

624.2  
A 13

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

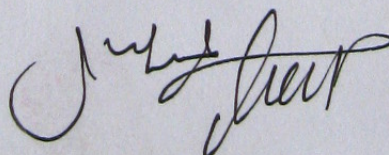
Абделаль Ясер Єль Хасан

УДК 624.2.8

**ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ  
ДЕФОРМУВАННЯ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ  
НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ**

05.23.17 - Будівельна механіка

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук



КИЇВ – 2001

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Мости України проектувалися здебільше із збірного залізобетону. Тепер зрозуміло, що збірні прогонові будови після 30-40 років експлуатації потребують капітального ремонту та реконструкції. Так за даними обласних експлуатаційних організацій 46% мостів на дорогах загального користування та 72% комунальних мостів не задовольняють вимогам СНиП 2.05.03-84 "Мости и трубы". Таке положення існує зараз у багатьох країнах, що розвиваються.

Проблема реконструкції збірних залізобетонних мостів складна та багатогранна. Перед інженерами стоїть низка складних задач реконструкції збірних залізобетонних мостів. Це зокрема:

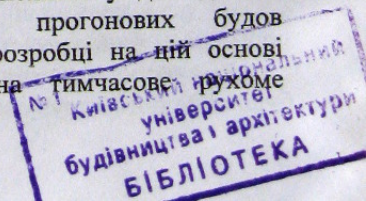
- оцінка технічного стану елементів прогонової будови;
- пошук принципово нових технічних рішень реконструкції;
- дослідження закономірностей сумісної роботи старих і нових елементів у складі прогонової будови;
- аналіз економічної доцільності реконструкції мостів;
- прогнозування строку служби прогонової будови, що реконструюється.

Для розв'язання будь-якої задачі з перерахованих необхідний ретельний чисельний аналіз поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження між елементами прогонової будови, тобто просторовий розрахунок.

Ця задача завжди була актуальною у зв'язку з мало вивченим питанням сумісної роботи старих і нових елементів прогонової будови. Вище зазначене підтверджує актуальність впровадженого у межах дисертаційної роботи пошуку, який ставить за свою мету розробку ефективного інженерного апарата просторового розрахунку прогонових будов автодорожніх мостів, що реконструюються.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з відкритим планом наукових досліджень, що проводяться на кафедрі "Мости і тунелі" Національного транспортного університету за темою № К-03-12-1 "Теоретичні моделі і методи розрахунку складних конструкцій транспортних споруд при дії багатокілісних транспортних засобів великої ваги" (№ держреєстрації РК 0197И000544). За цією темою автор брав активну участь у розробці математичних моделей просторового розрахунку прогонових будов автодорожніх мостів, що підлягають реконструкції.

**Мета та задачі дослідження.** Мета роботи полягає у дослідженні напружено-деформованого стану залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів, що реконструюються, та у розробці на цій основі інженерного апарата просторового розрахунку на тимчасове рухоме навантаження.



У дослідженні поставлені такі задачі:

- розробка моделей чисельного дослідження прогонових будов мостів;
- розробка алгоритмів, підготовка та тестування комп'ютерних програм просторового розрахунку прогонових будов за запропонованими дискретними моделями;
- розробка методик просторового розрахунку прогонових будов мостів;
- чисельне дослідження розподілу тимчасового рухомого навантаження між бездіафрагмовими прогоновими будовами мостів, що реконструюються, за розробленими моделями та методиками;
- чисельне дослідження розподілу тимчасового рухомого навантаження між діафрагмовими прогоновими будовами мостів, що реконструюються, відповідно до стержневої моделі класичної форми методу скінченних елементів (МСЕ);
- аналіз результатів чисельного дослідження напружено-деформованої прогонової будови і розробка рекомендацій з проектування та пошуку оптимальних рішень реконструкції;
- визначення області можливого використання алгоритмів просторового розрахунку мостів.

Об'єкт дослідження – деформування прогонових будов автодорожніх мостів, що підлягають реконструкції.

Предмет дослідження – математичні моделі поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження між елементами прогонових будов автодорожніх мостів, що підлягають реконструкції.

Методи дослідження - чисельні дискретні методи скінченноелементної апроксимації.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- розроблено нову модель розрахунку прогонових будов, що мають між елементами конструктивний поздовжній шарнір. Запропонована модель проста за механічним трактуванням, відрізняється невеликою кількістю невідомих при достатній для практичних цілей точності. Модель є зручною в користуванні, її елемент співпадає з фізичним елементом споруди;

- розроблено нову модель дискретно-континуального методу з плоским багатошаровим елементом. Запропонований елемент з 12 ступенями свободи дозволяє детально дослідити напружено-деформований стан бездіафрагмових прогонових будов довільного поперечного перерізу із складовими різних фізичних і геометричних характеристик, багатошарових плит перекриттів і покрівель цивільних і промислових будинків, складчастих конструкцій.

- отримано нові теоретичні дані про напружено-деформований стан прогонових будов, які мають складний складовий поперечний переріз;

- виконано дослідження впливу нових елементів у перерізі прогонової будови на його несучу здатність;

- отримано нові чисельні дані про характер розподілу зусиль між старими та новими елементами прогонової будови;

- отримано нові дані про напружено-деформований стан поздовжнього стику сполучення старих і нових елементів прогонової будови, що реконструюється.

Достовірність отриманих у роботі результатів підтверджується наступним:

- використанням для побудови дискретних моделей математично строгих варіаційних принципів;

- порівнянням отриманих результатів з натурними експериментами та результатами, отриманими іншими авторами;

- постановкою та аналізом великої кількості чисельних експериментів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичним результатом дослідження є:

- інженерна методика та програмне забезпечення, котрі засновані на апараті дискретно-континуальної форми МСЕ і які дозволяють виконувати просторові розрахунки прогонових будов автодорожніх мостів, що реконструюються, на вплив тимчасового рухомого навантаження;

- практичні рекомендації за вибором схеми посилення ребристої прогонової будови;

- нові довідкові дані про закономірність поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження між ребристими прогоновими будовами залізобетонних мостів для використання у проектах реконструкції.

Робота впроваджена в учбовий процес кафедри "Мости і тунелі" Національного транспортного університету та у практику проектування реконструкції мостів в проектному інституті "Київсоюзшляхпроект".

**Особистий внесок здобувача.** Наведені в дисертаційній роботі результати досліджень отримані здобувачем самостійно. Особисто автором виконано таке:

- розроблено нову математичну модель дискретно-континуального методу (ДКМ), призначену для просторового розрахунку балочних конструкцій з поздовжнім шарніром;

- розроблено нову модель розрахунку за дискретно-континуальним методом багат шарових бездіафрагмових балочних структур довільного поперечного перерізу;

- розроблено комп'ютерні програми, які реалізують запропоновані моделі та алгоритми розрахунку прогонових будов за дискретно-континуальним методом;

- отримано нові наукові результати щодо закономірностей розподілу тимчасового рухомого навантаження між елементами прогонової будови, які рекомендовані для практичного застосування в практиці проектування реконструкції.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи були викладені на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету в 1997, 1998 р.р. та на Українському науково-практичному семінарі “Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення” у 1996 й у 1998 р.р.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано сім робіт, у тому числі п'ять публікацій у збірниках із переліку ВАК України та дві додаткові у збірнику доповідей Українського науково-практичного семінару “Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації на шляхах сполучення”.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел та додатків. Вона містить 264 сторінок, з них 144 сторінок основного тексту, 86 рисунків, 87 таблиць, список використаних джерел із 173 найменувань на 16 сторінках та два додатки на 40 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, показана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

В першому розділі показано, що підвищення надійності транспортних споруд – одна з пріоритетних задач експлуатації дорожньої мережі. Ця проблема є особливо актуальною у проектуванні реконструкції і посилення прогонових будов мостів. Особливе місце у цій проблемі займає задача розрахунку прогонової будови як просторової конструкції. У даному випадку задача ускладнюється особливостями конструктивних схем реконструкції і підсиленням прогонових будов, а саме:

- як правило, нові елементи поперечного перерізу мають геометричні характеристики, які відрізняються від старих, що потребує вивчення картини розподілу зусиль між елементами;

- у поперечному перерізі часто передбачається додатково накладна плита, вплив якої на характер поперечного розподілу тимчасового навантаження недостатньо вивчено;

- розширення проїзної частини часто переводить прогонову будову у категорію широких ( $\beta = B/L > 0.5$ ), а це потребує залучення нестандартних методів розрахунку, які засновані на більш точних математичних моделях;

- у прогоновій будові з'являються зони сполучення старих і нових елементів, які відрізняються своїми геометричними і механічними характеристиками; ці зони потребують особливої уваги, як концентратори напружень.

У першому розділі розглянуто та виконано аналіз публікацій двох напрямів:

- роботи, які присвячені конструкції та технології розширення і посилення залізобетонних прогонових будов мостів;
- роботи, в яких розглянуто методи просторового розрахунку прогонових будов.

В огляді показано внесок школи Національного транспортного університету у розвиток науки і техніки в галузі мостового і дорожнього будівництва. Зокрема розглянуто роботи з теорії споруд Лантуха-Лященко А.І., Назаренка В.Б., Страхової Н.Є., Снітка В.Ф., Шкуратовського О.О. та роботи по створенню сучасних математичних моделей розрахунку транспортних споруд Городецького О.С., Піскунова В.Г., Сінетова В.С., Рассказова О.О.

Аналіз методів просторового розрахунку прогонових будов дозволяє зробити висновок, що традиційні методи мало пристосовані для аналізу напружено-деформованого стану прогонових будов мостів, які підлягають реконструкції, і не відповідають сучасному рівню розвитку обчислювальної техніки. Це й є причиною, що спонукає до розробки нових моделей просторового розрахунку.

Формулювання мети і задачі дослідження впливає із аналізу робіт, виконаного у розділі 1. Цей аналіз дає можливість стверджувати, що у проектуванні реконструкції задача просторового розрахунку прогонових будов ще не отримала належного розв'язання. У проектуванні реконструкції мостів відчувається нестача сучасних математичних моделей, які надають можливість врахувати особливості перерозподілу тимчасового навантаження в результаті посилення й розширення прогонової будови. Підвищення точності просторових розрахунків дозволяє в окремих випадках відмовитися від спеціальних заходів з підсилювання елементів. В той же час відомі випадки, коли розширення, без достатнього дослідження напруженого стану прогонової будови, приводить до зниження несучої здатності старих елементів, а тому й усієї конструкції.

Принципово проблема просторового розрахунку сьогодні вирішена. Існують потужні універсальні комплекси статичного і динамічного розрахунків, які дозволяють в пружній і непружній стадіях чисельно, на основі класичної форми МСЕ, досліджувати напружено-деформований стан прогонової будови. Однак широке використання такого апарата для проектування реконструкції в майбутньому не очікується внаслідок його дорожнечі й громіздкості у підготовці вихідних даних.

Як альтернатива, тут подано доступні, прості й достатньо точні моделі і відповідні програми, які використовують теоретичні передумови дискретно-континуальної форми методу скінченних елементів.

У другому розділі подано теоретичні дослідження, мета яких стояла у розробці та узагальненні математичних моделей для просторового розрахунку прогонових будов автодорожніх мостів малих і середніх прогонів. Теоретичною основою даних математичних моделей є дискретно-континуальний метод скінченних елементів. Запропоновані моделі алгоритмізовано і побудовано програми ефективного інженерного апарата просторового розрахунку реконструйованих прогонових будов на вплив тимчасового рухомого навантаження. Для чисельного дослідження прогонових будов запропоновано три моделі.

Модель №1, розроблена автором, являє собою апроксимацію об'єкта скінченними елементами дискретно-континуального методу. Одержано матрицю жорсткості елемента, який має два ступені свободи - поперечні переміщення. Елемент знаходиться в стані поперечного згину та кручення. Елементи скріплені між собою поздовжнім шарніром, який передає тільки поперечну силу (рис.1).

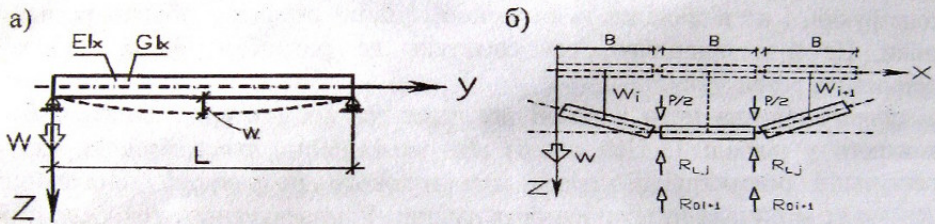


Рис. 1. Розрахункова схема моделі № 1

У системі елемент розглядається як такий, що покоїться на пружній основі з двома коефіцієнтами постілі. Пружною основою є сусідні елементи, що підтримують навантажений елемент (рис.1б). Дискретний елемент має геометричні параметри, які співпадають з реальними.

Математичну модель прогонової будови отримано на основі варіаційних принципів. Крайова задача у переміщеннях для елемента розрахункової схеми описується диференціальним рівнянням 4-го порядку:

$$EI \frac{d^4 w}{dy^4} = P(y) - Kw - bK_t w, \quad (1)$$

де:  $w = w(y)$  - координатна функція;  $y \in [0, L]$ ;

$K, K_t$  - коефіцієнти постілі, які відображають згинальну та крутильну жорсткість відповідно;

$b$  - ширина блоку.

Рівняння дискретного розв'язку отримують мінімізацією функціоналу крайової задачі (1).

Функціонал Лагранжа, який відповідає крайовій задачі, має вигляд:

$$\varphi = \frac{EI_x}{2} \int_0^L \left( \frac{d^2 w}{dy^2} \right)^2 dy + \frac{K}{2} \int_0^L w^2 dy + \frac{bK_1}{2} \int_0^L w^2 dy - \int_0^L P(y) w dy \quad (2)$$

Скінченний елемент системи має два ступені свободи – переміщення, нормальні до площини елемента (рис. 1). Переміщення  $w_i$  і  $w_j$  уздовж вузлових ліній  $i$  і  $j$  подано у вигляді синусоїдального ряду:

$$w(y) = \sum_1^N (w_{n,i} + w_{n,j}) \sin \alpha y, \quad (3)$$

де:  $\alpha = \frac{\pi n}{L}$ ,  $n = 1, 3, 5$ ;  $L$  – прогін;  $N$  – кількість членів ряду розкладання, які утримуються;  $y \in [0, L]$ .

Коефіцієнти  $K$  і  $K_1$ , які характеризують реакцію основи, визначаються розв'язанням диференціальних рівнянь згину і кручення стержня:

$$EI_x \frac{d^4 w}{dy^4} = P(y) \quad \text{і} \quad GI_k \frac{d^2 \theta}{dy^2} = P(y) \quad \text{відповідно.}$$

Диференціюванням за ступенями свободи функціоналу (2) отримуються коефіцієнти матриці жорсткості розмірністю (2x2) та елементи вектору еквівалентних вузлових сил. Коефіцієнти матриці жорсткості мають вигляд:

$$K_{11} = K_{22} = \frac{\pi^4 n^4}{8L^4} (2\pi n EI_x + GI_k), \quad (4)$$

$$K_{12} = K_{21} = \frac{\pi^3 n^3}{16L^3 b} (2\pi n EI_x + GI_k).$$

Матриця жорсткості будується за матрицями жорсткості елементів шляхом підсумовування жорсткосних коефіцієнтів ступенів свободи.

Побудована програма, яка реалізує запропоновану дискретну модель. Програма за своєю структурою нескладна, більшу її частину складають сервісні підпрограми вводу-виводу. Програма обчислює ординати поверхні впливу переміщень від одиничної рівномірно розподіленої уздовж вузлової лінії навантаження.

Програма тестувалась за допомогою обчислювального комплексу ЛІРА-WINDOWS та експериментальних даних і зараз використовується кафедрою "Мости і тунелі" Національного транспортного університету у розрахунках несучої здатності прогонових будов, які підлягають реконструкції.

Модель № 2 призначена для просторового розрахунку бездіафрагмових прогонових будов. Модель побудовано з використанням робіт А.В.Александрова, А.І.Лантуха-Ляценка, В.Г.Піскунова і І.К.Чанга. Вона являє собою скінченноелементний опис системи з багат шаровим елементом дискретно-континуального методу, який має 12 ступенів свободи. Застосовується елемент, що знаходиться у згинальному та плосконапруженому стані. Кожна вузлова лінія має шість ступенів свободи:

- поперечні переміщення  $w_i$ ;
- кутові переміщення навкруги вузлової лінії  $\theta_i$ ;
- математичний аналог поперечного переміщення  $\bar{w}_i$ ;
- математичний аналог кутового переміщення  $\bar{\theta}_i$ ;
- лінійні переміщення у площині елемента уздовж осей  $X$  і  $Y$  -  $u_i$  і  $v_i$

відповідно.

Модель № 2 показана на рис.2.

Матриця жорсткості елемента складається з двох підматриць:

а) згинальна матриця жорсткості, яка отримується шляхом мінімізації функціоналу, що відповідає крайовій задачі згину багат шарових ортотропних пластин:

$$\Pi(w) = \frac{1}{2} \iint_0^b \int_0^l (\mathfrak{R}^T \mathbf{D}_0 \mathfrak{R} + \mathfrak{R}^T \mathbf{D}_0 \bar{\mathfrak{R}} + \bar{\mathfrak{R}}^T \mathbf{D}_0 \mathfrak{R} + \bar{\mathfrak{R}}^T \mathbf{D}_1 \bar{\mathfrak{R}} - \bar{\theta}^T \mathbf{D}_2 \theta) dx dy, \quad (5)$$

де:  $\mathfrak{R}$  - матриця вектора кривизн, залежних від функції  $w$ ;

$\bar{\mathfrak{R}}$  - матриця вектора кривизн, залежних від функції  $\bar{w}$ ;

$T$  - знак транспонування;

$\mathbf{D}_0$  - матриця пружних характеристик ортотропної плити;

$\mathbf{D}_1$  - матриця пружних характеристик пакета;

$\mathbf{D}_2$  - матриця приведених по товщині пружних характеристик шарів пакета;

$\theta$  - вектор зсувних кутових переміщень;

$\bar{\theta}$  - вектор математичних аналогів зсувних кутових переміщень.

б) матриці жорсткості плосконапруженого стану, яка отримана шляхом мінімізації функціоналу, який відповідає плоскій задачі:

$$\Pi(u) = \frac{1}{2} \iint_0^b \int_0^l \left\{ D_1 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \frac{\partial u}{\partial x} + \left( \frac{\partial v}{\partial y} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] \right\} dx dy. \quad (6)$$

Координатна функція має вигляд:

$$F(x, y) = \sum_{m=1}^N \sum_{k=1}^8 X_K Y_{KM} q_k, \quad (7)$$

де:  $X_K$  - поліноми Ерміта 1-ї і 3-ї степенів;  $Y_{KM}$  - фундаментальні функції диференціального рівняння згину стержня.

Для запропонованої дискретно-континуальної моделі виконана алгоритмізація і складена комп'ютерна програма.

В дослідженні нерозрізних прогонових будов і до прогонових будов, які мають діафрагми у поперечному перерізі, використовується також модель стержневої апроксимації її елементи являють собою класичні двовузлові стержневі елементи МСЕ, які мають три ступені свободи у кожному вузлі – одне поперечне та два кутові переміщення.

За цією моделлю дійсна континуальна система замінюється на стержневу, у якій поздовжні елементи мають такі ж геометричні характеристики, як і балки реальної споруди. Діафрагми моделюються поперечними стержнями з жорсткостями, які дорівнюють реальним, а плита моделюється поперечними стержнями з жорсткостями, які отримуються за умови енергетичної еквівалентності плити та стержнів, які її замінюють.

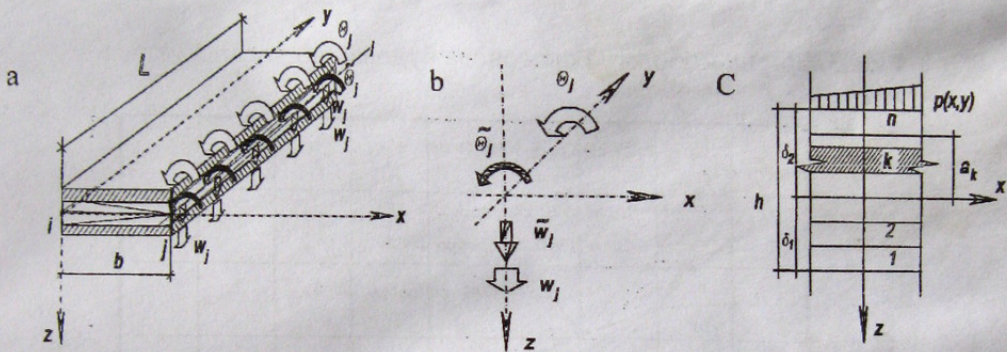


Рис. 2. Модель № 2 дискретно-континуального методу

а – елемент в локальних вісях; б – невідомі однієї вузлової лінії;  
с – схема багатошарового пакета.

**Третій розділ** присвячено дослідженню закономірностей розподілення тимчасового рухомого навантаження між бездіафрагмовими залізобетонними прогоновими будовами мостів малих та середніх прогонів. У рамках третього розділу було виконано наступне:

1. Тестування моделей №1 і №2. Для оцінки точності моделі було виконано чисельні експерименти, метою яких було порівняння результатів з іншими відомими розв'язками та даними випробувань. Тестування показало достатню точність моделей.

2. По запропонованих моделях і методиках досліджено прогонові будови з блоків П-образного перерізу з прогоном  $L = 18.0$  м (з габаритами  $\Gamma$  8.0 м - 13.0 м, рис. 3). Чисельні експерименти дозволили встановити, що кількість блоків суттєво не впливає на поперечний розподіл тимчасового навантаження, тому що в роботі беруть участь тільки 3-4 блоки, які й сприймають усе тимчасове рухоме навантаження.

3. Дослідження бездіафрагмових прогонових будов з Т-образних блоків, з прогонами  $L = 18.0$  м (з габаритами  $\Gamma$  8.0 м - 13.0 м). Отримано нові наукові

дані, які показують вплив параметра ширини прогонової будови на поперечний розподіл тимчасового навантаження. З результатів дослідження випливає висновок про економічну доцільність використання великих прогонів, як таких, що мають найкращий розподіл згинаючих моментів між елементами прогонової будови (рис. 4 і 5).

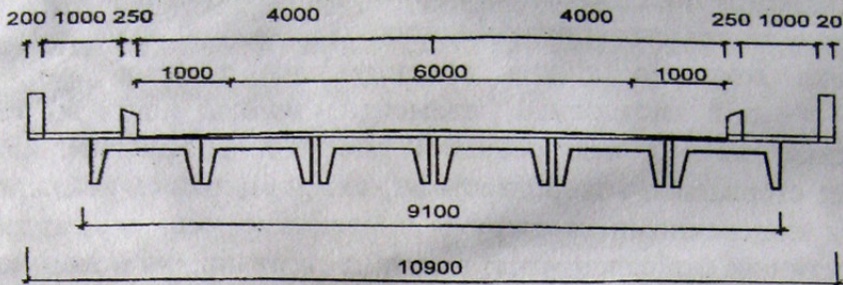


Рис. 3. Збірна монолітна прогонова будова, що досліджується

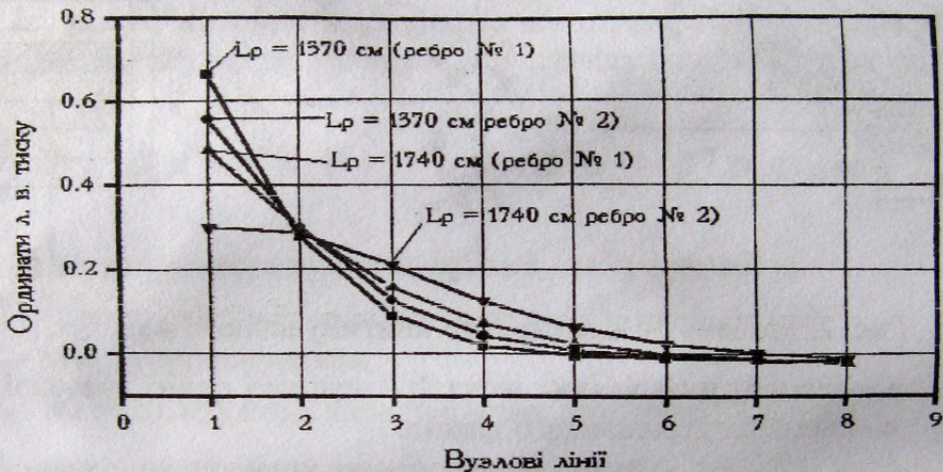


Рис. 4. Порівняння ординат ліній впливу (л.в.) тиску двох прогонів (Г-9.0 м)



Рис. 5. Зміна згинаючих моментів із збільшенням товщини накладної плити  
1 - несуча здатність балки; 2 - зміна моментів з урахуванням власної ваги плити; 3 - зміна моментів без урахування власної ваги плити.



Аналіз даних чисельних експериментів дозволяє зробити такі висновки:

- із розглянутих проектних рішень тільки одне - **В** дозволяє зменшити внутрішнє зусилля в найбільш напруженому елементі поперечного перерізу існуючої прогонової будови. Зменшення максимального моменту суттєво залежить від параметра ширини  $\beta = B/L$ ;

- крайні елементи поперечного перерізу у проектному рішенні **С** отримують додаткові згинаючі моменти (до 40% повної несучої здатності). Тому така схема реконструкції може бути застосована тільки у випадку, коли проектується встановлення додаткової розтягнутої арматури у крайніх елементах існуючої прогонової будови;

- проектне рішення **Д** може бути використане для багатьох прогонових будов. Тут є можливість збільшити несучу здатність елементів прогонової будови на 11 % - 9 % за рахунок збільшення плеча внутрішньої пари перерізу. Це проектне рішення можна рекомендувати у всіх випадках порушення поздовжніх швів між елементами прогонової будови.

Розглянуто проектні рішення реконструкції діафрагмових прогонових будов (рис.10). Дослідження виконано на прикладі збільшення габариту з 8.50 м до 10.0 м, тобто поширення на 1.50 м. Просторовий розрахунок на тимчасові рухомі навантаження прогонових будов виконано за моделлю №3.

Прогонова будова моделюється системою перехресних стержнів – балковим ростверком. Розрахункова схема прогонової будови, що досліджується, показана на рис.11. Тимчасові навантаження – А-11+ натовп і НК-80.

Для діафрагмових прогонових будов були розглянуті такі задачі:

1) Вплив поперечних діафрагм на поперечний розподіл тимчасового навантаження.

Дослідження показало, що поперечний розподіл тимчасового навантаження достатньо близько описується моделлю позацентрового стиснення. Цей феномен мали очікувати, тому що поперечні діафрагми перетворюють переріз прогонової будови у недеформований контур.

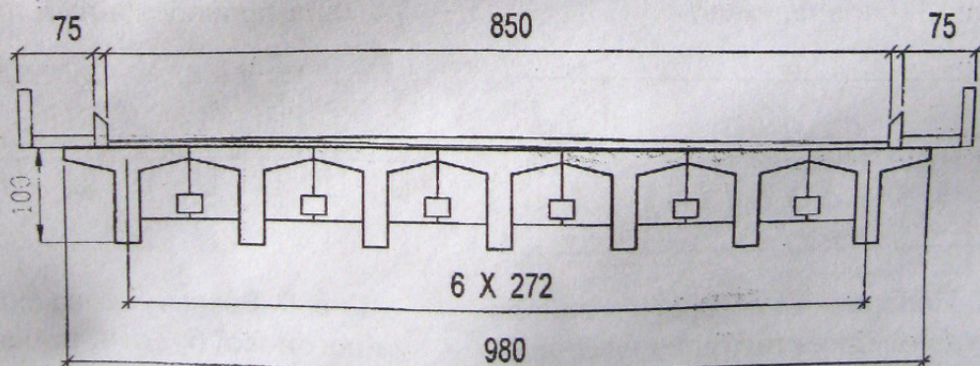


Рис. 10. Діафрагмова прогонова будова

2) Досліджувався вплив товщини накладної плити на поперечний розподіл тимчасового навантаження та несучу здатність прогонової будови (рис.12). Встановлено, що збільшення товщини плити до розміру, більшого ніж 23 см, не має сенсу, тому що несуча здатність реконструйованої прогонової будови при збільшенні товщині починає зменшуватися.

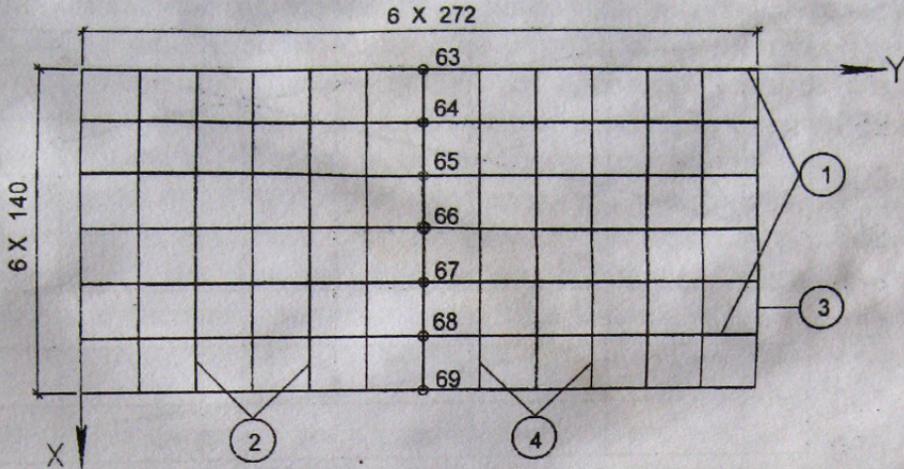


Рис. 11. Модель прогонової будови

1 - елементи головної балки; 2 - елементи діафрагми; 3 - елементи діафрагми в торці головної балки; 4 - елементи плити головної балки

Статистична обробка отриманих даних дозволяє записати зменшення згинаючих моментів у кінцевому ребрі діафрагмової прогонової будови у такому вигляді:

$$M_{pek,h} = (1-hk)M_0, \quad (8)$$

де:  $M_{pek,h}$  - максимальний згинаючий момент у першому ребрі діафрагмової прогонової будови після влаштування накладної плити (без врахування власної ваги плити);

$M_0$  - максимальний згинаючий момент до реконструкції;

$h$  - товщина накладної плити (в см);

$k$  - коефіцієнт зменшення згинаючого момента (в 1/см).

Для практичних ескізних розрахунків можна приймати:  $k = 0,005685$  - для навантаження АК;  $k = 0,007950$  - для навантаження НК-80.

3. Дослідження напруженого стану поздовжнього стику сполучення старих та нових елементів діафрагмових прогонових будов, що підлягають реконструкції.

Розглядається діафрагмова прогонова будова з ненапруженою арматурою, прогін  $L = 16.3$  м (Головтранспроєкт, вип.167) та реконструкція несиметричного поширення за рахунок одного приставного блоку типу, що

відмінний від інших. Метою дослідження є аналіз ефективності та надійності стикування старих і нових елементів прогонових будов, які реконструюються.

Просторовий розрахунок на тимчасові рухомі навантаження прогонової будови, що досліджується, виконано за моделлю № 3. Тимчасове навантаження – НК-80.

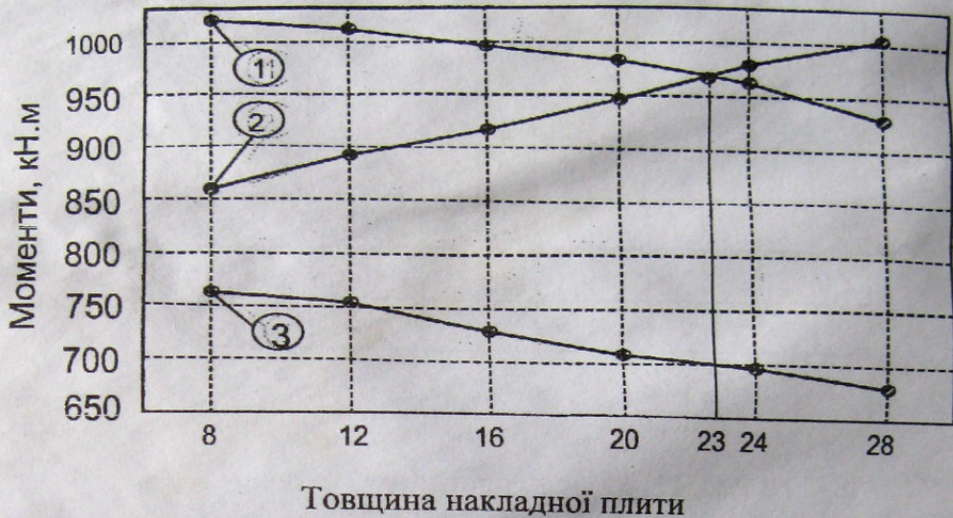


Рис. 12. Зміна згинаючих моментів зі збільшенням товщини накладної плити:  
 1- несуча здатність балки; 2- зміна моментів з урахуванням власної ваги;  
 3- зміна моментів без урахування власної ваги.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена дослідженню напружено-деформованого стану залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів, що підлягають реконструкції, і розробці на цій основі інженерного апарата просторового розрахунку на тимчасове рухоме навантаження. Основні висновки зводяться до наступного:

1. У дисертаційній роботі розроблено нові математичні моделі дискретно-континуального методу скінченних елементів, призначені для чисельного дослідження просторової роботи прогонових будов автодорожніх мостів, що реконструюються.

2. Запропонована нова дискретна модель з елементом, який має два ступені свободи, призначена для просторового розрахунку плитних прогонових будов або будь-яких інших з поздовжнім шарнірним стиком. Для двовимірного елемента в тривимірному просторі, отримано нову матрицю жорсткості і вектори еквівалентних вузлових сил.

Матриця системи рівнянь нової моделі має тридіагональну структуру, невелику кількість невідомих при достатньо високій точності розв'язку. Тестування запропонованої моделі показало її високу точність у розв'язанні задачі про розподіл тимчасового рухомого навантаження між елементами реального об'єкта.

3. Запропоновано модель дискретно-континуального методу з багатошаровим елементом, що має 12 ступенів свободи, яка дозволяє детально дослідити напружено-деформований стан бездіафрагмових прогонових будов довільного поперечного перерізу із складовими різних фізичних і геометричних характеристик, багатошарових плит перекриттів і покрівель цивільних і промислових будинків, складчастих конструкцій тощо.

4. Побудовано комп'ютерні програми, що реалізують запропоновані дискретні моделі, та програми тестування за допомогою відомих розв'язків та даних натурних досліджень прогонових будов. Отримані програми використано для чисельного дослідження поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження між елементами прогонових будов автодорожніх мостів.

5. Виконане чисельне дослідження поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження бездіафрагмовими прогоновими будовами мостів, що реконструюються, дозволило отримати нові наукові результати для типових бездіафрагмових прогонових будов П-образного перерізу, ребристих бездіафрагмових прогонових будов П-образного перерізу і типових ребристих бездіафрагмових прогонових будов Т-образного перерізу.

6. Отримано нові наукові результати, що визначають закономірність поперечного розподілу тимчасового навантаження у типових ребристих діафрагмових прогонових будовах мостів. Встановлено, що у проектах реконструкції можна збільшити несучу здатність перерізу, встановлюючи накладну плиту товщиною 8 см - 23 см (для прогонів 8,4 м - 21,6 м). Значення товщини накладної плити  $h_n = 23$  см є граничним, за яким несуча здатність прогонової будови починає зменшуватися.

7. Спираючись на результати чисельного аналізу, сформульовано умови економічної доцільності кожної з чотирьох розповсюджених схем реконструкції балочних ребристих прогонових будов мостів, які досліджено у дисертації.

8. Шляхом чисельних експериментів досліджено напружений стан поздовжнього стику нового блока з існуючою прогоновою будовою. Отримані результати дали змогу сформулювати практичні рекомендації щодо проектування поєднання старих і нових блоків прогонової будови.

9. Запропоновані у дисертації нові математичні моделі, методики просторового розрахунку і пакет програм можуть бути застосовані при проектуванні реконструкції і нових прогонових будов, дослідженні їх напружено-деформованого стану, в оцінці надійності балочних ребристих прогонових будов автодорожніх мостів. Ці моделі можуть бути застосованими для розрахунків широкого класу цивільних і промислових споруд.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Абделаль Ясер Эль Хасан. Поперечное распределение временной нагрузки в реконструируемых диафрагменных пролетных строениях мостов // Научно-технический сборник: "Коммунальное хозяйство городов". - вып. 19. - К.: "Техніка", 1999. - с. 122-128.

2. Абделаль Ясер Эль Хасан. Поперечное распределение временной нагрузки в реконструируемых бездиафрагменных пролетных строениях автодорожных мостов // Научно-технический сборник: "Коммунальное хозяйство городов". - вып. 20, ч. 1. - К.: "Техніка", 1999. - с. 57-63.

3. Абделаль Ясер Эль Хасан. Исследование поперечного распределения временной нагрузки пролетным строением из п-образных ребристых блоков // Научно-технический сборник: "Коммунальное хозяйство городов". - вып. 21. - К.: "Техніка", 2000. - с. 136-141.

4. Абделаль Ясер Эль Хасан. Исследование напряженного состояния продольного стыка сопряжения старых и новых элементов // Научно-технический сборник: "Коммунальное хозяйство городов". - вып. 25. - К.: "Техніка", 2000. - с. 124-132.

5. Абделаль Ясер Эль Хасан. Матриця жорсткості для просторового розрахунку прогонових будов мостів // Міжвідомчий науково-технічний збірник: "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво". - вип. 57. - К.: "Український транспортний університет", 1999. - с. 214-217.

6. Лантух-Лященко А. І., Ясир Ель Хассан Абделааль. Напряженное состояние сборно-монолитных реконструируемых мостов малых пролетов // Сб. "Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації штучних споруд на шляхах сполучення". - К.: "Транспортна Академія України", 1996. - с. 31-32.

7. Лантух-Лященко А. И., Ясер Ель Хасан Абделаль. Пространственный расчет реконструируемых пролетных строений // Сб. "Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації штучних споруд на шляхах сполучення". - К.: "Киеворгстрой", 1998. - с. 132-138.

В публікаціях [6,7] Абделалю Ясеру Ель Хасану належить чисельне дослідження напруженого стану збірно-монолітних прогонових будов мостів, що реконструюються, та власна модель просторового розрахунку.

## АНОТАЦІЯ

**Абделаль Ясер Ель Хасан.** Чисельний аналіз деформування мостових конструкцій на основі дискретно-континуальних моделей. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05. 23. 17- Будівельна механіка, Київській національній університет будівництва і архітектури, Київ, 2001.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню напружено-деформованого стану залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів, що реконструюються, дослідженню закономірностей поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження між елементами прогонових будов і розробці на цій основі інженерного апарата просторового розрахунку на тимчасове рухоме навантаження.

В роботі запропоновано нові моделі дискретно - континуального методу і узагальнені дискретні моделі, відомі раніше, які призначено для просторового розрахунку бездіафрагмових прогонових будов автодорожніх мостів. Запропоновані моделі мають достатню для практичних цілей точність при малій кількості невідомих та високій швидкості алгоритмів. Розроблено методичку і програмне забезпечення, котрі дозволяють виконувати розрахунки прогонових будов автодорожніх мостів на дію тимчасового рухомого навантаження. Розроблені моделі і програми можуть застосовуватися також до розрахунку широкого класу промислових та цивільних споруд. Отримано нові наукові результати стосовно закономірностей поперечного розподілу тимчасового рухомого навантаження в ребристих бездіафрагмових і діафрагмових прогонових будов та впливу накладної плити на їх несучу здатність.

**Ключові слова:** бездіафрагмова прогонова будова; варіаційний метод; діафрагмова прогонова будова; дискретна модель; дискретно-континуальна форма МСЕ; багат шаровий елемент; метод скінченних елементів; напружено-деформований стан; ребриста залізобетонна прогонова будова; стержнева модель; чисельний метод.

## АННОТАЦИЯ

**Абделаль Ясер Эль Хасан.** Численный анализ деформирования мостовых конструкций на основе дискретно-континуальных моделей. - Рукопись.

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 23. 17- Строительная механика, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2001.

№1  
Київський національний  
університет  
будівництва і архітектури  
БІБЛІОТЕКА

Диссертационная работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния реконструируемых железобетонных пролетных строений автодорожных мостов, исследованию закономерностей поперечного распределения временной подвижной нагрузки между элементами пролетных строений и разработке на этой основе инженерного аппарата пространственного расчета на временную подвижную нагрузку.

Содержание диссертации. Во введении обоснованы актуальность, научная новизна и практическая ценность работы, дана ее общая характеристика.

В разделе 1 выполнен аналитический обзор проектных решений уширения и усиления железобетонных пролетных строений автодорожных мостов и применяемых методов пространственного расчета реконструируемых пролетных строений.

В разделе 2 представлены новые дискретные модели пространственного расчета ребристых пролетных строений мостов. Теоретической основой предлагаемых математических моделей является дискретно-континуальная форма метода конечных элементов. Предлагаемые модели алгоритмизированы и разработаны компьютерные программы эффективного инженерного аппарата пространственного расчета реконструируемых пролетных строений на воздействие временных подвижных нагрузок.

В разделе 3 представлены результаты численного исследования закономерностей поперечного распределения временной подвижной нагрузки реконструируемым железобетонным пролетным строением. Приведено большое количество численных экспериментов, цель которых заключалась в выяснении точности и применимость предлагаемой дискретной модели.

Полученные результаты сравниваются с другими известными решениями и данными натурных испытаний. Анализ полученных данных подтверждает, что предложенная модель имеет достаточную для практических целей точность и может служить эффективным средством пространственного расчета плитных и ребристых пролетных строений, имеющих продольный шарнир между блоками.

Здесь также, используя предлагаемую модель, исследуется поперечное распределение временной нагрузки в пролетных строениях из блоков П-образного сечения. Получены новые данные, устанавливающие влияния ширины и длины пролета, толщины накладной плиты на поперечное распределение временной нагрузки между элементами пролетного строения.

В разделе 4 представлены численные исследования напряженного состояния реконструируемых бездиафрагменных и ребристых диафрагменных железобетонных пролетных строений малых и средних пролетов. Для исследования используются предложенные в разделе 2 модели дискретно-континуального метода и разработанные автором компьютерные программы.

Целью исследования является выяснение закономерностей распределения временной подвижной нагрузки между элементами бездиафрагменных ребристых пролетных строений и влияния накладной плиты. В результате установлены зависимости повышения несущей способности пролетных строений для рассматриваемых схем реконструкции.

Здесь также исследуется поперечное распределение временной подвижной нагрузки между элементами ребристых диафрагменных пролетных строений и напряженно-деформированного состояния участка плиты между старой и новой частью реконструируемого пролетного строения. Эти исследования выполнены по дискретной модели стержневой аппроксимации, используя классическую форму метода конечных элементов. Результаты этой части исследования позволили сформулировать практические рекомендации по проектированию стыка старых и новых блоков реконструируемого пролетного строения.

Результаты диссертации. В работе получены новые модели дискретно-континуального метода, предназначенные для пространственного расчета бездиафрагменных пролетных строений автодорожных мостов. Предлагаемые модели имеют достаточную для практических целей точность при малом количестве неизвестных и высоком быстродействии алгоритмов. Разработаны методика и программное обеспечение, позволяющие выполнять пространственные расчеты реконструируемых пролетных строений автодорожных мостов на воздействие временных подвижных нагрузок. Разработанные модели могут быть также применены для расчета широкого класса промышленных и гражданских зданий.

Получены новые научные результаты о закономерностях поперечного распределения временной подвижной нагрузки в ребристых бездиафрагменных и диафрагменных пролетных строениях и влиянии накладной плиты на их несущую способность.

**Ключевые слова:** бездиафрагменное пролетное строение; вариационный метод; диафрагменное пролетное строение; дискретная модель; дискретно-континуальная форма МКЭ; многослойный элемент; метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; ребристое железобетонное пролетное строение; стержневая модель; численный метод.

## ABSRTUCT

**Yassir Elhassan Abdelaal.** The numerical analysis of deformed of Bridges construction on a basis of discrete - continual models. – Manuscript.

The dissertations on competition of a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on Speciality 05. 23. 17- Structural Mechanics, The Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2001.

The dissertational work is devoted to study of the stress-strain state reinforced concrete of span structures for road bridges in reconstruction.

Investigations of laws of transversal distribution of temporary mobile loading between elements of span structures and development on this basis of the engineering device of spatial analysis on temporary mobile loading were made.

In the work the new model of method discrete - continual is received, and the before known discrete models intended for spatial analysis of span structures of road bridges are generalized. The models offered have sufficient accuracy for practical purposes with a small number of unknown variables and high velocity for algorithms is achieved. The technique of spatial analysis and software are developed. The developed models can be also applied for account of a wide class of industrial and civil buildings.

The new scientific results on laws of transversal distribution of temporary mobile loading in bridge structures and influence of a superimposed deck on their load carrying capacity are received.

**Key words:** span structure without diaphragms; a variation method; diaphragm span structure; discrete model; discrete - continual form of FEM; element of many layers; the finite element method; the stress-strain state; reinforced concrete span structures of bridge; rod model; a numerical method.

Поліграфічний

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
01033, Київ, бульв. Т. Шевченка, 14, кімн. 26,  
тел. (38044) 224 0105

Підписано до друку 05.01.2001. Формат 60x84/16.  
Друк офсетний. Наклад 100. Умовн. друк. арк. 1.  
Зам. № 21-2706