

Українська державна академія
залізничного транспорту

ФЕЙРУШАХ С. МОХАМАД

УДК 624:725/728

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСЯЧИХ СТІН

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельних конструкцій Харківської національної академії міського господарства Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Шмуклер Валерій Самуїлович**, професор кафедри будівельних конструкцій Харківської національної академії міського господарства.

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

кандидат технічних наук, доцент **Семко Олександр Володимирович**, доцент кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка.

Провідна установа: Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України, кафедра будівельних конструкцій і мостів.

Захист відбудеться "27" січня 2005 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2004 р.

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

Ватуля Г.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Висяча стінка, підтримувана рандбалкою, являє собою біагрегат, поведження якого під навантаженням може змінюватися якісно і кількісно в широких межах. Дана обставина приводить до необхідності вивчення впливу особливостей конструкції на її стартові й експлуатаційні характеристики. Інтерес дослідження, крім того, обумовлений широким використанням висячих стін у сучасних будинках, включаючи відображення специфіки їхньої багат шарової структури, що задається. У технічній літературі останніх років цим питанням приділено мало уваги, хоча бурхливий розвиток чисельних методів, поза сумнівом, визначає необхідність перевірки рекомендацій і вказівок нормативних документів, що були сформульовані досить давно, і, як наслідок, носять наближений характер. Не менш важливим фактором, що спонукує до проведення досліджень деформування розглянутої системи є його нелінійний характер, викликаний конструктивними особливостями біелемента. Останнє зв'язано з можливою двозначністю епюри контактних напружень, що виникають між балкою-стіною і рандбалкою, що приводить, в остаточному підсумку, до порушення суцільності конструкції і збільшенню концентрації напружень поблизу опор. І, нарешті, зовнішня і внутрішня структури системи дозволяють здійснити регулювання напруженого стану з метою збільшення довговічності і надійності конструкції. Перераховане підкреслює актуальність і обумовлює доцільність вивчення проблеми, що розглядається в роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрямок досліджень зв'язаний з виконанням Харківською національною академією міського господарства плану науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України на 2002-2005р.р., п. 633, від 5.11.2002 р.: тема "Разработка и исследование новой архитектурно-строительной системы для жилищно-гражданского строительства", № держреєстрації 0103U004050. Особистий внесок автора – чисельні дослідження напружено-деформованого стану раціональних конструкцій рандбалок.

Мета роботи – створення й удосконалювання елементів висячих стін будинків на основі методів регулювання їхніх конструкційних параметрів.

Задачі дослідження:

- розробка і обґрунтування теоретичної моделі, що імітує напружено-деформований стан висячої стіни, яка враховує особливості деформування цього біагрегата, і в першу чергу, фізичну і конструкційну нелінійності;
- на основі побудованої моделі складання методик раціоналізації зовнішніх і внутрішніх параметрів висячої стіни;

- експериментальне тестування та оцінка адекватності складеної теоретичної моделі, шляхом постановки і проведення квазінатурних випробувань.

Об'єкт дослідження – висяча кам'яна стіна з прорізами і перемичками, яка опирається на залізобетонні чи металеві рандбалки.

Предмет дослідження – розподіл внутрішніх зусиль у висячих стінах і зусиль їхньої взаємодії на контактні стіна-рандбалка.

Методи дослідження. Побудова конструктивної схеми висячих стін з використанням методу прямого проектування у формі регулювання характером їхнього напружено-деформованого стану; раціоналізація параметрів конструкції методом адаптивної еволюції; теоретичне вивчення особливостей деформування і тестування методики формування конструкції споруди на основі його кінцевоелементного моделювання та експлуатації універсального обчислювального комплексу "ЛІРА"; експериментальні дослідження роботи висячої стіни з цегельної кладки із залізобетонною рандбалкою шляхом використання елементів автоматизованої системи наукових досліджень, включаючи зіставлення теоретичних результатів і результатів експериментів.

Наукову новизну одержаних результатів складають:

- розробка нелінійної кінцевоелементної моделі, а на її основі побудова методики оцінки напружено-деформованого стану неоднорівняної балки-стіни, що опирається на рандбалку;

- розробка принципів раціоналізації параметрів системи “висяча стіна – рандбалка”;

- чисельні дослідження впливу різних факторів на створення раціональних конструкцій рандбалок і перемичок;

- створення практичного інженерного методу розрахунку системи “висяча стіна - рандбалка”;

- проведення експериментальних досліджень натурних зразків висячих стін із прорізами.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні методик раціонального проектування системи “висяча стіна - рандбалка”, що дозволяє одержувати нові, науково обґрунтовані конструктивні рішення будинків. Розроблена розрахункова модель висячих стін надає проектувальникам широкі можливості при створенні об'єктів житла, що відрізняються високою художньою виразністю і конкурентоздатністю.

Результати дисертаційної роботи впроваджено при проектуванні житлового будинку № 36, розташованого в м. Харкові на Північній Салтівці-1, а також у житлових будинках №№ 47, 47А, 48, що споруджуються, у мікрорайоні № 9 м. Железнодорожська Курської області РФ.

Особистий внесок здобувача:

- проведено аналіз літературних джерел, присвячених експериментальному і теоретичному дослідженню роботи системи “вісяча стіна – рандбалка”;
- розроблено й обґрунтовано методику формування вісячих стін з регульованими параметрами;
- побудовано кінцевоелементну модель і, на її базі, проведено аналіз напружено-деформованого стану контактної шви між балкою-стілкою і рандбалкою із широким варіюванням параметрів, що впливають на раціональність конструктивного рішення;
- проведено експериментальні дослідження напружено-деформованого стану вісячих стін на натурних зразках, що мають оптимізовані параметри;
- розроблено практичний метод розрахунку рандбалок;
- здійснено впровадження результатів дисертаційної роботи, включаючи економічну оцінку запропонованих рішень.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на:

- науково-практичних конференціях Харківської національної академії міського господарства (1998-2002 р.р.);
- всеукраїнській науково-практичній конференції “Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми”, Київ, 2001р.;
- науково-практичній конференції “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”, Рівне, 2001р.

У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на Харківському міському семінарі при спеціалізованих вчених радах Д 64.056.04 і Д 64.820.02.

Публікації. Основні положення дисертації і результати досліджень опубліковані у 8 друкованих працях, що ввійшли у видання, рекомендовані ВАК України.

Обсяг дисертації і її структура. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків і додатку. Повний обсяг дисертації 196 сторінок, у тому числі: 121 сторінок машинописного тексту, 9 таблиць, 77 рисунків, використаних у роботі літературних джерел 184, а також один додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дано обґрунтування актуальності теми дисертації і її наукової новизни, оговорена методологія дослідження, приведені результати, що виносяться на захист і мають практичне значення.

У першому розділі проведено упорядкування і класифікація систем багатоповерхових будинків. Позначено основні трансформації конструктивних схем висячих стін, зв'язані з появою нових методів розрахунку, ускладненням умов будівництва, вимогами екологічної позитивності й економічної доцільності. Виділено особливу роль у розвиток методів проектування та розрахунку кам'яних і залізобетонних конструкцій, і зокрема, В.М. Байкова, А.Я. Барашикова, В.М. Бондаренка, П.Ф. Вахненко, Р.Х. Вуда, О.О. Гвоздева, А.В. Грановського, М.Ф. Давидова, Я.Д. Лівшиця, В.И. Лишака, В.О. Камейка, М.І. Карпенка, Ю.А. Климова, М.Й. Колякова, В.В. Михайлова, Г.А. Молодченка, В.П. Некрасова, Ю.І. Немчинова, М.В. Нікітіна, Л.І. Онищика, Т.М. Пецольда, С.В. Полякова, С.О. Семенцова, С.Л. Фоміна, С.Є. Фрайфельда, В.В. Ханджи, Е.Д. Чихладзе, О.Л. Шагіна та інших. На значній кількості прикладів, запозичених з їхніх досліджень, а також на основі розгляду побудованих і запроектованих будинків проаналізовані схеми включення в опір біагрегата рандбалок і кам'яних стін; досліджені фактори, які впливають на спільність роботи цих складових. Перераховане дозволило визначити коло невирішених проблем як конструктивного, так і розрахункового порядку. При цьому, в окремий напрямок виділена задача оптимізації параметрів висячих стін. Показано, що незважаючи на значні успіхи, визначені роботами Я. Арора, М.В. Банучука, М.І. Безухова, О.Я. Берга, І.А. Біргера, П.М. Варвака, Г.В. Василькова, О.І. Виноградова, І.І. Гольденבלата, О.С. Городецького, Б.М. Жемочкина, О.К. Зенкевича, Р.У. Клафа, А.І. Лур'є, М.М. Моїсеєва, О.В. Лужина, М.М. Малініна, В.В. Новожилова, Я.Г. Пановко, І.М. Рабіновича, Ю.М. Работнова, М.І. Рейтмана, О.Р. Ржаніцина, Л.О. Розіна, М.М. Складнева, С.П. Тимошенко, А.П. Філіна, Е. Хога, Ф.Л. Черноусько, К. Чоя, В.М. Шимановського, В.С. Шмуклера та інших, кількість вирішених задач подібного класу, і особливо, для конструктивних систем у цілому, явно недостатня. Відсутність у теорії і практиці необхідних результатів у сукупності з проведеним аналізом дала можливість сформулювати задачі дійсного дослідження.

У другому розділі здійснено моделювання напружено-деформованого стану висячих стін. З цією метою була побудована кінцевоелементна модель системи, формалізована мовою ОК "ЛІРА". Нагромадження і обробка отриманої інформації, з метою виявлення напружено-деформованого стану конструкції, здійснювалися за допомогою компіляційної процедури, що включає метод кінцевих елементів і алгоритми послідовного урахування особливостей нелінійного деформування. Висяча стіна, яка має цілий ряд позитивних якостей, створювалася на основі методу оптимального керування поведінням конструкції, у зв'язку з чим, визначений інтерес представило вивчення полів силових факторів, що виникають у конструкції, якісні і кількісні характеристики якої формувалися априорі.

Найважливішими також були питання, зв'язані з оцінкою перекручування наперед заданих силових полів. Подібні аномалії мають місце в силу наявності прорізів у стінах, включень з різномодульних матеріалів, виникнення концентрації напружень і т.д. Абсолютно строге урахування усіх факторів навряд чи можливе навіть при наявності швидкодіючих ЕОМ. Тому був запроваджений ряд вихідних спрощуючих передумов і гіпотез, що лежать в основі сформованої моделі, основні з яких:

- балка-стінка і рандбалка дискретизуються шляхом використання елемента ізотропної оболонки нульової гаусової кривизни (2-х константна модель). При необхідності, можливе введення анізотропного елемента оболонки;

- зв'язки між балкою-стіною і рандбалкою моделюються кінцевими елементами стержнів. При цьому, конструкційна нелінійність роботи зв'язків (порушення спільності переміщень між стіною і балкою) враховується шляхом застосування кінцевого елемента зв'язку одностороннього типу при роботі на розтягання-стискання і який має задану жорсткість на зсув.

Для вивчення перерахованих вище питань були обрані об'єкти дослідження у вигляді балки-стінки з цегельної кладки і залізобетонної рандбалки при наявності віконних і дверних прорізів і без прорізів. До складу об'єкта також входять висячі стіни з різними конфігураціями рандбалки, різними співвідношеннями жорсткостей складових елементів висячої стіни. Нелінійність деформування бетону враховувалася шляхом задання діаграми σ - ε у вигляді, запропонованому Л.П. Саенсом, Н.Ф. Давидовим і В.С. Шмуклером.

$$\sigma_B = \frac{\alpha \times Z}{Z^2 + \beta \times Z + 1}, \quad (1)$$

σ_i, ε_i – інтенсивності напружень і деформацій;

$$\alpha = E_o \times \varepsilon_R; \quad \beta = \frac{\alpha}{R} - 2; \quad Z = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_R}; \quad E_o - \text{початковий модуль}$$

деформації 1-го роду; R - тимчасовий опір; ε_u - деформація, при якій $\sigma = R$.

Для всіх кам'яних матеріалів описання процесу деформування здійснилось на основі залежності Л.І. Онищика:

$$E_k = E_{o,k} \left[1 - \left(\frac{\sigma_k}{R^*} \right)^k \right], \quad (2)$$

E_k – дотичний модуль деформацій кладки;

$E_{o,k}$ – початковий модуль деформацій (модуль пружності);

R^* - умовне напруження, при якому $E_k = 0$;

k - показник ступеня, який залежить від видів розчину і каменю кладки.

Перед початком дослідження проводилось тестування кінцево-елементної моделі системи шляхом згущення сітки кінцевих елементів у два рази і зіставлення отриманих результатів розрахунку між собою і з відомими аналогами, отриманими апостеріорними стосовно МКЕ методами. Новим моментом у проведенні дослідження стала пропозиція про використання ідей імітаційного моделювання. Суть його полягає не в рішенні великого числа задач, а в моделюванні відповідного числа ситуацій, що підлягають аналізу. Подібний підхід заміняє чисто обчислювальну проблему проблемою логіко-обчислювальною та істотно скорочує кількість задач, що вирішуються.

Проведене моделювання споруди і чисельні дослідження цілком підтвердили коректність запропонованого підходу і репрезентативність одержаних результатів, включаючи вибір компонентів вектора керуючих параметрів. Сказане є наслідком того, що в роботі вперше дано аналіз впливу ряду факторів на роботу системи «висяча стіна – рандбалка». Дослідження роботи біелементів з рандбалками різної конфігурації (рис. 1) дозволило побудувати епюри розподілу напружень на контактній поверхні у вибраних для аналізу конструктивних рішень. Порівняння представлених графіків (рис. 2) показує, що застосування традиційних рандбалок постійного перерізу приводить до концентрації напружень у кладці приопорних ділянок. Найбільш сприятливими з точки зору вирівнювання і зниження контактних напружень виявляються рандбалки перемінного перерізу, з випуклістю верхньої кромки, а найменш ефективні - рандбалки з увігнутою верхньою кромкою.

На рис. 3 і 4 показані графіки зміни контактних напружень при зміні висоти висячої стіни і при зміні модуля деформації цегельної кладки E_k . Цілком очевидно, що після $H = 5$ м контактні напруження практично лінійно зростають з ростом висоти стіни. Що ж стосується змін E_k , то швидкість росту модуля кладки випереджає швидкість росту концентрації напружень у приопорній ділянці, тому що зв'язок між ними нелінійний. Крім того, досліджена робота висячих стін, обпертих на багатопрогонові рандбалки з опорами різної ширини.

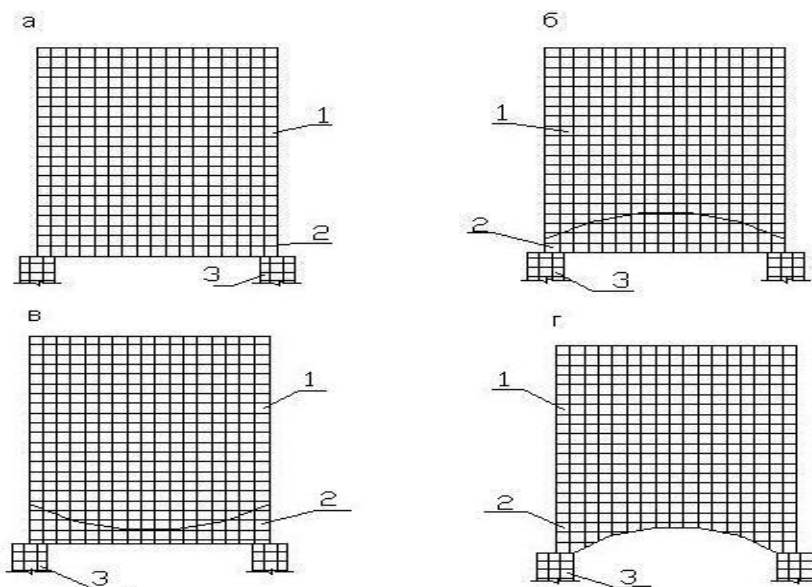


Рис. 1. Розрахункові схеми біелемента (суцільна стіна):

а - кінцевоелементна модель біелемента з рандбалкою постійного перерізу;

б-г- кінцево-елементна модель біелемента з рандбалкою перемінного перерізу;

1- балка-стінка;

2- рандбалка;

3 – опора

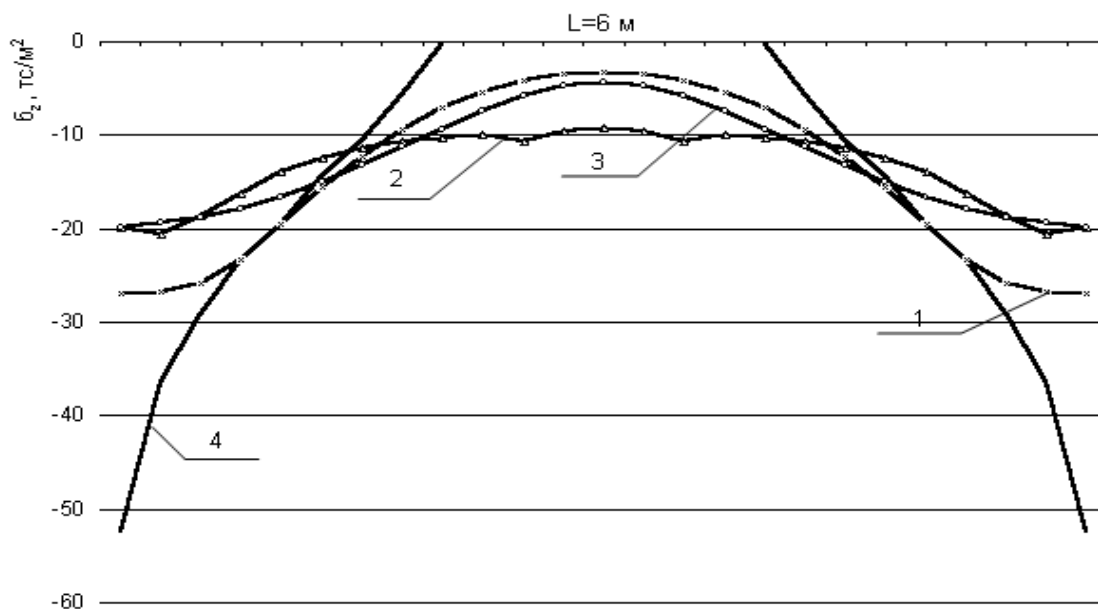


Рис. 2. Графік зміни напружень у залежності від конфігурації рандбалки (суцільна стіна): криві 1, 2, 3 і 4 відповідно для випадків а, б, в і г на рисунку 1

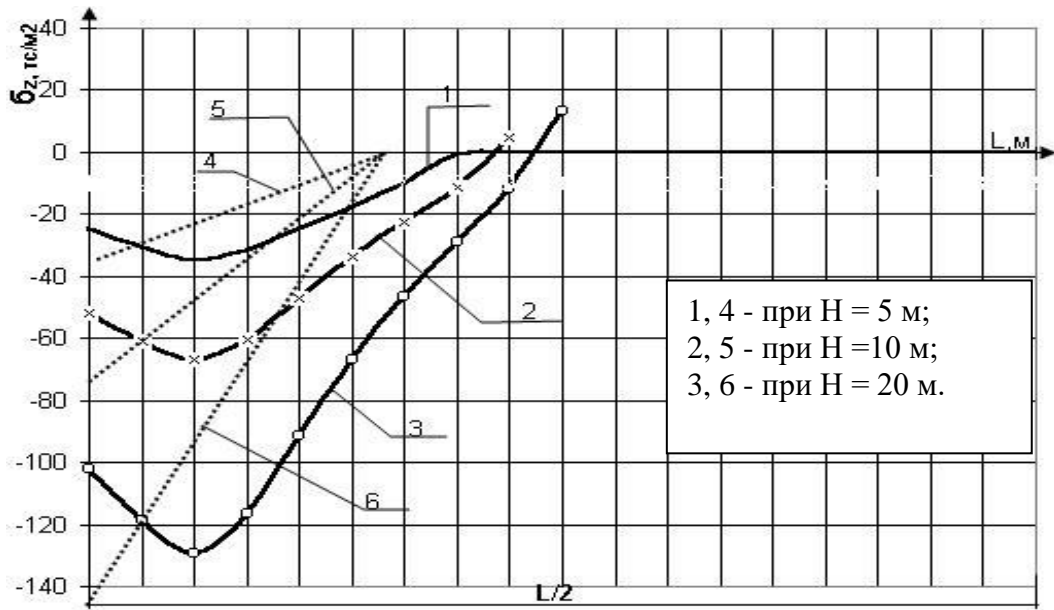


Рис.3. Графік зміни контактних напружень на $1/2 L$ у залежності від висоти балки-стілки:

- 1, 2, 3 - розрахунок за МКЕ;
4, 5, 6 - розрахунок за СНиП

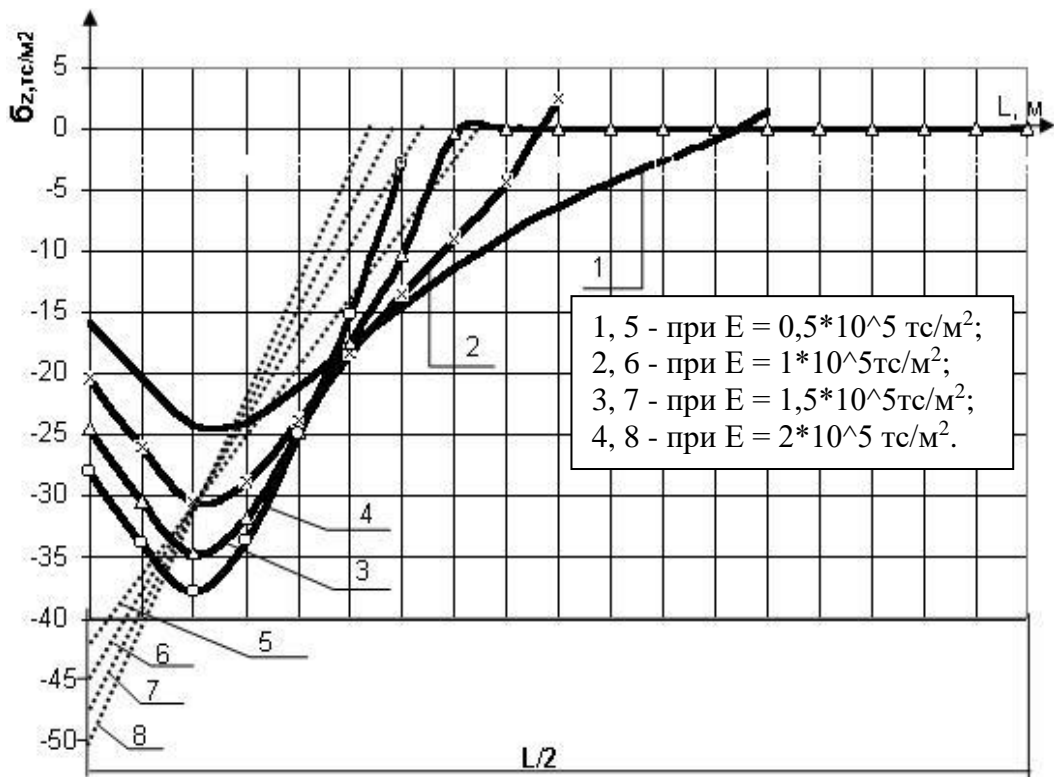


Рис.4. Графік зміни контактних напружень на $1/2 L$ у залежності від модуля деформації балки-стілки:

- 1, 2, 3, 4 - розрахунок за МКЕ;
5, 6, 7, 8 - розрахунок за СНиП

Природно, що збільшення ширини опор рандбалок зменшує концентрацію напружень. Однак у роботі показано, що при цьому напруження між рандбалкою і кладкою розподіляються нерівномірно зі збільшенням напружень стискання крайових зон (рис. 5).

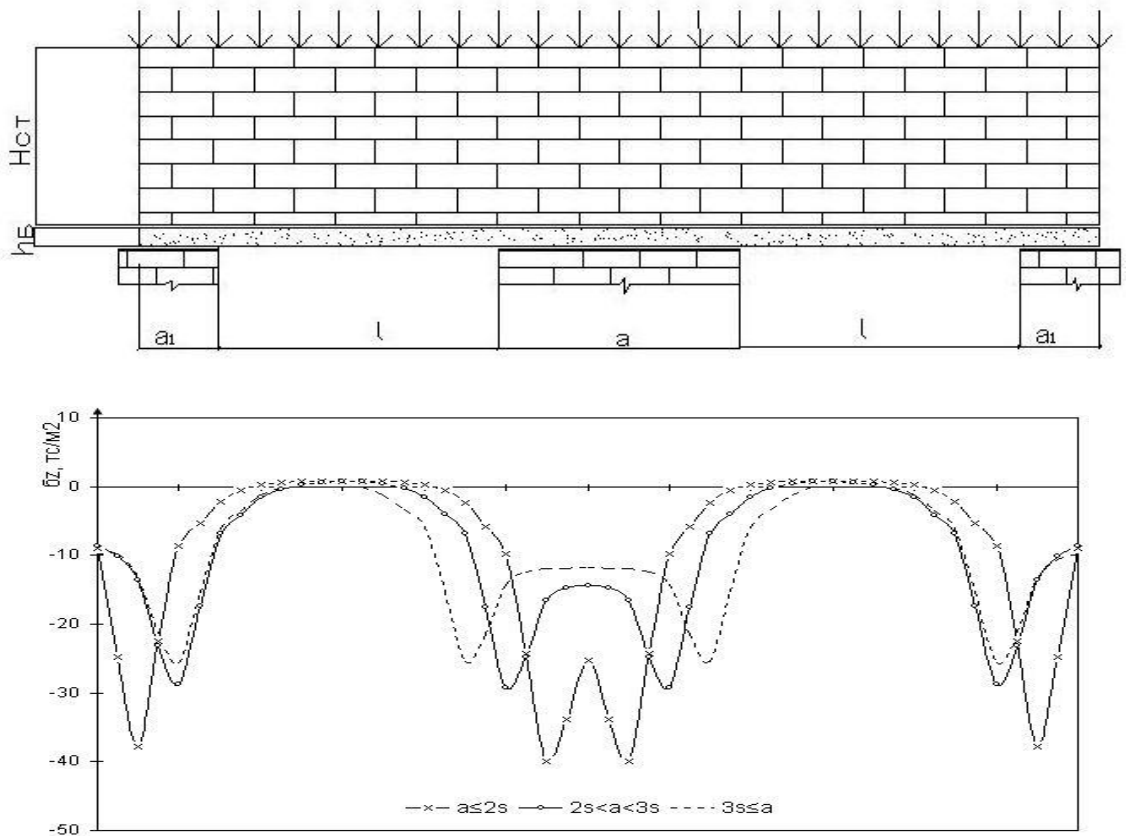


Рис.5. Графік зміни контактних напружень в двопрогоновій висячій стіні у залежності від ширини опорної частини:

a - ширина опори (середня),
 s - довжина ділянки епюри розподілу контактних напружень в кожену сторону від грані опори

У третьому розділі розглянуті питання раціоналізації конструктивних параметрів біелемента “висяча стіна – рандбалка”. Зокрема відзначено, що сполучення методу кінцевих елементів і методу регулювання параметрами системи, особливо у формі методу адаптивної еволюції, обумовлює можливість побудови процедури прямого визначення фізико-геометричних характеристик конструкцій, у тому числі балок–стінок. Цей алгоритм припускає визначення розподілу товщини балки-стінки в результаті послідовної побудови енергетично рівномірної системи, що забезпечує мінімізацію витрати матеріалу. Реалізований підхід, на відміну від традиційного оптимізаційного, ґрунтується теоретичною моделлю, запропонованою Г.В. Волошковим і розвинутою у роботах В.С. Шмуклера.

Алгоритм адаптивної еволюції припускає ітераційну зміну геометричних параметрів системи відповідно до умови $e \rightarrow e_u$, де e – щільність енергії деформацій (ЩЕД); e_u – гранична щільність енергії деформацій (ГЩЕД).

Для реалізації поставленої задачі методом кінцевих елементів, представленому у формі методу переміщень, використаний прямокутний кінцевий елемент балки-стілки з вісьма ступенями свободи. При цьому, структура розглянутої конструкції характеризується постійними (зовнішніми) параметрами (генеральні розміри, типи зв'язків) і мінливими (внутрішніми), що визначаються в процесі адаптивної еволюції. Внутрішні параметри впливають на конфігурацію і об'єм і визначаються на підставі гіпотетичного виразу:

$$h^{i+1} = h^i (e^i e_u^{-1})^\gamma, \quad (3)$$

де h – відповідний внутрішній параметр, наприклад, товщина балки-стілки;

i – номер внутрішньої (поточної) ітерації;

γ – параметр адаптивної еволюції, при цьому, $\gamma \in [0,1]$ і визначається на основі обчислювального експерименту.

Загальна процедура рішення поставленої задачі представляється у вигляді:

$$h_r^{m,n} \in [h_{\min}; h_{\max}] \Rightarrow \{\delta^{m,n}\} = [R^{m,n}]^{-1} \{P^{m,n}\} \Rightarrow e_r^{m,n} = A_r^{m,n} V_r^{-1} \Rightarrow \\ \Rightarrow h_r^{m,n+1} = (e_r^{m,n} e_u^{-1})^\gamma \cdot h_r^{m,n};$$

$$m = 1, 2, \dots, k_2; n = 1, 2, \dots, k_1.$$

Тут прийняті наступні позначення:

$[R^{m,n}]$ – матриця жорсткості системи;

$\{\delta^{m,n}\}$ – вектор переміщень;

$\{P^{m,n}\}$ – вектор зовнішніх сил;

h_r – товщина r -го кінцевого елемента (внутрішній параметр);

$A_r^{m,n}$ – потенційна енергія деформацій r -го кінцевого елемента;

V_r – об'єм r -го кінцевого елемента;

$h_{\min}; h_{\max}$ – відомі постійні;

$e_r^{m,n}$ – щільність потенційної енергії деформацій у r -ому кінцевому елементі;

k_1 – число ітерацій внутрішнього циклу; визначається в порядку рахунка до виконання нерівності:

$$|V^{n+1} - V^n| / \min\{V^{n+1}; V^n\} \leq \mu; \quad (4)$$

μ – відома постійна;

k_2 – число ітерацій зовнішнього циклу.

ЩЕД, без обліку розвантаження і пружного наслідку, визначається роботою, яка затрачується на деформацію зразка, аж до його руйнування, що приходить на одиницю об'єму і вимірюваною площею індикаторної діаграми « σ - ε ». ГЩЕД обумовлено мірою в'язкості, тобто гранично можливою питомою роботою. При $e > e_u$ кінцевий елемент руйнується. Більш того, якщо зони руйнування досить великі, то можливе порушення цілісності системи (конструкції), її розпад. У зв'язку з чим представляє інтерес установлення розподілу матеріалу в конструкції, при якому $e = e_u$, тому що саме він визначає границю між енергетично рівномірним станом і повним руйнуванням всіх елементів системи одночасно. У цьому стані досягається глобальний мінімум витрати матеріалу. З огляду на той факт, що ЩЕД і ГЩЕД не є постійними величинами, а залежать від міри міцності, міри пластичності вигляду і характеру напружено-деформованого стану вважається доцільним визначити їх у такий спосіб:

$$e = \int_0^{\varepsilon^*} \sigma_i(\varepsilon_i) d\varepsilon_i, \quad (5)$$

де σ_i – інтенсивність напружень;
 ε_i – інтенсивність деформацій;
 ε^* – поточне значення деформації.

Структуруотворюючу фундаментальну величину ГЩЕД можна визначити приблизно на основі наступних міркувань. Нехай відомі усереднені індикаторні діаграми “ σ - ε ”, побудовані на основі експериментальних даних для одноосьових стискання і розтягання (рис. 6). Вигляд цих діаграм залежить, як відомо, від багатьох факторів.

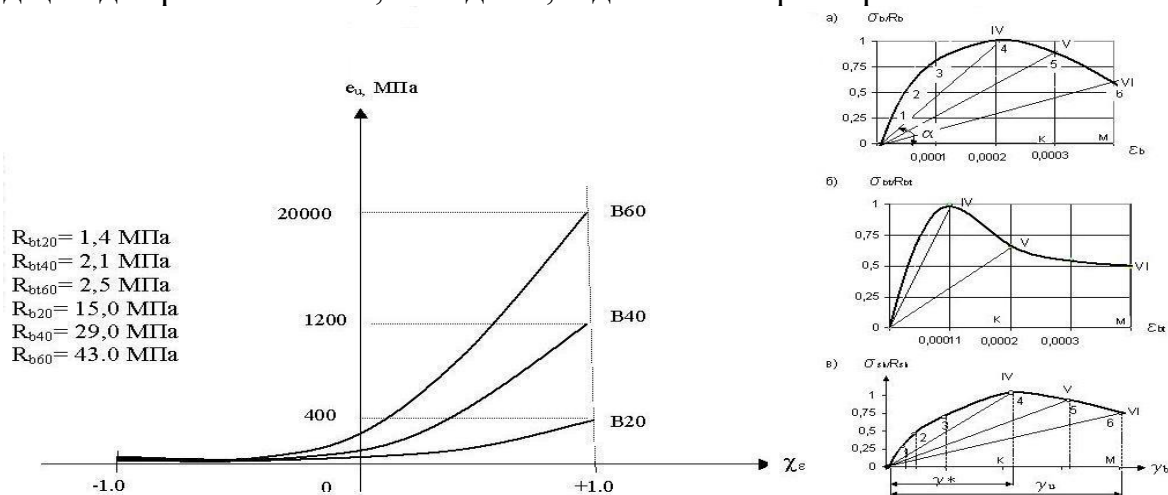


Рис. 6. Індикаторні діаграми для бетону:

- а) одноосьове стискання;
 б) одноосьове розтягання;
 в) чисте зрушення;
 1- 6 - характерні точки

Крім приведених індикаторних діаграм, для подальшого викладу необхідна також діаграма для чистого зрушення. З огляду на обмеженість у літературі репрезентативного експериментального матеріалу, для її побудови пропонується наступний наближений прийом. Вважаються справедливими гіпотези теорії пружно-пластичних деформацій. У зв'язку з чим, ігнорується зміна об'єму, яка відбувається за рахунок пластичної деформації (дилатація). У подібному випадку, діаграма деформування матеріалу ототожнюється з індикаторною діаграмою розтягання. Це дає можливість представити залежність між дотичними напруженнями і деформацією зрушення приблизно у вигляді:

$$\tau_k = G_k \gamma_k, \quad (6)$$

де $G_k \approx 0.415 \cdot \sigma_{ik} \varepsilon_{ik}^{-1}$ - модуль деформацій 2-го роду бетону;

0.415 – емпіричний коефіцієнт [4];

$\sigma_i = 2^{-0.5} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{0.5}$ - інтенсивність напружень;

$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ - головні нормальні напруження;

$\varepsilon_i = 2^{0.5} \cdot 3^{-1} \left[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 \right]^{0.5}$ - інтенсивність деформацій;

$\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ - головні лінійні деформації;

τ – елемент вектора дотичних напружень;

γ – те ж деформацій;

k – номер точки на діаграмі розтягання.

Головні напруження і деформації визначаються з рівнянь:

$$f^3 - I_f(T_f)f^2 - I_2(T_f)f - I_3(T_f) = 0, \quad (7)$$

де $f = \sigma \vee \varepsilon$; $I_1(T_f)$; $I_2(T_f)$; $I_3(T_f)$ – 1-й, 2-й і 3-й інваріанти тензора напружень (деформацій).

Задаючись послідовно деформаціями і відповідними їм напруженнями в точках (на діаграмі розтягання) з інтервалу $0 \leq \varepsilon_k \leq \varepsilon_{btu}$ (ε_{btu} - гранична розтяжність) підраховуємо в них січні модулі деформацій 2-го роду G_k , а потім за (6) деформації зсуву. Розрахунок починається з визначення абсциси в точці максимальної міцності зсуву

$$\gamma_{IV} = 0.415^{-1} \cdot R_{sh} \cdot R_{bt}^{-1} \cdot \varepsilon_{IV}^{-1}, \quad (8)$$

де R_{bt} – міцність на розтягання;

ε_{IV} – деформація, при якій $\varepsilon_{bt} = R_{bt}$;

$R_{sh} = 0,7 \sqrt{R_{bt} R_b}$ або $R_{sh} = 2R_{bt}$ – міцність при чистому зрізі;

R_b – призмenna міцність.

Таким чином, побудова індикаторної діаграми для зсуву зводиться до процедури трансформації індикаторної діаграми розтягання, проведеної відповідно до оператора (6) (рис.6, в).

Як відзначалося вище, у загальному випадку напружено-деформованого стану частинки середовища, ГЩЕД не є постійною величиною, тому що залежить від виду напруженого чи деформованого станів. Вигляд напруженого чи деформованого стану дуже зручно враховувати за допомогою параметрів Надаї-Лоде χ_σ і χ_ε . Тому що метод кінцевих елементів використаний у формі методу переміщень, будемо у подальшому застосовувати параметр Надаї-Лоде у вигляді деформованого стану:

$$\chi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}, \quad \varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3 \quad (9)$$

Використовуючи індикаторні діаграми для одноосьових розтягання і стискання, а також чистого зсуву визначимо частинні ГЩЕД :

- в аналітичному вигляді

$$e_{bcu} = \int_0^{\varepsilon_{bu}} \sigma_b(\varepsilon_b) d\varepsilon_b$$

$$e_{btu} = \int_0^{\varepsilon_{btu}} \sigma_{bt}(\varepsilon_{bt}) d\varepsilon_{bt} \quad (10)$$

$$e_{bshu} = \int_0^{\gamma_{bu}} \tau_b(\gamma_b) d\gamma_b$$

- у дискретному вигляді

$$e_{bcu} = \sum_{k=1}^M \sigma_{bk}(\varepsilon_{bk}) \Delta \varepsilon_{bk};$$

$$e_{btu} = \sum_{k=1}^M \sigma_{btk}(\varepsilon_{btk}) \Delta \varepsilon_{btk}; \quad (11)$$

$$e_{bshu} = \sum_{k=1}^M \tau_{bk}(\gamma_{bk}) \Delta \gamma_{bk},$$

де $e_{bcu}, e_{btu}, e_{bshu}$ - похідні ГЩЕД для одноосьового стискання, одноосьового розтягання і чистого зсуву відповідно;

$\varepsilon_{bcu}, \varepsilon_{btu}, \gamma_{bu}$ - граничні деформативності для стискання, розтягання і зсуву відповідно;

M - кількість точок розбивки ($0 \leq K \leq M$).

У випадку лінійного і пружного деформування

$$e_{bcu} = 0.5 \cdot R_b^2 E_b^{-1}; \quad e_{btu} = 0.5 \cdot R_{bt}^2 E_b^{-1}; \quad e_{bshu} \approx 0.625 \cdot R_{bt} R_b E_b^{-1} \quad (12)$$

Тут слід зазначити, що призначення граничних значень міцності (міра міцності) і деформативності (міра пластичності) представляє складну самостійну задачу. Проте, пропонований підхід ґрунтується на факті існування цих параметрів у національних нормах різних країн.

Як відомо, параметр Надаї-Лоде для ізотропного матеріалу змінюється в діапазоні $-1 \leq \chi_\varepsilon \leq 1$ і дорівнює для одноосьового розтягання $\chi_\varepsilon = -1$,

одноосьового стискання $\chi_\varepsilon=1$, а для чистого зсуву $\chi_\varepsilon = 0$; він не змінюється при накладенні на напружений стан рівноосьового розтягання або стискання.

Узагальнюючи приведену інформацію, можна приблизно представити ГЩЕД у загальному випадку напружено-деформованого стану у вигляді:

$$e_u = \alpha_1 + \alpha_2 \chi_\varepsilon + \alpha_3 \chi_\varepsilon^2, \quad (13)$$

Коефіцієнти $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ визначаються з умов:

$$\begin{aligned} \text{при } \chi_\varepsilon &= -1; & e_u &= e_{btu}; \\ \text{при } \chi_\varepsilon &= 1; & e_u &= e_{bcu}; \\ \text{при } \chi_\varepsilon &= 0; & e_u &= e_{bshu}. \end{aligned} \quad (14)$$

де частинні ГЩЕД визначаються виразами (10) і (11).

В результаті підстановки (13) у (14) одержимо:

$$e_u = 0.5 \chi_\varepsilon [(\chi_\varepsilon - 1)e_{btu} + (\chi_\varepsilon + 1)e_{bcu}] + (1 - \chi_\varepsilon^2)e_{bshu}, \quad (15)$$

Даний вираз являє собою критерій міцності. На рис. 6 показані графіки залежності $e_u = e_u(\chi_\varepsilon)$ для трьох класів бетону. Їхня побудова не представляє яких-небудь принципових труднощів при наявності відповідних індикаторних діаграм.

Як ілюстрацію методу, виконана раціоналізація параметрів балки-стілки, розрахункова схема якої показана на рис. 7. Прийняті фізико-механічні і геометричні характеристики конструктива наступні:

модуль деформацій 1-го роду кладки - $E_k = 1125$ МПа;

коефіцієнт Пуассона - $\mu = 0,2$; щільність - $\rho = 1,8$ т/м³;

розмір кінцевого елемента - 250 x 250 мм;

порядок розв'язувальної системи рівнянь - 207;

навантаження - 120 кН/п.м + власна вага кладки.

Результат рішення демонструється на рис. 7, де показана еволюція товщини конструкції на різних ітераціях. Усього ітерацій було 9, а досягнута точність за (4) склала 3,5%. З рисунку видно, що в процесі адаптивної еволюції спочатку гладка балка-стілка одержує оребріння і стовщення у вигляді стійок.

Запропонований метод пошуку раціональної структури конструктивних систем має чіткий фізичний зміст і добре корелює з загальнофізичними представленнями про опір їх зовнішнім впливам.

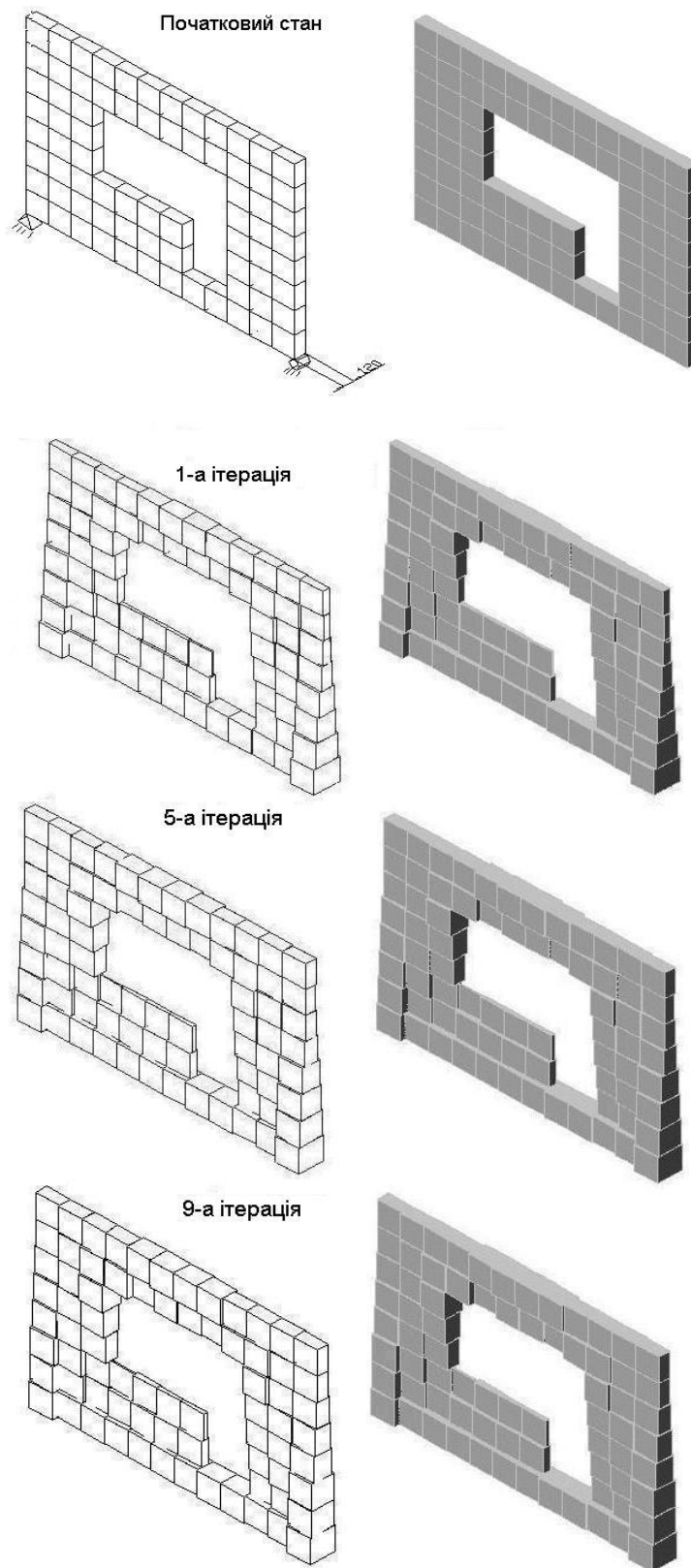


Рис.7. Зміни товщини конструкції стіни з прорізом у процесі її раціоналізації методом адаптивної еволюції

Четвертий розділ містить матеріали експериментальних досліджень натурних фрагментів висячих стін із прорізами, обпертих на залізобетонні рандбалки. Експериментальні дослідження були проведені в випробувальній лабораторії кафедри будівельних конструкцій Харківської національної академії міського господарства з грудня 2001 року по лютий 2002 року. Спеціально для випробування був запроєктований біелемент, що містить стіни різної зв'язуваності. До початку експерименту теоретично вивчалися спільна робота цегельної кладки і залізобетонної рандбалки, вплив особливостей конструювання на напружено-деформований стан зони контакту, специфіка деформування опорної ділянки.

Метою цих випробувань було вивчення характеру розподілу контактних напружень, що виникають у шві між балкою-стілкою і рандбалкою у залежності від зв'язуваності системи. Проводилося виявлення зон концентрації напружень і оцінка ступеня коректності побудованої теоретичної моделі.

Натурні дослідження висячої стіни із силікатної цегли виконувалися на її однопрогоновому фрагменті, що має розміри 2,93 x 2,0 (Н) м і товщину 120 мм (рис.8). Для проведення експерименту був розроблений спеціальний стенд, що складається з об'єкта дослідження, системи навантаження і системи виміру.

З метою виявлення специфіки поведінки системи в залежності від наявності і конфігурації ослаблень, у балці-стілці споконвічно був залишений наскрізний отвір, що моделює сполучений віконно - дверний проріз. Після проведення випробувань нижня частина дверного прорізу закладалася цеглою. Після цього отриманий фрагмент моделював стіну, ослаблену тільки віконним прорізом. Після випробування цього зразка, проріз у стіні закладався цілком. Таким чином, об'єкт дослідження фактично відповідав згаданим трьом практично важливим випадкам. Руйнування досвідченого фрагмента допускалося тільки на третьому етапі випробування, що досягалось за рахунок контролю сумарного навантаження на зразок.

Усі виміри в досвідах виконувалися механічними приладами: індикаторами годинникового типу ИЧ-10, прогиномірами 6ПАО і тензотрами системи ЦНИИСК. Уздовж шва між стійкою і рандбалкою було встановлено 13 тензотрамів системи ЦНИИСК, що фіксували лінійні вертикальні деформації даного шва. Проліт балки був поділений на 12 ділянок, а тензотрами розташовані з кроком 250 мм. Отже, в експерименті виміри проводилися у вузлах сітки з вічком 250x250 мм, що відповідало розміру кінцевих елементів у сформованій теоретичній моделі. Крім того, на балці-стілці були розміщені три розетки з індикаторів ИЧ-10.

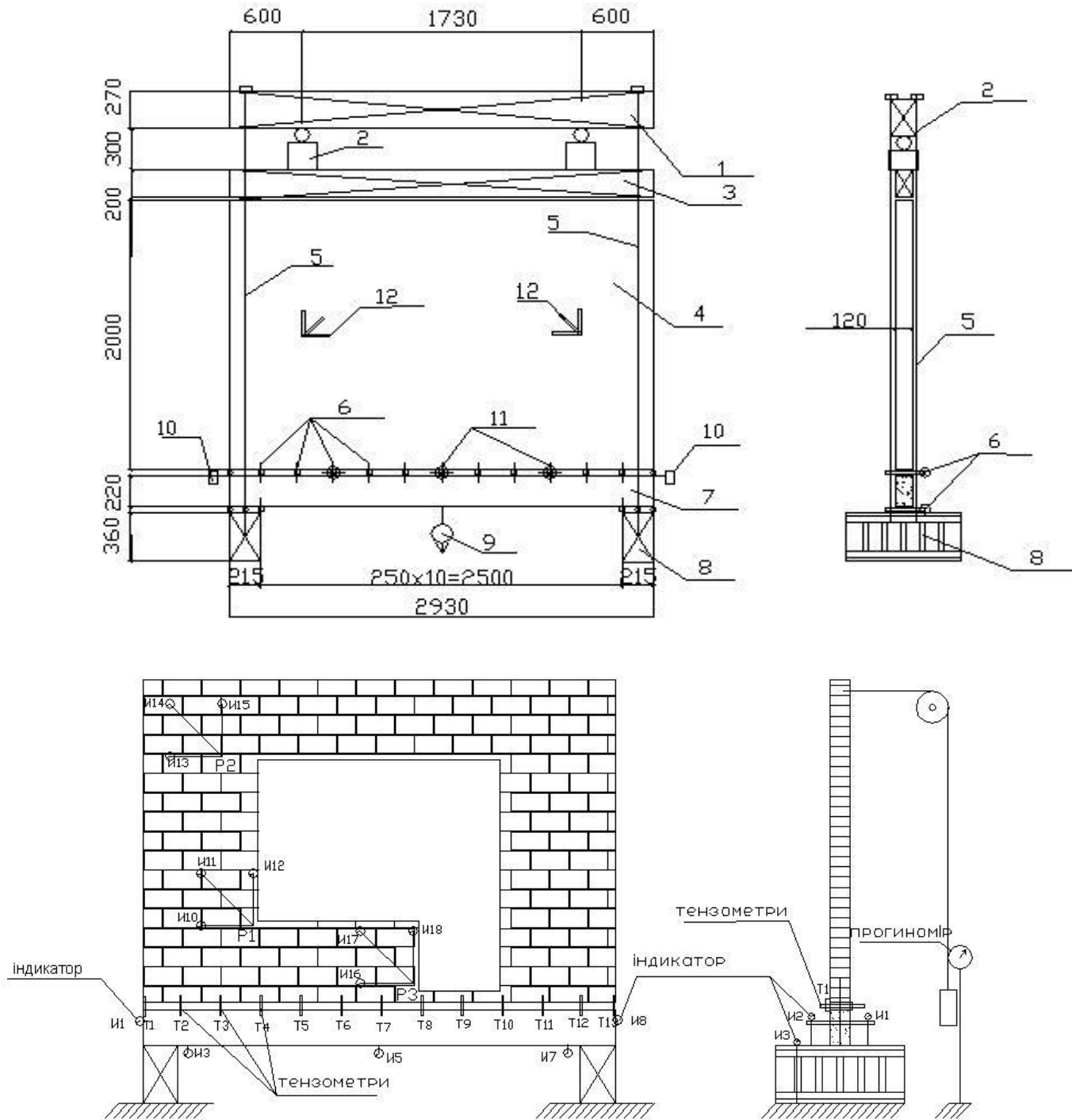


Рис.8. Установка і схема випробування висячої стіни, включаючи розміщення приладів:

1- верхня траверса; 2 - домкрат; 3 - розподільна балка; 4 - цегельна кладка; 5 - штанга; 6 - тензометри у вертикальному напрямку; 7 - залізобетонна рандбалка; 8 - опора; 9 - прогиномір; 10 - індикатор; 11 - тензометри в горизонтальному напрямку; 12 - розетки

Спостереження за випинанням конструкцій із площини велось за допомогою прогиноміра БПАО і по висках, що представляють собою дротяні нитки з вантажами на кінцях.

В усіх проведених експериментах був прийнятий рівномірний розподіл навантаження з прикладанням її до верхньої кромки балки-стінки. Подібний розподіл створився за рахунок спеціально розробленої і виготовленої системи твердих траверс і тяжів, а також двох домкратів. При цьому навантаження прикладалося ступенями по 5 кН на два домкрати, з витримкою на кожній ступені на протязі 5 хв. Початковий модуль деформацій цегельної кладки визначався посередньо, за методикою СНиП П-22-81, шляхом експериментального встановлення міцності цегли і розчину і склав $E_0 = 1125$ МПа. Одночасно, для контролю, отримане значення E_0 визначалося ультразвуковим методом, з використанням приладу УИС-19. Коефіцієнт поперечної деформації кладки приймався усередненим і рівним $\mu=0,25$.

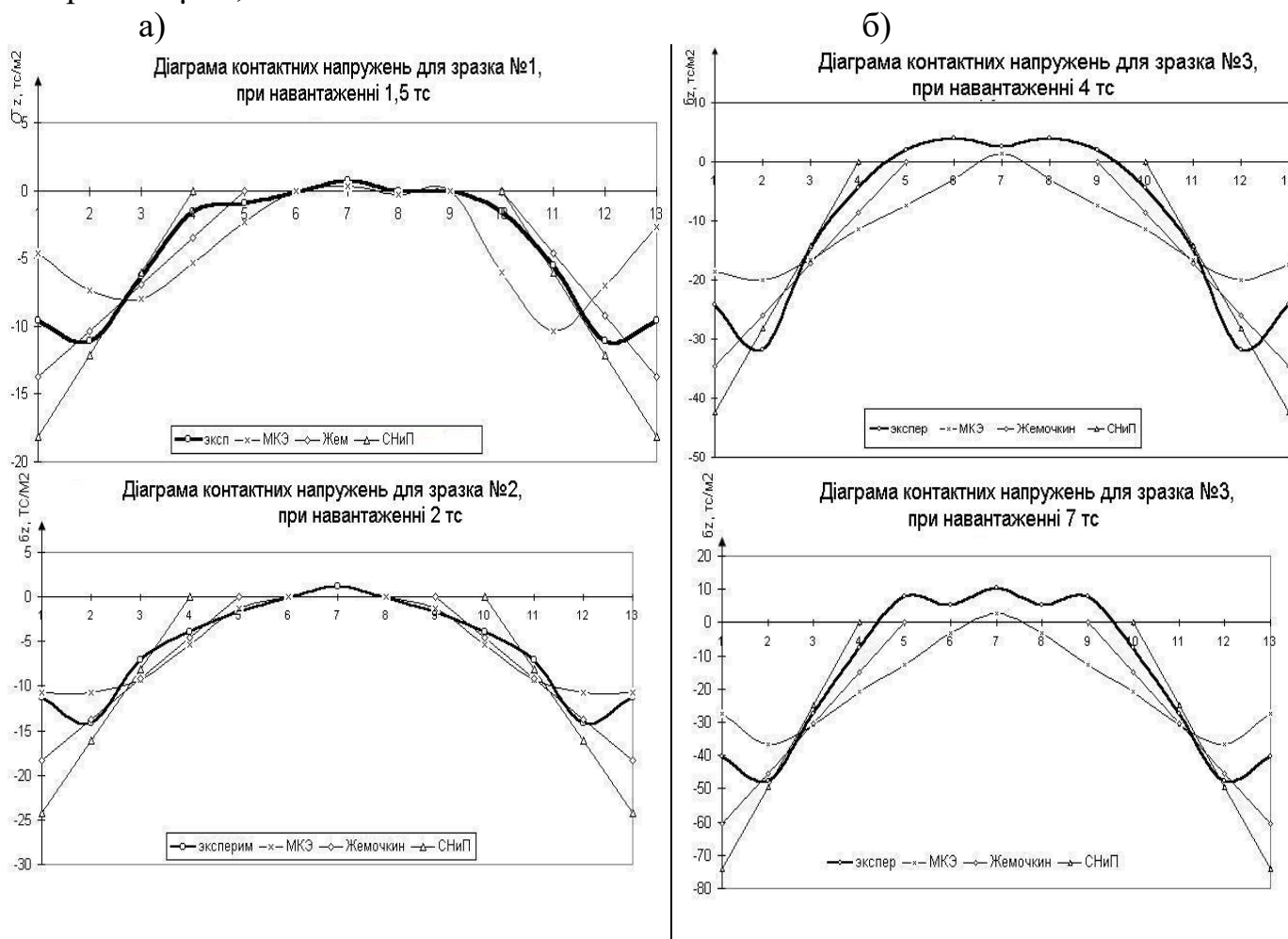


Рис.9. Зміна контактних напружень між рандбалкою і стіною (за даними експерименту):

а - із прорізом;

б - без прорізу

Результати проведених експериментів представлені на рис. 9 у вигляді графіків, на яких приведений розподіл нормальних напружень (σ_z) уздовж шва між балкою-стілкою і рандбалкою при двох рівнях розподіленого навантаження. На цих же рисунках показані теоретичні значення контактних напружень σ_z , обчислені за розробленою методикою, а також за методом Б. Н. Жемочкина і методиці СНиП II-22-81.

Аналіз графіків (рис. 9) показує, що метод Б. Н. Жемочкина і методика СНиП дають якісні і кількісні оцінки для контактних напружень, що істотно відрізняються від експериментальних. Навпроти, побудована кінцевоелементна модель, що враховує нелінійність деформування кладки і бетону рандбалки, а також конструкційну нелінійність, забезпечує прийнятну збіжність теоретичних і експериментальних результатів. Погрішність при визначенні напружень в окремих характерних точках шва не перевищувала 15%.

Важливим моментом, на наш погляд, є та обставина, що при незакріплених вертикальних кромках біелемента при будь-яких (навіть малих) навантаженнях середня частина шва розтягнута. Іншими словами, при гнучких рандбалках має місце “зависання” балки-стілки на опорах (конструкційна нелінійність).

У п'ятому розділі представлено практичний інженерний метод розрахунку системи “вісяча стіна – рандбалка”.

Урахування фізичної нелінійності роботи матеріалу стінки виконано шляхом прийняття основи Вінклера перемінної жорсткості. Дано залежності для визначення розрахункових параметрів моделі.

Перевага розробленого практичного методу полягає в тому, що він дозволяє установити досить прості залежності не тільки для контактних напружень, але і для зусиль у рандбалках без лінійної апроксимації епюри σ , запропонованої Б.Н. Жемочкіним і яка використовується в сучасних нормативних документах. Він також дозволяє приблизно враховувати нелінійність, обумовлену відривом рандбалок від кладки.

У додатку приведено результати впровадження отриманих результатів через проектування і будівництво.

Одним з об'єктів упровадження був житловий будинок у м. Харкові. Розраховано вісячі стіни з полегшеної кладки, що спираються на рандбалки або обв'язувальні балки, а також ділянки стін над прорізами, обперті на перемички. Місця контакту стін і плит перевірялися на місцеве змінання з використанням запропонованого методу визначення контактних напружень. Завдяки оптимізації і керуванню напружено-деформованим станом конструкцій будинку і, зокрема, вісячих стін, досягнуті досить високі техніко-економічні показники, що складають для України 27% економії вартості будинків такого типу (за кошторисом).

Другий напрямок при впровадженні отриманих у роботі результатів зв'язаний з будівництвом житлових будинків у м. Железногорську Курської області. Конструкція висячих стін цих будинків являє собою неоднорідну структуру із силікатної цегли і пінополістиролу, що спирається на рандбалку. Розрахунок такого біагрегата виконувався нами з урахуванням втрати суцільності уздовж лінії контакту опорної плити з цегельною кладкою. При цьому, розбіжність результатів, отриманих по прийнятій моделі і методиці норм, відрізняється на 58%.

Порівняння базових і досягнутих у проекті показників дозволяє впроваджувати результати дійсної роботи як більш перспективні при проектуванні реальних інженерних об'єктів.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено, апробовано і експериментально відтестовано нелінійну кінцевоелементну модель системи “висяча стіна – рандбалка”, що визначила коректну побудову полів компонентів напружено-деформованих факторів, виникаючих в біелементі, що розглядається. Результати, одержані на основі цієї моделі, суттєво відрізняються від розрахованих за методикою Б.Н. Жемочкіна і діючими нормативними документами.

2. Проведено чисельні дослідження впливу різних факторів на напружено-деформований стан конструктивних елементів системи: співвідношення модулів деформації кладки і рандбалки; зміни жорсткості рандбалки; збільшення ширини опор; характеру розподілу контактних нормальних тисків; дотичних напружень у контактному шві; збільшення висоти стін і ін.

3. Вперше показано, що спільність роботи елементів біагрегата може регулюватися за рахунок їхньої конфігурації і раціонального вибору типів і топології розміщення зв'язків між ними.

4. Методом порівняльного аналізу оцінено вплив прорізності на розподіл компонентів напружено-деформованого стану в елементах висячої стіни.

5. Визначено перелік і побудовано ієрархію конструктивних елементів висячих стін, що створюють найбільш сприятливий (у смислі прийнятих критеріїв) розподіл компонентів напружено-деформованого стану в місцях їхнього контакту. Виявлено істотні переваги рандбалок перемінного перерізу з опуклістю верхньої кромки, що обумовлює вирівнювання контактних напружень по поверхні шва.

6. Сполучення методу кінцевих елементів і методу регулювання параметрами системи дозволило побудувати процедури прямого визначення фізико-геометричних характеристик конструкцій. Зокрема, дано рішення ряду задач оптимізації конструкцій біелемента за рахунок керування зовнішніми параметрами системи.

7. Шляхом використання методу адаптивної еволюції вирішена задача раціоналізації висячих стін із прорізами. Запроектована рівномісна стінова панель будинку, що має віконний і дверний прорізи.

8. Розроблено практичний інженерний метод розрахунку системи «висяча стіна – рандбалка» з використанням Вінклерової моделі основи перемінної жорсткості, на основі якої отримано аналітичні залежності для контактних напружень і зусиль у рандбалках.

9. Проведені лабораторні випробування натурних зразків висячих стін із прорізами різної форми та без прорізів, що дозволило виконати експериментальне тестування та оцінку адекватності представленої моделі.

10. Здійснено впровадження результатів досліджень через проектування і будівництво в ряді об'єктів України і Росії. За рахунок прийняття найбільш раціональних конструктивних рішень висячих стін і зниження в них концентрації напружень отримано економічний ефект, приблизно рівний 20-30%.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Шмуклер В. С., Бережная Е. В., Какшар Ф. С. Анализ и управление напряжённым состоянием висячих стен с проёмами // Зб. наук. праць наук.-практ. конф. «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Рівне: Укр. держ. універ. водного господарства та природокористування, 2001. - Вип. 6. - С. 249-254.

Особистий внесок - розроблено і обгрунтовано методику розрахунку систем «висяча стіна - рандбалка», з регулюючими зовнішніми параметрами.

2. Шмуклер В. С., Какшар Ф. С. Управление напряжённым состоянием висячих стен // Науковий вісник будівництва.-Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2001. - Вип. 13. - С. 20-30.

Особистий внесок - проведено аналіз літературних джерел, присвячених експериментальному і теоретичному дослідженню роботи системи «висяча стіна – рандбалка».

3. Какшар Ф. С. Анализ напряжённого состояния при расчёте на местное сжатие // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2001.- Вип. 14.- С. 61-64.

4. Какшар Ф. С. К вопросу расчёта висячих стен в гражданском строительстве // Коммунальное хозяйство городов.- Харьков: ХГАГХ. - Вып. 30. - Изд. "Техніка", 2001. – С. 162-165.

5. Гусаков В. Н., Шмуклер В. С., Какшар Ф. С. Учёт нелинейных особенностей деформирования висячих стен // Зб. наук. праць Всеукраїнської наук.-практ. конф. «Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми». - Київ: ДНДІБК, 2001. - Вип. 54.- С.164-170.

Особистий внесок - побудовано кінцевоелементну модель і, на її базі, проведено аналіз напружено-деформованого стану контактного шва між балкою-стіною і рандбалкою з широким варіюванням параметрів, які впливають на раціональність конструктивного рішення.

6. Шмуклер В. С., Какшар Ф. С. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния висячих стен // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2002. - Вип. 17. - С. 38-48.

Особистий внесок - проведено експериментальні дослідження напружено-деформованого стану висячих стін на натурних зразках, які мають оптимізовані параметри.

7. Городецкий А. С., Шмуклер В. С., Бондарев А. В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Киев – Харьков, 2003.- 888 с.

(параграф №5.5, с. 403-505 з участю Какшара Ф.С.).

Особистий внесок - участь в розробці нелінійних методів розрахунку і проектування систем “висяча стіна - рандбалка”.

8. Шмуклер В. С., Какшар Ф. С. Вассим Исмаил Рационализация параметров неоднородной балки стенки // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2004. - Вип. 29. - С. 202-213.

Особистий внесок - участь у розробці нелінійних методів розрахунку і проектування систем “висяча стіна - рандбалка”, їх експериментальна перевірка і впровадження в практику будівництва.

АНОТАЦІЯ

Фейрушах С. Мохамад «Раціоналізація параметрів висячих стін» - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Українська академія залізничного транспорту, Харків, 2004

У дисертації проведено дослідження взаємодії елементів у системі “висяча стіна – рандбалка”. Здійснено моделювання напружено-деформованого стану системи з використанням кінцево-елементної моделі, формалізованої в середовищі ВК “ЛІРА”.

В дисертації вперше дано аналіз впливу ряду факторів на роботу висячих стін, у тому числі:

- враховано фізичну і конструкційну нелінійності;
- оцінено вплив зміни співвідношення модулів деформацій матеріалів кладки і рандбалки на величини напружень і деформацій у стіні;

- оцінено вплив збільшення висоти висячої стіни на її напружено-деформований стан;
- оцінено вплив зміни кількості і розмірів прорізів у кладці на характер опору;
- оцінено вплив збільшення ширини опор під рандбалкою на концентрацію напружень в опорній зоні;
- використано рандбалки різної конфігурації;
- оцінено вплив зчеплення між стіною і рандбалкою на розподіл контактних напружень.

Аналіз отриманих результатів дозволив здійснити регулювання параметрами системи в нелінійній постановці, а також побудувати процедури прямого визначення фізико-геометричних характеристик конструкцій. З використанням методу адаптивної еволюції була розглянута задача раціоналізації балки – стінки з прорізами.

Перевірка теоретичних досліджень здійснена в лабораторному експерименті шляхом випробування натурних фрагментів цегельних стін із прорізами, обпертих на залізобетонні рандбалки, і завантажених вертикальним навантаженням у площині стіни.

Аналіз отриманих результатів і зіставлення їх з нормативною методикою, розробленою Б.Н. Жемочкіним, дозволили створити практичний метод розрахунку рандбалок із залученням Вінклерової моделі основи перемінної жорсткості, у тому числі з урахуванням зон відриву рандбалок від кладки.

Розроблені методи було впроваджено при робочому проектуванні і будівництві житлових будинків Харкова і Курська.

Ключові слова: висяча стіна, рандбалка, напружено-деформований стан, метод адаптивної еволюції, кінцевий елемент.

АННОТАЦІЯ

Фейрушах С. Мохамад “Раціоналізація параметрів висячих стен” - рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. Украинская академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2004г

В диссертации проведено исследование взаимодействия элементов в системе “висячая стена – рандбалка”. Осуществлено моделирование напряженно-деформированного состояния системы с использованием конечно-элементной модели, формализованной в среде ВК “ЛИРА”.

В диссертации впервые дан анализ влияния ряда факторов на работу висячих стен, в том числе:

- учтены физическая и конструкционная нелинейности;
- оценено влияние изменения соотношения модулей деформаций материалов кладки и рандбалки на величины напряжений и деформаций в стене;
- оценено влияние увеличения высоты висячей стены на ее напряженно-деформированное состояние;
- оценено влияние изменения количества и размеров проемов в кладке на характер сопротивления;
- оценено влияние увеличения ширины опор под рандбалкой на концентрацию напряжений в опорной зоне;
- использованы рандбалки различной конфигурации;
- оценено влияние сцепления между стеной и рандбалкой на распределение контактных напряжений.

Анализ полученных результатов позволил осуществить регулирование параметрами системы в нелинейной постановке, а также построить процедуры прямого определения физико-геометрических характеристик конструкций. С использованием метода адаптивной эволюции была рассмотрена задача рационализации балки – стенки с проемами.

Проверка теоретических исследований осуществлена в лабораторном эксперименте путем испытания натуральных фрагментов стен из силикатного кирпича, опертых на железобетонные рандбалки, и нагруженных вертикальной нагрузкой в плоскости стены нагружение осуществлялось гидравлическими домкратами на специальном стенде. Для моделирования влияния проемов различной конфигурации в первой опытной модели оставлялось окно и дверной проем, во второй модели – только окно, а в третьей модели проемы полностью закладывались кирпичом. Все измерения в опытах производились механическими приборами. Особое внимание было уделено определению вертикальных деформаций шва между рандбалкой и кладкой для установления и выявления зон “зависания” балки-стенки.

Анализ полученных результатов и сопоставление их с нормативной методикой, разработанной Б.Н. Жемочкиным, позволили создать практический метод расчета рандбалок с привлечением Винклеровой модели основания переменной жесткости, в том числе с учетом зон отрыва рандбалок от кладки.

Разработанные методы были внедрены при рабочем проектировании и строительстве жилых зданий Харькова и Курска. Благодаря изменению разработанных методов оптимизации и управления напряженно-деформированным состоянием систем “высячая стена - рандбалка” и “высячая стена – плита перекрытия” достигнута экономия стоимости жилых различного типа.

Ключевые слова: висячая стена, рандбалка, напряженно-деформированное состояние, метод адаптивной эволюции, конечный элемент.

ABSTRACT

Feirushah S. Mohamad. “Rationalization of Trailing Wall Parameters” – manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science (Ph.D. (Engineering)) specializing in 05.23.01 – Engineering constructions, Buildings and Structures. Ukrainian State Academy of Railway Transport. Kharkov, 2004.

This Dissertation is a result of researching interaction of components in “trailing wall – beam” system. It has carried out modeling of the stress-and-strain state of the system using a finite element scheme, formalized in the environment of computer complex LIRA.

The Dissertation for the first time contains analysis of influence of certain factors on trailing walls function.

The analysis of obtained results allowed to carry out regulation of the system parameters in nonlinear way, as well as to build a procedure of direct determination of physical-and-geometrical characteristics of structures. The problem of rationalization of beam-wall with openings is analyzed using the method of adaptive evolution.

The theoretical research results were verified by laboratory experiments through testing full-scaled fragments of sand-lime brick walls supported by reinforced-concrete beams and loaded with vertical load in the wall plane. Loading was provided by hydraulic jacks on a special test bench.

The developed methods were implemented in the course of detailed engineering and building the residential houses in Kharkov and Kursk. Modification of the developed methods of optimizing and managing the stress-and-strain state of the “trailing wall – beam” and “trailing wall – floor slab” systems has resulted in saving the cost of residential houses of different types. .

Key words: trailing wall, beam, stress and strain state, method of adaptive evolution, finite element.

