистий внесок автора, практичне значення роботи.

У першому розділі подано короткий аналіз теоретичних та експериментальних досліджень збірних, монолітних і збірно-монолітних залізобетонних перекриттів, методів їх розрахунку.

Експериментальному й теоретичному дослідженню збірних і монолітних перекриттів, їх стиків та елементів присвячені роботи Айвазова Р.Л., Арзуманяна К.М., Байкова В.М., Буракаса А.І., Горнова В.Н., Дорофєєва В.С., Дроздова П.Ф., Залєсова О.С., Карабанова Б.В., Карповського М.Г., Кирєєвой Е.І., Краснощокєва Ю.В., Лабозина П.Г., Лишака В.І., Митрофанова В.П., Санникова І.В., Семченкова О.С., Стороженка Л.І., Фомиці Л.М., Шагіна О.Л., Шмуклра В.С., Lubel L., Piere Lutrin та інших. Показано, що просторова робота всіх видів перекриттів при дії вертикальних навантажень має найважливіше значення і істотно впливає на НДС окремих елементів. Разом із тим існує дефіцит єдності підходу до розрахунку різних видів плоских перекриттів і покриттів.

Відмічено, що просторова робота збірних перекриттів схожа на роботу прогонових будов мостів. Дослідженням роботи прогонових будов мостів присвячені праці Олександрова А.В., Гібшмана М.Е., Донченка В.Г., Іваника І.Г., Ігнатєєва Є.Г., Кваші В.Г., Ковалє П.М., Лантуха-Лященка А.І., Лівшица Я.Д., Оніщенка М.М., Поливанова Н.І., Собко Ю.М., Трифонова І.А., Улицького Б.Е., Уткіна В.А. та інших. Зазначено, що просторова робота мостових споруд при дії вертикальних навантажень залежить від схем прикладення навантажень, співвідношення жорсткісних параметрів несучих елементів. Методи розрахунку в основному ґрунтуються на апроксимації невідомих зусиль у вигляді певних функцій, змінність жорсткостей, як правило, враховується у вигляді еквівалентних жорсткостей.

Дослідженню схем завантаження й обпирання різних видів перекриттів і покриттів присвячені роботи Аппак Д.А., Довейка В.Ю., Крамаря В.Г., Кожухова Ю.І., Мітчелла Г.Р., Орловського Ю.І., Пічугіна С.Ф., Сно В.Н. та інших. Показано, що перекриття і покриття можуть бути завантажені рівномірно і нерівномірно, що обов'язково має враховуватись у просторових розрахунках. Часткове

закладення збірних плит у стіни впливає на НДС плит, які працюють за шарнірно-обпертою схемою, що також має враховуватися при проектуванні.

Проблемам роботи і розрахунку перекриттів із накладною плитою, не пов'язаною жорстко з несучими ребрами (балками), зокрема по профільованому настилу, присвячені праці Багатурії Ф.І., Бактигулова К., Богданова А.А., Воронкова Р.В., Голосова В.Н., Додонова М.І., Карповського М.Г., Онуфрієва Н.М., Панаріна Я.Я., Шагіна О.Л. та інших. Зазначено особливості роботи перекриттів, у яких нерівномірне вертикальне навантаження між балками не закручує головні балки, що впливає на перерозподіл зусиль між елементами.

Дослідженню роботи великорозмірних плит на прогін, збірних пустотних плит і інших конструкцій у вигляді плит при урахуванні тріщин, нелінійних властивостей та інших факторів, що впливають на жорсткість, присвячені роботи Бамбури А.М., Бердичевського Г.І., Бондаренка В.М., Давидова В.А., Карпенка М.І., Клевцова В.А., Рогового С.І., Складнева М.М., Шагіна О.Л., Forket L., Kuczunski W. та інших.

Підсиленням залізобетонних перекриттів і розробленням методів розрахунку підсилених конструкцій займалися Бабич Є.М., Барашиков А.Я., Бондаренко С.В., Гнідець Б.Г., Гольшев А.Б., Дорофєєв В.С., Клименко Ф.Є., Лазовський Д.Н., Стороженко Л.І., Шагін О.Л., Яременко О.Ф. та інші.

Розрахунку різних пружних суцільних і ребристих систем, у т.ч. перекриттів різними методами, включаючи й МКЕ присвячені роботи Бідермана В.Л., Власова В.З., Додонова М.І., Дроздова П.Ф., Карабанова Б.В., Кодиша Е.Н., Лантуха-Лященко А.І., Леонтєєва Н.Н., Маміна О.М., Немчинова Ю.І., Ржаніцина О.Р., Саннікова І.В., Трьокіна М.М., Фурсова В.В., Шагіна О.Л., Шмуклера В.С., Яременка О.Ф., Cheung Y.K., Ginke E., Homberg H, Huber M. та інших.

У розділі проаналізовані переваги і недоліки проведених раніше досліджень, методів розрахунку. Показано вплив тріщин, інших жорсткісних і навантажувальних параметрів на НДС перекриттів і покриттів; мало досліджені способи урахування просторової роботи для оцінки резервів несучої здатності збірних та монолітних перекриттів. На основі здійсненого аналізу визначені завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ дисертації присвячено розробленню загального методу розрахунку з урахуванням просторової роботи плоских перекриттів під дією вертикальних навантажень. Метод розрахунку суцільних і ребристих перекриттів ґрунтується на дискретно-континуальній моделі Власова В.З. Перекриття розсікається поздовжніми площинами вздовж прогонів на окремі таврові (в загальному випадку) балки (лінійні кінцеві елементи – рис. 1).

Рис. 1. Схема розподілу ребристого перекриття на лінійні кінцеві елементи
Виведено систему диференціальних рівнянь у загальному розгорнутому вигляді для

визначення невідомих зусиль, що діють по лініях розсічення (рис. 2)

Рис. 2. Схема внутрішніх зусиль, які підлягають визначенню для i -того відділеного елемента

Типовий рядок системи диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{L_i \cdot R_i}{EIP_i} - \frac{1}{EA_i} - \frac{b_i^2}{EI_i} \right) \cdot T_{i-1}'' + \left(\frac{1}{EA_i} + \frac{b_i^2}{EI_i} + \frac{R_i^2}{EIP_i} + \frac{1}{EA_{i+1}} + \frac{b_{i+1}^2}{EI_{i+1}} + \frac{L_{i+1}}{EIP_{i+1}} \right) \cdot T_i'' + \\
& \left(\frac{1}{EA_{i+1}} + \frac{b_{i+1}^2}{EI_{i+1}} - \frac{R_{i+1} \cdot L_{i+1}}{EIP_{i+1}} \right) \cdot T_{i+1}'' + \left(\frac{b_i}{EI_i} \right) \cdot MS_{i-1}'' + \left(-\frac{b_i}{EI_i} - \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \right) \cdot MS_i'' + \\
& \left(\frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \right) \cdot MS_{i+1}'' + \left(\frac{R_i}{EIP_i} \right) \cdot MH_{i-1}'' + \left(-\frac{R_i}{EIP_i} + \frac{L_{i+1}}{EIP_{i+1}} \right) \cdot MH_i'' + \left(\frac{L_{i+1}}{EIP_{i+1}} \right) \cdot MH_{i+1}'' = \\
& = \frac{b_i}{EI_i} \cdot MQ_i'' - \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \cdot MQ_{i+1}''; \\
& \left(\frac{b_i}{EI_i} \right) \cdot T_{i-1} + \left(-\frac{b_i}{EI_i} - \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \right) \cdot T_i + \left(\frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \right) \cdot T_{i+1} + \left(-\frac{1}{EI_i} \right) \cdot MS_{i-1} + \left(\frac{1}{EI_i} + \frac{1}{EI_{i+1}} \right) \cdot MS_i - \\
& \frac{1}{EI_{i+1}} \cdot MS_{i+1} + \frac{L_i \cdot R_i}{GI_i} \cdot MS_{i-1}'' + \left(\frac{R_i^2}{GI_i} + \frac{L_{i+1}^2}{GI_{i+1}} \right) \cdot MS_i'' + \frac{L_{i+1} \cdot R_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MS_{i+1}'' + \\
& + \left(\frac{R_i^3}{3D_i} + \frac{L_{i+1}^3}{3D_{i+1}} \right) \cdot MS_i^{iv} + \frac{R_i}{GI_i} \cdot M_{i-1} + \left(\frac{L_{i+1}}{GI_{i+1}} - \frac{R_i}{GI_i} \right) \cdot M_i - \frac{L_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot M_{i+1} + \\
& + \left(\frac{L_{i+1}^2}{2D_i} - \frac{R_i^2}{2D_i} \right) \cdot M_i'' + \frac{b_i \cdot R_i}{GI_i} \cdot MH_{i-1}'' + \left(\frac{b_{i+1} \cdot L_{i+1}}{GI_{i+1}} - \frac{b_i \cdot R_i}{GI_i} \right) \cdot MH_i'' - \\
& - \frac{b_{i+1} \cdot L_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MH_{i+1}'' = \frac{1}{EI_{i+1}} \cdot MQ_{i+1} - \frac{1}{EI_i} \cdot MQ_i; \\
& \frac{L_i}{GI_i} \cdot MS_{i-1}'' + \left(\frac{R_i}{GI_i} - \frac{L_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) \cdot MS_i'' - \frac{R_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MS_{i+1}'' + \left(\frac{R_i^2}{2D_i} - \frac{L_{i+1}^2}{2D_{i+1}} \right) \cdot MS_i^{iv} + \\
& + \frac{1}{GI_i} \cdot M_{i-1} + \left(-\frac{1}{GI_i} - \frac{1}{GI_{i+1}} \right) \cdot M_i + \frac{1}{GI_{i+1}} \cdot M_{i+1} - \left(\frac{R_i}{D_i} + \frac{L_{i+1}}{D_{i+1}} \right) \cdot M_i'' + \\
& + \frac{b_i}{GI_i} \cdot MH_{i-1}'' + \left(-\frac{b_i}{GI_i} - \frac{b_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) \cdot MH_i'' + \frac{b_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MH_{i+1}'' = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{L_i}{EIP_i} \cdot T_{i-1} + \left(\frac{R_i}{EIP_i} - \frac{L_{i+1}}{EIP_{i+1}} \right) \cdot T_i - \frac{R_{i+1}}{EIP_{i+1}} \cdot T_{i+1} + \frac{b_i \cdot L_i}{GI_i} \cdot MS_{i-1}'' + \left(\frac{b_i \cdot R_i}{GI_i} - \frac{b_{i+1} \cdot L_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) \times \\
& \times MS_i'' - \frac{b_{i+1} \cdot R_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MS_{i+1}'' + \frac{b_i}{GI_i} \cdot M_{i-1} + \left(-\frac{b_i}{GI_i} - \frac{b_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) \cdot M_i + \frac{b_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot M_{i+1} + \\
& + \frac{1}{EIP_i} \cdot MH_{i-1} + \left(-\frac{1}{EIP_i} - \frac{1}{EIP_{i+1}} \right) \cdot MH_i + \frac{1}{EIP_{i+1}} \cdot MH_{i+1} + \frac{b_i^2}{GI_i} \cdot MH_{i-1}'' + \\
& + \left(-\frac{b_i^2}{GI_i} - \frac{b_{i+1}^2}{GI_{i+1}} \right) \cdot MH_i'' + \frac{b_{i+1}^2}{GI_{i+1}} \cdot MH_{i+1}'' = 0
\end{aligned} \tag{1}$$

У формулах (1) позначено: L_i , R_i – відстані від центра ваги відповідно до перерізу зліва і справа i - того відсіченого тавра; EI_i , EIP_i , GI_i – відповідно згинальна жорсткість у вертикальному напрямі, згинальна жорсткість у горизонтальному напрямі та крутильна жорсткість таврового елемента; EA_i – осьова жорсткість елемента; D_i – циліндрова жорсткість полиці; b_i – відстань по вертикалі від центра ваги перерізу до осі полиці; $MS_i = MS_i(x)$ – функція згинальних моментів від невідомих вертикальних зусиль $S_i(x)$, пов'язана з останніми диференціальною залежністю $MS_i''(x) = S_i(x)$; $MH_i = MH_i(x)$ – функція згинальних моментів у горизонтальному напрямі від зусиль розпору $H_i(x)$, пов'язана з останньою залежністю $MH_i''(x) = H_i(x)$; $MQ_i = MQ_i(x)$ – функція згинальних моментів від зовнішнього навантаження q_i .

Рівняння (1) записують для кожного поздовжнього перерізу.

Розв'язування системи (1) здійснюється за допомогою тригонометричних рядів Фур'є, в результаті чого з'являється система алгебраїчних рівнянь, у яких невідомими є коефіцієнти Фур'є функції зусиль, котрі підлягають визначенню.

Загальна система (1) легко перетворюється в окремі випадки розрахунку монолітних і суцільних плит, розрахунку збірних пустотних настилів. У такому випадку для ребристого перекриття жорсткість ребра приймається як жорсткість реального таврового елемента, що компенсує виключення дотичних сил $T_i(x)$, а для суцільного перекриття жорсткість умовного ребра прирівнюється до реальної жорсткості суцільної відсіченої смуги (рис. 3). Точність розрахунків від такого спрощення практично не змінюється.

Рис. 3. До розрахунку суцільного перекриття запропонованим методом:

а) – схема поділення; б) – виділений лінійний кінцевий елемент

У такому випадку в рівняннях враховуються тільки зусилля MS_i та M_i .

Система рівнянь для цих перекриттів значно спрощується і має вигляд:

$$\begin{aligned}
& -\frac{MS_{i-1}}{EI_i} + \left(\frac{1}{EI_i} + \frac{1}{EI_{i+1}} \right) \cdot MS_i - \frac{MS_{i+1}}{EI_{i+1}} - \frac{R_i \cdot L_i}{GI_i} \cdot MS_{i-1}'' - \left(\frac{R_i^2}{GI_i} + \frac{L_{i+1}^2}{GI_{i+1}} \right) \cdot MS_i'' - \\
& - \frac{L_{i+1} \cdot R_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MS_{i+1}'' + \left(\frac{R_i^3}{3D_i} + \frac{L_{i+1}^3}{3D_{i+1}} \right) \cdot MS_i^{iv} + \frac{R_i}{GI_i} \cdot M_{i-1} + \left(-\frac{R_i}{GI_i} + \frac{L_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) \cdot M_i - \\
& - \frac{L_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot M_{i+1} + \left(\frac{R_i^2}{2D_i} - \frac{L_{i+1}^2}{2D_{i+1}} \right) \cdot M_i'' = \frac{MQ_{i+1}}{EI_{i+1}} - \frac{MQ_i}{EI_i}; \\
& - \frac{L_i}{GI_i} \cdot MS_{i-1}'' + \left(-\frac{R_i}{GI_i} + \frac{L_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) \cdot MS_i'' + \frac{R_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MS_{i+1}'' + \left(\frac{R_i^2}{2D_i} - \frac{L_{i+1}^2}{2D_{i+1}} \right) \cdot MS_i^{iv} + \\
& + \frac{M_{i-1}}{GI_i} - \left(\frac{1}{GI_i} + \frac{1}{GI_{i+1}} \right) \cdot M_i + \frac{M_{i+1}}{GI_{i+1}} + \left(\frac{R_i}{D_i} + \frac{L_{i+1}}{D_{i+1}} \right) \cdot M_i'' = 0
\end{aligned} \tag{2}$$

При розрахунку збірних пустотних настилів враховується зсув монолітного шва шляхом введення еквівалентної товщини полиці розрахункової ребристої системи (рис. 4). У такому випадку по лініях сполучення збірних плит враховуються тільки вертикальні зусилля $S_i(x)$. Загальна система рівнянь (1) має вигляд:

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{EI_i} \cdot MS_{i-1} + \left(\frac{1}{EI_i} + \frac{1}{EI_{i+1}} \right) \cdot MS_i + \frac{1}{EI_{i+1}} \cdot MS_{i+1} + \frac{L_i \cdot R_i}{GI_i} \cdot MS_{i-1}'' + \left(\frac{R_i^2}{GI_i} + \frac{L_{i+1}^2}{GI_{i+1}} \right) \times \\
& \times MS_i'' + \frac{L_{i+1} \cdot R_{i+1}}{GI_{i+1}} \cdot MS_{i+1}'' + \left(\frac{R_i^3}{3D_i} + \frac{L_{i+1}^3}{3D_{i+1}} \right) \cdot MS_i^{iv} = \frac{1}{EI_{i+1}} \cdot MQ_{i+1} - \frac{1}{EI_i} \cdot MQ_i,
\end{aligned} \tag{3}$$

де невідомими є тільки функції $MS_i(x)$.

Еквівалентна товщина полиці для врахування зсуву монолітного шва визначається виразом:

$$h_{ekv} = \sqrt[3]{\frac{4(-\mu^2) \cdot (b + b_s)^3}{E \left(\frac{b^3}{3D} + \frac{b_s}{G_s \cdot h_s} \right)}}, \tag{4}$$

де μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу перекриття; b_s – товщина монолітного шва (товщина шпонки); G_s – модуль зсуву бетону монолітного шва; b – половина ширини плити; D – циліндрова жорсткість плити з урахуванням пустот у поперечному напрямі.

Розрахунок збірного ребристого перекриття також проводиться як окремий випадок загальної системи, де утримуються тільки зусилля S_i та M_i . У перерізах між ребрами однієї плити враховуються обидва цих зусилля, в перерізах монолітного шва – тільки вертикальні зусилля S_i , як показано на рис.5.

Рис. 4. До розрахунку збірного перекриття з урахуванням згину пустотних плит у поперечному напрямку і зсуву монолітного шва: а) – реальна схема; б) – схема деформування поперечного перерізу перекриття; в) – розрахункова схема

Рис. 5. Реальна (а) і розрахункова (б) схеми збірного ребристого перекриття для розрахунку запропонованим методом

Жорсткість умовних прямокутників прирівнюється реальній жорсткості таврового перерізу, розрахованого за реальними розмірами П-подібної плити, що дозволяє не враховувати дотичні сили по лініях розрізу

Розглянуто методику розрахунку з урахуванням поздовжнього вигину. В такому випадку рівняння методу сил перетворюються в змішані диференціальні рівняння методу сил і переміщень з додатковими невідомими переміщень ребер.

На основі загального методу розроблена методика розрахунку ребристого перекриття, ребра якого спираються на пружну основу, методика розрахунку з урахуванням осідання опор, коли ребра спираються на піддатливі опори (ригелі, балки), а також методика розрахунку при наявності дефектів монтажу плит.

Наведено спосіб урахування дії переривчастих та зосереджених навантажень за допомогою представлення функції навантаження одиничною функцією Хевісайда.

Другий розділ присвячено також розробленню методу врахування тріщиноутворення в ребрах і полицях ребристого перекриття. Один із способів полягає в прикладенні фіктивних погонних сил по лініях розрізу. Величина цих сил ітераційно підбирається з умови рівності переміщень реальної полиці і ребра з тріщинами переміщенням полиці та ребра з первинними жорсткостями від дії невідомих зусиль, які підлягають визначенню, і фіктивних зусиль, заданих у правих частинах розв'язуваних рівнянь. Перевагою такого підходу є те, що розв'язувані диференціальні рівняння є рівняннями з постійними коефіцієнтами, що полегшує їх розв'язання. Другий спосіб являє собою рішення диференціальних рівнянь основної системи із змінними коефіцієнтами методом кінцевих різниць. Третій спосіб полягає в застосуванні методу еквівалентних жорсткостей.

Показано, що у разі стрибкоподібної зміни жорсткості (дефекти, отвори, вирізи) використання методу еквівалентних жорсткостей небажане, оскільки призводить до відчутних похибок. Запропонований метод дозволяє використовувати в розрахунках реальні жорсткості, в т.ч. і зі стрибкоподібною зміною.

Наведено два способи врахування неосьового прикладення навантаження: точний та

наближений із введенням фіктивних ребер із “нульовою” жорсткістю в місце дії навантаження. Показано, що при прикладенні смугового навантаження несиметрично щодо подовжньої осі збірної плити НДС останньої може істотно відрізнятись.

У другому розділі наведено також розроблену методику розрахунку за допомогою розчленування ребристої (у загальному випадку) системи на окремі балки (ребра) та плити з введенням у місці примикання полиці до ребер циліндрових шарнірів і визначенням невідомих функцій моментів по довжині плити в місці введення шарнірів (рис. 6).

Перевагою цього методу є те, що у такому разі зникає складність урахування крутильної жорсткості таврового елемента з тріщинами в полиці та ребрі, оскільки складовими елементами системи є чотирикутні ребра і плоскі полиці. Крім того, не потрібно диференціювати функції крутильної та згинальної жорсткостей, що має переваги в розрахунках з урахуванням тріщиноутворення.

Рис. 6. Реальна (а) і розрахункова (б) схема збірної ребристої плити (поперечний переріз) у розрахунках запропонованим методом

Наприклад, перше диференціальне рівняння системи у такому разі для ребристої П-подібної плити для умови сумісності деформацій ребра зліва має такий вигляд:

$$\left(\frac{a}{3D}MS_1''\right)'' + \frac{a}{GI_1}MS_1'' + U \cdot MS_1 + \left(\frac{a}{6D}MS_2''\right)'' - U \cdot MS_2 + \frac{C_1}{GI_1}MH'' = -k \cdot MQ \quad (5)$$

де позначено: $U = \frac{1}{a \cdot EI_1} + \frac{1}{a \cdot EI_2}$; MQ – функція згинальних моментів від зовнішнього навантаження q ; a – половина відстані між ребрами; решта позначень не відрізняється від вищенаведених. У такому випадку спочатку визначаються невідомі функції $MS_i(x)$ і $MH(x)$, а потім з урахуванням виразу $MS_i'' = m_i/a$ визначаються моменти $m_i(x)$.

Крім того, в другому розділі наводяться результати досліджень НДС перекриттів за методом кінцевих елементів (МКЕ). Показано, що представлення ребристого та суцільного перекриття у вигляді перехресно-стрижневої системи цілком виправдане і має високу точність такої апроксимації за умови правильного визначення жорсткостей апроксимуючих стрижнів, а також урахування крутильних моментів в стрижнях. Наведено методику визначення жорсткостей апроксимуючих стрижнів. Порівняння розрахунків за МКЕ (програми “Лира-Windows”, “RECON”) та за розробленим методом для деяких тестових задач у пружній стадії показало хорошу збіжність. На рис. 7 показані графіки зусиль, отримані на основі розрахунків ребристої системи з п'яти ребер

перерізом 250x250 мм прогоном 5 м; відстань між ребрами 1 м, товщина полиці 50 мм. Перший переріз – у середині між першим і другим ребрами; другий переріз – у середині між другим та третім ребрами. На середнє (третє) ребро діє навантаження $q=10$ кН/м.

При високому ступені збігу розрахунків за розробленими методами та за програмними комплексами “Лира-Windows”, “Recon” у пружній стадії застосування розроблених методів має перевагу в розрахунку з урахуванням утворення різного роду тріщин, у тому числі за методом фіктивних навантажень.

Рис. 7. Графіки зусиль, отримані за розрахунками ребристої системи з п’яти ребер:

1 – за методикою автора; 2 – за МКЕ; а) зусилля $S(x)$ в другому перерізі; б) поперечні моменти $M(x)$ у другому перерізі

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень двох натурних фрагментів перекриттів із пустотних плит, фрагмента монолітного ребристого перекриття і фрагмента збірного перекриття із суцільних плит, що опираються на балки.

У результаті випробування фрагментів із попередньо напружених багатопустотних плит і плит без попереднього напруження було підтверджено, що просторова робота збірного перекриття виявляється на всіх стадіях аж до руйнування. На всіх стадіях роботи спостерігається зсув монолітного шва, що підтверджує вимогу врахування цього фактора в розрахунках. Установлена можливість руйнування перекриття в результаті відриву верхньої частини шпонкового поглиблення збірної плити. Показано, що просторова робота перекриттів із збірних плит з відкритими шпонками може враховуватися тільки у разі наявності монолітної підлоги поверх збірних плит. Деформативність збірного перекриття до руйнування виявляється значно меншою деформативності одиночних плит, що згодом дозволило запропонувати рекомендації з послаблення вимог до деформативності плит за рахунок просторової роботи у випадках, коли діють локальні навантаження, за умови ретельного влаштування монолітних швів.

У результаті випробування фрагмента монолітного ребристого перекриття підтверджено теоретичний факт можливості появи як негативних, так і позитивних моментів у плитах у місцях їх примикання до ребер, що не враховується при традиційному проектуванні. Характер утворення поздовжніх тріщин підтверджує теоретичні дані про зону дії максимальних поперечних згинальних моментів.

Випробування фрагмента із збірних плит, які опираються на балки, підтвердило числові дослідження за МКЕ і за запропонованим методом, що зміна жорсткостей ригелів (балок) у реальних межах неістотно впливає на взаємодію збірних плит між собою.

У **четвертому розділі** наведено результати досліджень просторової роботи перекриттів під

час їх обстеження та підсилення. Подано схему влаштування зовнішньої арматури у вигляді канатів для страховки збірних перекриттів від руйнування при дії непередбачених навантажень. Розроблено методику розрахунку таких канатів з урахуванням піддатливості проміжних опор і кінцевих ділянок. Наприклад, для каната з декількома горизонтальними ділянками різної жорсткості величина розпору визначається за формулою:

$$H = \sqrt[3]{\frac{D\omega}{3(l + 2a/k_1 + \frac{2b}{k_2})}}, \quad (6)$$

де $k_1 = B/\omega$; $k_2 = C/\omega$; C , B , ω – відповідно жорсткості на ділянках довжиною b , a та l . Пропонуються конструктивні схеми, що дозволяють зменшити розпір у страховальних канатах.

Наведено методику підсилення збірного перекриття за рахунок забезпечення просторової роботи шляхом зміни схеми його роботи за допомогою підведення зовнішнього армування впоперек поздовжніх ребер і розрахунок такого перекриття.

Розроблена методика розрахунку збірного перекриття, плити якого об'єднані дискретними в'язями в декількох точках прогону, котрі встановлюються за результатами обстеження. Наприклад, за наявності дискретних в'язей по одній у кожному шві збірного перекриття посередині прогону типовий рядок системи рівнянь для i -того перерізу має вигляд:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{a^2 l}{4GI_i} - \frac{l^3}{48EI_i} \right) X_{i-1} + \left(\frac{l^3}{48EI_i} + \frac{l^3}{48EI_{i+1}} + \frac{a^2 l}{4GI_i} + \frac{a^2 l}{4GI_{i+1}} + \frac{l_{sv}}{\omega_{sv}} \right) X_i + \\ & + \left(\frac{a^2 l}{4GI_{i+1}} - \frac{l^3}{48EI_{i+1}} \right) X_{i+1} = \frac{5q_{i+1}l^4}{384EI_{i+1}} - \frac{5q_i l^4}{384EI_i}, \end{aligned} \quad (7)$$

де a – половина ширини плити; l – прогін плит; EI_k , GI_k – відповідно згинальна жорсткість і жорсткість при крученні k -тої плити; X_i – зусилля в дискретних в'язях в i -тому шві. Після визначення невідомих кожна плита розглядається як статично визначена балка, завантажена зовнішнім навантаженням та невідомими зусиллями у в'язях зліва X_i і справа X_{i+1} .

Показано, що об'єднання дискретними в'язями збірних плит із дефектами у вигляді відсутності монолітних швів істотно зменшує зусилля, що діють в них, у результаті просторової роботи.

Розглянуто випадки відмови від підсилення збірних та монолітних перекриттів із різними дефектами за рахунок урахування просторової роботи. Показано, що під дією локальних навантажень у ребристому і збірному пустотному перекритті з отворами, частковою корозією арматури, відсутністю ділянок полиці та при інших дефектах використання розробленого методу

розрахунку дозволяє відмовитися від підсилення взагалі або підсилити тільки істотно пошкоджені ділянки.

Наведено точну і наближену методики розрахунку збірних і монолітних перекриттів, крайні плити або ребра яких опираються поздовжніми сторонами на стіни. Точна методика полягає в застосуванні умови, що по поздовжніх крайках вертикальні переміщення рівні нулю, що враховується відповідним чином в основних рівняннях. Наближене рішення задачі являє собою введення фіктивного ребра з “нескінченною” згинальною жорсткістю (рис. 8). Зазначено параметри підбору жорсткостей фіктивних ребер, котрі повинні бути підставленими в основні рівняння.

Рис. 8. Реальна і розрахункова схеми ребристого перекриття при опиранні на поздовжні стіни

У розділі наведено схему врахування резервів несучої здатності в елементах перекриття з обмеженими деформаціями при крученні. Розроблено методику розрахунку таких конструкцій. Для балки із в'язями, що обмежують крутильні деформації знизу та зверху її перерізу, зусилля в цих в'язях $P_1(x)$ і $P_2(x)$ визначаються за допомогою виведеного диференціального рівняння:

$$\begin{aligned} \delta_1''(x) &= \frac{b_1}{GI} \cdot d + \delta_1(x) \cdot \left(k_1 b_1 + k_2 b_2^2 / b_1 \right); \\ \delta_1(x) &= \frac{b_1}{b_2} \delta_2(x); P_i(x) = k_i \cdot \delta_i(x), \end{aligned} \quad (8)$$

де позначено: $\delta_1(x)$, $\delta_2(x)$ – переміщення точок відповідно нижньої та верхньої граней балки у напрямку осі y ; k_1 і k_2 – погонні коефіцієнти жорсткості відповідно нижніх та верхніх в'язей. Маючи вирази для $P_1(x)$ і $P_2(x)$ можна знайти значення крутильних моментів $M_t(x)$ залежно від жорсткості балки на кручення й осьових жорсткостей в'язей між балками. У дисертації зазначено, що обмеження деформацій може істотно зменшити зусилля в елементах перекриття.

Показано, що часткове закладення збірних плит у стіни зі штучних матеріалів також може бути використане як резерв несучої здатності. Розроблена методика визначення опорних згинальних моментів у місці закладення плит у стіни. У такому випадку частина плити (балки), яка закладена в стіну, розглядається як балка на пружній основі.

Невідомі опорні моменти M_0 і переміщення y_0 (рис. 9) визначаються з розв'язання виведеної системи рівнянь:

$$-y_0 \cdot 4\alpha^2 EIC_a - \left(-\frac{ql^3}{24EI} + \frac{M_o \ell}{2EI} \right) 4\alpha EID_a + M_o A_a + \frac{ql}{2} B_a / \alpha = 0;$$

$$-y_o \cdot 4\alpha^3 EIB_a - \left(-\frac{ql^3}{24EI} + \frac{M_o \ell}{2EI}\right) 4\alpha^2 EIC_a - M_o 4\alpha D_a + \frac{q\ell}{2} A_a = 0, \quad (9)$$

Рис. 9. Схема до визначення моменту в місці закладення плити в стіну

У Формулі (9) $b = \sqrt[3]{k/(4EI)}$; k – погонний коефіцієнт постелі кладки; EI – згинальна жорсткість плити (балки); l – її прогін; A_a , B_a , C_a і D_a – допоміжні функції при значенні координати $x=a$, де a – глибина закладення.

Зазначено, що величина опорного моменту істотно відрізняється від величини, яка приймається в розрахунках за діючими методиками (15% від максимального прогонового моменту). Показано, що розрахунковий апарат для визначення моменту в закладенні плити в стіну, на відміну від раніше застосованого суто емпіричного, дозволяє диференційовано підходити до підбору перерізу арматури верхньої сітки плит чи до відмови від її застосування. Викладено, яким чином урахування часткового закладення плит дає змогу при обстеженні полегшити підсилення або зовсім відмовитися від нього. Розроблена також методика розрахунку збірного перекриття з повним закладенням плит з урахуванням просторової роботи.

У четвертому розділі також наведено методику розрахунку сумісної роботи збірних плит з ригелями. Методика, котра ґрунтується на теорії складених стрижнів, дозволяє визначати не тільки дотичні, але й вертикальні зусилля взаємодії між ригелем і збірним настилом, що раніше не враховувалось у розрахунках. Показано, що врахування вертикальних зусиль є вельми важливим та що можливі випадки дії навантажень, у яких плити можуть відірватися від ригеля, що у свою чергу може привести до порушення сумісної роботи і зниження несучої здатності ригеля, розрахованого з урахуванням сумісної роботи з плитами.

П'ятий розділ присвячено розвитку загальної теорії та її застосуванню у розрахунках різних перекриттів і покриттів. Наведено методику розрахунку збірних ребристих плит на прогін, пустотних плит з урахуванням розпору у швах. Для розрахунку пустотних плит з урахуванням розпору із загальної системи рівнянь зберігаються тільки члени, що містять вертикальні зусилля $S_i(x)$ і сили розпору $H_i(x)$.

Розрахунки ребристих плит за запропонованою методикою дозволили зробити важливий висновок, що поперечні ребра повинні служити не тільки як опори полиці (у традиційних розрахунках), але й відігравати істотну роль у перерозподілі зовнішнього навантаження між поздовжніми ребрами. Методика також дозволяє розраховувати несиметрично завантажені ребристі плити без застосування ЕОМ та аналітично досліджувати залежності ступеню сприйняття зусиль ребрами плит від співвідношення жорсткостей їх полиць, поперечних і поздовжніх ребер.

Такий аналіз дав змогу зробити висновок, що для ефективної роботи плити потрібно намагатися збільшувати жорсткість поздовжнього ребра на кручення. Запропоновані методики перевірені порівнянням розрахунків деяких тестових задач за МКЕ.

На основі розрахунку збірних пустотних плит запропонованою методикою з урахуванням поперечного розпору зроблений висновок про можливість збільшення несучої здатності перекриття за рахунок збільшення згинальної жорсткості крайніх плит фрагмента в горизонтальному напрямі, оскільки в цьому випадку сили розпору істотно впливають на вертикальні зусилля взаємодії.

Використання запропонованих методів дозволяє отримати істотну економію арматури в перекриттях, а також підвищити надійність спроектованих перекриттів.

У п'ятому розділі також наведено методику розрахунку кесонних перекриттів. Показано, що при традиційному проектуванні кесонних перекриттів не враховуються деформації кручення ребер. Крім того, після утворення тріщин і появи різних жорсткостей у ребрах формули традиційного проектування стають некоректними. У запропонованому методі кесонне перекриття також розтинається поздовжніми площинами по одному з напрямів. Полицями умовних таврових балок служать балки поперечного напрямку з плитою. Полиці можуть мати як стрибкоподібну зміну жорсткостей, так і еквівалентний суцільний переріз.

У розділі наводиться метод розрахунку перекриттів з накладною залізобетонною плитою, в яких остання не пов'язана жорстко з ребрами (балками). У таких перекриттях на ребра передається тільки вертикальне навантаження, і вони не закручуються від нерівномірної деформації плити. Метод розрахунку полягає в тому, що в плиту вводяться циліндрові шарніри над головними балками. Дія шарнірів замінюється невідомими поперечними моментами $m_i(x)$ (рис.10). Виведено систему розв'язуваних диференціальних рівнянь для визначення невідомих функцій:

$$\begin{aligned} & \frac{a^2}{6D} MS_{i-1}^{IV} - \frac{a^2}{3D} MS_i^{IV} + \frac{1}{EI_i} \langle MS_{i-1} - 2MS_i + MS_{i+1} + MQ_i \rangle = \\ & - \frac{1}{EI_{i-1}} \langle MS_{i-2} - 2MS_{i-1} + MS_i + MQ_{i-1} \rangle = \frac{a^2}{3D} MS_i^{IV} + \frac{a^2}{6D} MS_{i+1}^{IV} + \\ & + \frac{1}{EI_{i+1}} \langle MS_i - 2MS_{i+1} + MS_{i+2} + MQ_{i+1} \rangle = \frac{1}{EI_i} \langle MS_{i-1} - 2MS_i + MS_{i+1} + MQ_i \rangle, \end{aligned} \quad (10)$$

де MS_i – функція згинальних моментів від вертикальних сил S_i , котрі виникають у результаті дії поперечних моментів m_i . При цьому $m_i(x) = S_i(x) \cdot a$; a – відстань між несучими балками. Циліндрові шарніри вводяться тільки на проміжних опорах плити. Як приклад на рис. 10 наведена схема для розрахунку запропонованим методом перекриття з чотирма несучими балками і накладною залізобетонною плитою.

Рис. 10. Схема для розрахунку перекриття з накладною залізобетонною плитою (поперечний переріз)

Перевагою методу є можливість безперешкодної зміни жорсткостей ребер (балок) у результаті тріщиноутворення, причому ця зміна може бути задана у вигляді будь-якої функції, зокрема стрибкоподібною. Зазначено, що цей фактор дозволяє у разі різкої зміни жорсткостей істотно уточнити розрахунки (рис. 11) порівняно з найбільш поширеним методом еквівалентних постійних жорсткостей.

Рис. 11. Епюри поперечних згинальних моментів $M_2(x)$ (кН·м/м) над другим ребром системи по рис.10 при реальній EI_{real} та еквівалентній EI_{ekv} жорсткостях зі стрибкоподібною зміною жорсткості одного ребра в опорній частині

У п'ятому розділі наводиться також метод розрахунку перекриттів із застосуванням коробчастих плит: принцип розрахунку точним методом і наближеним, який ґрунтується на заміні відсічених двотаврових балок фіктивними тавровими балками, і компенсацією такої заміни еквівалентною зміною згинальної жорсткості й жорсткості при крученні фіктивних балок. Показано, що в коробчастих системах із симетричним перерізом нижньої та верхньої плит точність розрахунку від такого наближення практично не страждає. Це підтверджено також порівняннями з розрахунками за МКЕ в пружній стадії.

У розділі викладено принципи розрахунку плит типу Т і ТТ за допомогою розробленого в дисертації методу, а також розрахунку головної балки монолітного перекриття. В останньому випадку в головних балках ураховуються крутні моменти, які впливають на їх НДС та не враховуються при традиційних розрахунках. У розділі наведені також принципи розрахунку панелей-оболонок із змінною по довжині прогону жорсткістю поздовжніх ребер.

Шостий розділ дисертації присвячений практичним методам розрахунку й обґрунтуванню переваг розроблених методів. Для практичних розрахунків при варіантному проектуванні для попереднього встановлення кількості арматури запропоновано метод визначення згинальних і крутних моментів у плитах збірного перекриття без попереднього розрахунку зусиль взаємодії між ними. Ці зусилля визначаються з апроксимації залежностей, отриманих із багатьох розрахунків різних перекриттів на основі розробленого загального методу.

Наведено методику визначення згинальних і крутних моментів, поперечних сил та переміщень в елементах перекриття, розрахунок міцності поздовжніх перерізів багатопустотних плит, у тому числі міцності на відрив частини збірної пустотної плити над шпонкою, розрахунок

міцності елементів ребристого перекриття, міцності монолітного шва, зокрема у випадках, коли осі шпонок суміжних плит не збігаються.

Запропоновано послабити вимоги до деформативності збірних перекриттів, крайні плити яких опираються поздовжніми сторонами, за рахунок врахування їх просторової роботи.

Наведено інженерну методику розрахунку міцності збірних ребристих плит, методику розрахунку монолітних ребристих перекриттів, яка ґрунтується на визначенні згинальних та крутних моментів розробленим методом з урахуванням можливого розташування постійних і тимчасових навантажень, побудовою обвідних епюр різних зусиль і підбору арматури по цих епюрах.

Зазначено, що в результаті розрахунку з урахуванням просторової роботи в полицях ребристого перекриття в місцях їх стику з ребрами можуть з'являтися не тільки негативні, але й позитивні моменти, що враховується під час проектування за допомогою обвідних епюр.

Показано, що просторова робота залежить від крутильної жорсткості ребер. У той же час відсутня методика визначення жорсткості на кручення залізобетонних елементів із нормальними тріщинами. У зв'язку із цим у шостому розділі розроблена методика визначення крутильної жорсткості елементів із нормальними тріщинами. Розроблено методику визначення жорсткості елементів залізобетонних перекриттів при крученні за наявності в полицях та ребрах нормальних і похилих тріщин з урахуванням інтегральної оцінки та двовісного напруженого стану полиць. Відмічено, що існуючі методи не дозволяють визначати жорсткість залізобетонного елемента з нормальними тріщинами на кручення. На основі розрахунків із використанням цієї методики зроблений важливий висновок про те, що після утворення тріщин крутильна жорсткість ребер ребристих перекриттів може зменшуватись як швидше за згинальну жорсткість, так і повільніше. Це ставить під сумнів існуючу раніше однозначну думку про більш швидке зменшення крутильної жорсткості порівняно зі згинальною, яка ґрунтується тільки на одноманітних експериментах. Показано, що крутильна жорсткість залежить від глибини тріщини, діаметра робочої арматури, довжини блока між тріщинами.

У розділі наведено результати порівняння розрахунків за розробленим методом з експериментальними дослідженнями, які описані в третьому розділі. На рис. 12 – 13 показано залежності “навантаження–прогин” для випробуваних фрагментів, отримані теоретично за розробленими методами й експериментально.

Рис. 12. Порівняння експериментальних прогинів із теоретичними у другому шві збірного перекриття із 4-х багатопустотних плит

Рис. 13. Порівняння експериментальних прогинів з теоретичними у 3-му ребрі фрагменту монолітного ребристого перекриття з п'яти ребер

У шостому розділі, крім того, наведено конструктивні пропозиції з поліпшення просторової роботи перекриттів. Показано, що в перекриттях із плит типу Т і ТТ ефект просторової роботи найменший у зв'язку з малою жорсткістю Т-подібного перерізу на кручення. Для збільшення крутильної жорсткості при збереженні параметрів згинальної запропонована конструкція, що суміщає в собі функції балки та плити з перерізом у вигляді порожнистого трикутника.

Поперечний переріз перекриття із плит у вигляді порожнистого трикутника показано на рис. 14. Такі плити виготовляються на будівельному майданчику. Плоскі елементи бетонуються на підлозі в горизонтальному положенні. Кути бетонуються після надання балці трикутної форми й установлення робочої арматури в робочій зоні.

Рис. 14. Поперечний переріз збірного перекриття з плит у вигляді порожнистого трикутника

При рівній жорсткості у вертикальному напрямі крутильна жорсткість і згинальна жорсткість у горизонтальному напрямі такої балки в багато разів перевищує відповідні жорсткості таврової балки. Показано, що просторова робота збірного перекриття, яке складається з таких елементів, істотно ефективніша, оскільки просторова робота залежить від крутильної жорсткості та згинальної жорсткості в горизонтальному напрямі.

Наведено наближений метод „ручного” розрахунку перекриттів з урахуванням просторової роботи. У таких розрахунках у тригонометричних рядах використовується тільки один член. Наближені розрахунки рекомендується проводити при варіантному проектуванні для визначення попередньої кількості арматури. Показано, що для збірних перекриттів похибка не перевищує 10%. Як приклад у таблиці 1 наведено результати розрахунку наближеним „ручним” методом збірного перекриття з п'яти багатопустотних плит шириною 1,5 м прогоном 6 м. Крайні плити перекриття обперти не тільки торцями, але й поздовжніми сторонами. Варіанти навантаження: 1 – усе перекриття завантажено рівномірно $q=8$ кН/м²; 2 – усі плити навантажені $q=4$ кН/м², локальне навантаження $q_{loc}=20$ кН/м² на першій плиті; 3 – локальне навантаження на другій плиті; 4 – локальне навантаження на третій плиті.

Плити розраховуються на найневигодніше сполучення зусиль. Величина максимальних згинальних моментів M_{max} значно менша, ніж моменти, визначені без урахування просторової роботи (M_{od} у таблиці 1), але в плитах діють значні крутні моменти T_{max} .

У шостому розділі також обґрунтовуються переваги запропонованого загального методу розрахунку порівняно з тими, що існують, у тому числі й з МКЕ. Показано, що в основному чисельно-аналітичні методи призначені, як правило, для вирішення окремих задач.

Таблиця 1

**Зусилля з різними варіантами положення навантаження на
збірному перекритті**

№ наван тажен ня	Плита 1			Плита 2			Плита 3		
	M_{max} кН·м	T_{max} кН·м	S_{max} кН/м	M_{max} кН·м	T_{max} кН·м	S_{max} кН/м	M_{max} кН·м	T_{max} кН·м	S_{max} кН/м
1	15,24	39,03	19,45	33,71	14,97	8,35	38,83	0	2,31
2	17,58	41,16	31,35	28,82	-5,32	2,06	24,92	-6,08	2,57
3	19,58	52,4	19,8	42,63	12,0	17,53	38,49	-21,1	8,98
4	13,12	34,63	14,36	35,93	32,06	12,53	47,92	0	12,5
Сполучення зусиль									
M_{max}	$M_{max}=19,58;$			$M_{max}=42,63;$			$M_{max}=47,92;$		
$T_{віднов}$	$T_{віднов}=52.4$ (3 вар.)			$T_{віднов}=12$ (3 вар.)			$T_{віднов}=0$ (4 вар.)		
T_{max}	$T_{max}=52.4;$			$T_{max}=32.06;$			$T_{max}=-21.11;$		
$M_{віднов}$	$M_{віднов}=19.58$ (3 вар.)			$M_{віднов}=35.93$ (4 вар.)			$M_{соотв}=38.49$ (3 вар.)		
M_{od}	$M_{od}=135$			$M_{od}=135$			$M_{od}=135$		

У запропонованому методі умови сумісності деформацій виконуються диференціально, а отже, точніше. Він є загальним методом, що легко перетворюється в окремі задачі розрахунку ребристих плит, збірних пустотних настилів тощо. Метод дозволяє розраховувати перекриття із змінними жорсткостями, в т.ч. у результаті утворення тріщин, наявності отворів, дефектів тощо. Зазначено, що, на відміну від багатьох методів, розроблений метод дозволяє розраховувати суцільні й ребристі системи з урахуванням поздовжнього вигину, опору пружної основи, врахування осідання опор та ін. Урахування всіх перерахованих чинників проводиться автоматично в програмах для ЕОМ, які є простими і які може скласти навіть непрофесійний програміст. При всіх величезних перевагах та можливостях методу кінцевих елементів показані переваги розробленого методу порівняно з програмними комплексами МКЕ в частині завдання жорсткісних параметрів, істотного зменшення кількості невідомих.

При варіантному проектуванні достатньо часто потрібно визначити яке-небудь переміщення

або зусилля на певній ділянці чи навіть в окремій точці, причому цей параметр необхідно визначати багато разів для дослідження впливу певного чинника (наприклад, жорсткості, розташування навантаження тощо). Навіть у такому разі розрахункова схема МКЕ повинна містити чималу кількість кінцевих елементів. Розрахунок же за наведеними методами дає змогу отримати розв'язок з необхідною точністю, не розбиваючи прогін балки (плити) на велику кількість елементів, для будь-якої кількості варіантів, не змінюючи розрахункової схеми.

Показано, що, на відміну від апроксимаційних методів, розроблений метод дозволяє задавати не еквівалентні жорсткості, а реальні, що у багатьох випадках приводить до істотного уточнення результатів. Наведено докладні пояснення відмінностей та переваг запропонованого методу (для розгляданого класу задач) порівняно з існуючими методами, у т.ч. і з МКЕ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті досліджень, проведених у дисертації, вирішено важливу науково-технічну проблему розрахунку залізобетонних перекриттів з урахуванням просторової роботи, тріщиноутворення, умов обпирання, дефектів і використання ефекту просторової роботи для виявлення резервів несучої спроможності та жорсткості залізобетонних перекриттів під час їх обстеження і підсилення, що дозволяє зробити такі висновки:

1. Дослідження просторової роботи перекриттів показали, що традиційне проектування не передбачає просторові розрахунки. В існуючих методах просторового розрахунку відсутній єдиний підхід до проектування різних перекриттів з урахуванням тріщиноутворення, умов обпирання, розташування суцільних і локальних навантажень. Точність рішення в МКЕ залежить від кількості розбиття на кінцеві елементи по довжині прогону перекриття. У розрахунках не враховується зсув монолітного шва, подовжній згин, згин збірних пустотних плит у поперечному напрямі. При визначенні жорсткісних параметрів елементів ребристих перекриттів ураховуються не всі види тріщин у полицях та ребрах, а також плоский напружений стан полиць і дискретне розташування дефектів та пошкоджень. Під час обстеження перекриттів практично не береться до уваги просторова робота для виявлення резервів несучої здатності й жорсткості.

2. Розроблений загальний метод просторового розрахунку суцільних і ребристих плоских перекриттів на основі одержаного розв'язку задачі визначення внутрішніх зусиль по лініях розсічення та примикання збірних і монолітних елементів перекриття вздовж прогону за допомогою виведеної в загальному розгорненому вигляді і розв'язаної системи диференціальних рівнянь дискретно-континуальної моделі Власова В.З. Із загального методу шляхом виключення деяких невідомих отримані окремі випадки розрахунку суцільних і ребристих плоских систем, збірних пустотних, збірних ребристих, монолітних суцільних та ребристих перекриттів, плит типу Т і ТТ,

панелей-оболонок, перекриттів із плитами коробчастого перерізу, кесонних перекриттів, головних балок монолітного перекриття, перекриттів з накладною залізобетонною плитою.

3. Розроблена методика визначення жорсткостей на кручення та згин елементів ребристих залізобетонних перекриттів із різними тріщинами в полицях і ребрах з урахуванням інтегральної оцінки двовісного напруженого стану їх полиць. Запропонована й обґрунтована універсальна методика врахування тріщиноутворення за допомогою фіктивних зусиль, що дозволило при істотно меншій, ніж у МКЕ, кількості невідомих отримати рішення задачі з урахуванням зміни згинальних і крутильних жорсткостей у результаті тріщиноутворення.

4. На основі чисельного аналізу за МКЕ обґрунтована апроксимація плитно-ребристих перекриттів у вигляді перехресно-стрижневої системи з урахуванням кручення стрижнів. Викладені принципи підбору жорсткостей стрижнів, що дозволяє обходитися без застосування діагональних стрижнів, а використовувати тільки взаємно-перпендикулярні. Показано, що врахування кручення полиць збільшує точність розрахунку до 30%. Розроблена методика розрахунку із застосуванням дискретно-континуальної моделі з урахуванням кручення полиць.

5. Розроблені методики розрахунку перекриттів з урахуванням факторів, що не були взяті до уваги раніше, таких як осідання опор ребер, дефекти монтажу, дія осьових стискаючих сил (врахування подовжнього згину), врахування опору пружної основи під ребрами. Показаний вплив зсуву монолітного шва на роботу збірних перекриттів і розроблена методика розрахунку з урахуванням цього фактора.

6. Запропоновані методи врахування просторової роботи для виявлення резервів несучої здатності експлуатованих залізобетонних перекриттів; зазначено, що врахування просторової роботи й обпирання подовжніми сторонами дозволяє у багатьох випадках відмовитися від підсилення ослаблених дефектами конструкцій. Розроблена методика розрахунку конструкцій із дефектами на основі запропонованого загального методу, методика врахування обпирання збірних плит перекриттів подовжніми сторонами, способи страхування перекриттів та методика розрахунку страхувальних конструкцій.

7. Удосконалена методика розрахунку ригелів спільно із збірним настилом. Показано, що між збірним настилом і ригелем виникають не тільки дотичні, але і нормальні зусилля взаємодії, що раніше не були враховані й здатні відірвати настил від ригеля. Створена методика визначення цих зусиль на основі теорії складених стрижнів. Розроблена методика розрахунку ригелів при обмежених деформаціях кручення, методика визначення опорних згинальних моментів у місці закладення збірних плит у кам'яні стіни, що підвищує достовірність розрахунків і дозволяє відмовитися від підсилення плит при використанні названих факторів.

8. Запропонована нова конструкція балки, що суміщає в собі функції плит та балок, перевагою якої є значно більша жорсткість на кручення. Показано, що цей чинник істотно поліпшує

просторову роботу перекриття, що робить застосування таких балок вигідним зі всіх точок зору. Розроблені конструктивні заходи, що дозволяють підвищити ефект просторової роботи.

9. Експериментально і теоретично показаний неістотний вплив зміни жорсткостей ригелів у реальних межах на зусилля взаємодії збірних плит між собою, що під дією локальних навантажень у плитах ребристих перекриттів у зоні їх примикання до ребер з'являються не тільки негативні, але й позитивні згинальні моменти. На основі цього запропонована методика розрахунку збірних та монолітних перекриттів з урахуванням різного розташування локальних навантажень по обвідних епюрах і невідних сполученнях зусиль.

10. Запропоновані наближені методики розрахунку, зокрема “ручні” при варіантному проектуванні. Експериментально доведена можливість нетрадиційної форми руйнування збірних плит у результаті відриву ділянки над шпонкою і на основі цього розроблена методика розрахунку міцності на відрив. Наведені суттєві відмінності роботи ребристих залізобетонних перекриттів під дією локальних навантажень від традиційного уявлення. Показані переваги розроблених методів порівняно з тими, що існують, і хороший збіг розрахунків запропонованими методами з експериментальними даними, що свідчить про достовірність запропонованих методів розрахунку.

Усі задачі обґрунтовані теоретично, методи розрахунку запропоновані для застосування при проектуванні та впровадженні при виконанні проектів і обстеженні об'єктів у різних містах України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ

1. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – Киев: Науковий світ, 2001. – 276 с.
2. Азизов Т.Н. Экономичные конструкции покрытий и перекрытий. – Умань: Алми, 2002. – 64 с.
3. Азизов Т.Н. Работа сборно-монолитного перекрытия при неравномерном нагружении вертикальными нагрузками // Монолитные и сборно-монолитные конструкции зданий и сооружений промышленного назначения: Сб. научн. трудов. – М.: ЦНИИпромзданий, 1992. – С. 97-101.
4. Азизов Т.Н. Розрахунок перекриття на вертикальні нерівномірні навантаження // Будівництво України. – 1994. – № 3. – С.29-32.
5. Рабинович Р.И., Азизов Т.Н. Применение теории составных стержней к расчету опорных зон балок с подрезками // Строительная механика и расчет сооружений. – 1992. - № 1. – С. 20-23.
6. Азизов Т.Н. Расчёт системы балок, работающих на кручение // Материалы международной научно-практической конференции “Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчёта конструкций в новых экономических условиях”. – Сумы, 1994. – С. 138-139.

7. Азизов Т.Н. Расчёт гибкой нити с промежуточными упругооседающими опорами // Материалы международной научно-практической конференции “Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчёта конструкций в новых экономических условиях”. – Сумы, 1994. – С. 124-125.
8. Азизов Т.Н. Расчёт плит, опертых по контуру, при действии прерывных нагрузок // Материалы международной научно-практической конференции “Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчёта конструкций в новых экономических условиях”. – Сумы, 1994. – С. 140-141.
9. Патент № 2045633. Россия. Сборное железобетонное перекрытие / Э.Н. Кодыш, О.С. Гончарова, Л.Л. Лемыш, И.И. Мордухович, Т.Н. Азизов. – Заявл. 27.11.92; опубл. 10.10.95. бюл. №28. – 4 с.
10. Азизов Т.Н. Методика расчёта ребристых плит при неравномерных вертикальных нагрузках // Будівництво України. – 1995. - №4. – С. 35-37.
11. Азизов Т.Н., Верещага А.И. Влияние сдвига монолитного шва и изгиба плит в поперечном направлении при расчёте перекрытия с учётом совместной работы плит // Будівництво України. – 1997. – № 3. – С. 43-44.
12. Верещага А.И., Азизов Т.Н. Влияние трещинообразования при расчёте перекрытия с учётом пространственной работы сборных плит // Будівництво України. – 1997. – № 3. – С. 34-35.
13. Азизов Т.Н. Расчёт сборных и монолитных ребристых плит // Материалы международной конференции “Инженерные проблемы современного бетона и железобетона”. – Минск, 1997. – С. 1-4.
14. Фомица Л.Н., Азизов Т.Н. Применение и расчет гибких нитей, предназначенных для защиты перекрытий от обрушения // Будівництво України. – 1997. – № 2. – С. 30-32.
15. Азізов Т.Н. До розрахунку ребристих плит при нерівномірних навантаженнях // Вісник Сумського сільськогосподарського інституту. – Вип. 1. – Сумы, 1997. – С. 65-66.
16. Азізов Т.Н. Метод стрижневих кінцевих елементів для розрахунку плит // У зб. „Проблеми теорії і практики будівництва”. – Том 1. – Львів: Львівська політехніка, 1997. – С. 15-18.
17. Азізов Т.Н. Наукові основи енергозбереження в будинках // Вісник Сумського державного аграрного університету. – Сумы, 1998. – С. 3-5.
18. Азізов Т.Н., Касем Н.Ж. Особливості розрахунків монолітних ребристих перекриттів // Вісник Сумського державного аграрного університету. Сер. „Будівництво”. – Сумы, 1998. – С. 84-85.
19. Азізов Т.Н. Визначення моменту в затисненні плити перекриття в цегляну стіну // Вісник Сумського державного аграрного університету. Вип.4 Серія „Будівництво” - Сумы, 1999. – С. 9-12.
20. Азизов Т.Н. Расчёт ребристых плит на упругом основании // Будівельні конструкції.

Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 52. – Київ: НДІБК, 1999. – С. 8-12.

21. Азізов Т.Н., Савченко О.С. Просторовий розрахунок збірно-монолітних перекриттів // Вісник Сумського державного аграрного університету. Серія „Будівництво”. Вип. 4.– Суми, 1999. – С. 3-8.

22. Азізов Т.Н. Оцінка необхідності підсилення перекриттів // Матеріали IV науково-технічної конференції „Будівництво в сейсмічних районах України”. – Ялта, 1999. – С. 211-216.

23. Азізов Т.Н. Учёт пространственной работы при оценке эксплуатационной надёжности перекрытий // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 51. – Київ: НДІБК, 1999. – С. 258-264.

24. Азізов Т.Н. К расчёту коробчатых железобетонных настилов // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 52. – Київ: НДІБК, 2000. – С. 3-7.

25. Азізов Т.Н. Методика розрахунку суцільних фундаментів // Вісник Сумського ДАУ. Вип. 5. Серія „Будівництво”. – Суми, 2000. - С. 4-8.

26. Азізов Т.Н., Верещага О.І. Експериментальні дослідження збірного перекриття // Вісник Сумського державного аграрного університету. Вип. 5. – Суми, 2000. – С. 8-12.

27. Азізов Т.Н. Влияние поперечных ребер на работу ребристых плит на пролет // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 54. – Київ: НДІБК, 2001. – С. 60-64.

28. Азізов Т.Н. Упрощенный расчет коробчатых систем // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія КВ №3393 „Будівництво”. Вип. 8. – Суми, 2002 - С. 5-7.4.

29. Азізов Т.Н. Расчет сборных перекрытий с учетом защемления плит и распора в швах между ними // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 57. – Київ: НДІБК, 2002. – С. 8-14.

30. Азізов Т.Н., Савченко А.С. Влияние вертикальных усилий взаимодействия элементов сборного перекрытия на пространственную работу // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 57. – Київ: НДІБК, 2002. – С. 15-20.

31. Азізов Т.Н., Савченко А.С. Расчет системы ригель-настил с учетом совместной работы // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія КВ №3393 „Будівництво”. Вип. 8. – Суми, 2002. – С. 7-11.

32. Азізов Т.Н. Учет кручения полок при расчете ребристых перекрытий // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 58. – Київ: НДІБК, 2003. – С.3-7.

33. Азізов Т.Н., Вараница А.В. К расчету сборных железобетонных перекрытий с плитами, объединенными дискретными связями // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 59. – Київ: НДІБК, 2003. – С.294-299.

34. Азізов Т.Н. К расчету железобетонных перекрытий, поврежденных землетрясением // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 60. – Київ: НДІБК, 2004. – С.

518-523.

35. Азизов Т.Н. Способ расчета железобетонных ребристых перекрытий с трещинами в полках // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 62. Том 1. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 3-8.

36. Азизов Т.Н. Жесткость железобетонных элементов на кручение с нормальными и наклонными трещинами // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 63. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 31-36.

37. Азизов Т.Н. К расчету железобетонных перекрытий по деформациям // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 21. – Одеса: ОДАБА, 2006. – С. 7-11.

АНОТАЦІЯ

Азизов Т.Н. Просторова робота залізобетонних перекриттів. Теорія та методи розрахунку. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава, 2006.

Дисертацію присвячено проблемі просторової роботи плоских залізобетонних перекриттів та розробленню їх методів розрахунку з урахуванням сумісної роботи, тріщин, умов обпирання, наявності дефектів, ушкоджень при новому проектуванні та обстеженні діючих будівель.

Наведено методи розрахунку просторової роботи на основі дискретно-континуальних розрахункових моделей і виведених систем диференціальних рівнянь. Виконано експериментальні дослідження фрагментів збірних та монолітних перекриттів.

Розроблено нову конструкцію і конструктивні засоби для збільшення просторового ефекту та методики розрахунків перекриттів із застосуванням таких засобів. Розроблено методики визначення жорсткісних характеристик залізобетонних елементів перекриття за допомогою фіктивних навантажень.

Із застосуванням розробленого загального методу та результатів виконаних експериментальних досліджень проаналізовано напружено-деформований стан залізобетонних монолітних і збірних суцільних та ребристих перекриттів. Запропоновано методики багатоваріантного проектування збірних і монолітних перекриттів з урахуванням локального розташування, невідгідного сполучення навантажень та сумісної роботи окремих елементів.

Ключові слова: залізобетонні перекриття, просторова робота, тріщиноутворення, згинальна жорсткість, жорсткість при крученні, дефекти та ушкодження, розв'язуючи диференціальні рівняння, розрахункові схеми, моделі, методи розрахунку.

АННОТАЦИЯ

Азизов Т.Н. Пространственная работа железобетонных перекрытий. Теория и методы расчета. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка. Полтава, 2006.

В диссертации приведены методы расчета плоских железобетонных сборных, монолитных и сборно-монолитных перекрытий с учетом их пространственной работы. Разработаны методы расчета перекрытий с учетом образования трещин, условий опирания и загрузения, наличия дефектов и повреждений на основе дискретно-континуальных моделей и выведенных систем дифференциальных уравнений. Показано, что общий метод легко преобразуется для расчета различных частных задач.

Выполнено исследование напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций перекрытий. Разработаны методики использования пространственной работы перекрытий для вскрытия резервов их несущей способности, предложены способы страховки от обрушения и методики расчета страховочных и усиливаемых конструкций. Разработана новая конструкция для сборного железобетонного перекрытия с существенно более высоким эффектом пространственной работы.

Усовершенствован метод расчета ригелей совместно со сборными плитами, в котором учитываются вертикальные силы взаимодействия с использованием и развитием теории составных стержней.

Разработана методика расчета жесткости на кручение железобетонных элементов перекрытий с нормальными и наклонными трещинами. Приведены конструктивные мероприятия, повышающие эффект пространственной работы сборных перекрытий. Разработаны методики расчета перекрытий с предложенными конструктивными мероприятиями.

Выполнены экспериментальные исследования сборных и монолитных перекрытий. Показаны возможные формы их разрушения и резервы несущей способности и деформативности. Выполнены численные эксперименты с применением программных комплексов.

Приведена методика проектирования сборных и монолитных перекрытий без промежуточных расчетов по определению усилий взаимодействия между отдельными элементами. Разработана методика расчета приближенными способами и с использованием огибающих эпюр для вариантного проектирования с учетом локального расположения и невыгодного сочетания нагрузок.

Проведено сравнение результатов расчетов, полученных на основе разработанных методов, с

данными физического и численного экспериментов. Показана хорошая сходимость теоретических данных с экспериментальными. Обоснованы преимущества разработанных методов расчета по сравнению с существующими для исследуемого круга задач.

Результаты исследований использованы в методических рекомендациях Госстроя Украины, при разработке проектов усиления ряда реальных объектов в различных городах Украины.

Ключевые слова: железобетонные перекрытия, пространственная работа, трещинообразование, изгибная жесткость, крутильная жесткость, дефекты и повреждения, разрешающие дифференциальные уравнения, расчетные схемы, модели, методы расчета.

ABSTRACT

Azizov T.N. Spatial work of ceilings of the reinforced concretes. Theory and methods of calculation. - Manuscript.

Dissertation for Doctor of Technical Sciences degree by speciality 05.23.01 – building structures, buildings and constructions. - Poltava National Technical University named by Yuri Kondratyuk, Poltava, 2006.

Dissertation is devoted the problem of spatial work of the flat ceilings of the reinforced concretes and development of their methods of calculation. Calculations taking into account joint work, leaning terms, presence of defects and damages. The methods of calculation are used for the new planning and inspection of existent buildings.

The methods of calculation of spatial work are resulted on the basis of developed of models of calculations. Experimental researches of fragments of the collapsible and monolithic ceilings are executed.

Structural measures are developed for multiplying a spatial effect. The methods of calculation of ceilings are developed with the use of such measures.

The methods of the multiple planning of the collapsible and monolithic ceilings are offered taking into account the local location of loadings and joint work of separate elements.

Keywords: ceilings of the reinforced concretes, spatial work, Formation of cracks, inflexibility on a bend turning inflexibility, defects and damages, settling differential equalizations, charts of calculations, models, methods of calculation.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 1891 від 06.08.2004 р.

Папір офсетний. Друк трафаретний.
Ум. друк. арк.. 1,9. Наклад 120 прим. Зам. № 266.
Підписано до друку 24.05.2006 р.

Віддруковано ТОВ “Фірма “Техсервіс”.

Адреса:36011, м. Полтава, вул. В. Міщенко, 2.
Тел.: (0532) 56-36-71.