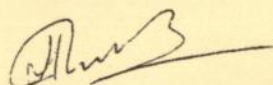


Державний комітет України у справах містобудування та архітектури

Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій  
(НДІБК)

*На правах рукопису*

УДК 624.012.36:6124.046.5



ПОШИВАЧ Володимир Генійович

НАДІЙНІСТЬ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ  
ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Спеціальність - 05.23.01

Будівельні конструкції, будівлі та споруди

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Ав. 38.250

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному науково-дослідному інституті будівельних конструкцій (НДІБК).

- Науковий керівник - кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
М.В. Сидоренко
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор  
М.Й. Коляков  
- кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
В.О. Крітов
- Провідна організація - Науково-дослідний інститут автоматизованих систем в будівництві (НДІАСБ)

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00738008 (Q)

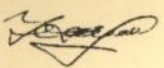
Захист дисертації відбудеться 15 липня 1997 р.  
о 13<sup>30</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д01.14.01 при НДІБК за  
адресою: 252037, Київ-37, вул. І.Клименка, 5/2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотечі інституту.

Відгуки на автореферат просимо надсилати на ім'я вченого секретаря у двох екземплярах, завірені печаткою.

Автореферат розісланий "12" червня 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук



М.Г.Мар'єнков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Контроль несучої спроможності збірних залізобетонних конструкцій заводського виготовлення за комплексними показниками, одержаними в результаті випробувань навантаженням, недостатньо інформативний через обмеженість розміру вибірки. Вказівки ж нормативних документів щодо використання альтернативного контролю несучої спроможності за комплексом неруйнівних випробовувань одиничних показників є недостатньо обґрунтованими і часто-густо суперечать результатам контролю навантаженням.

Це зумовлює актуальність удосконалення методів контролю несучої спроможності згаданих конструкцій.

**Метою роботи** є підвищення ефективності виробництва збірних залізобетонних конструкцій завдяки використанню науково обґрунтованих контрольних нормативів для приймання готових виробів та регулювання виробництва за показниками несучої спроможності із забезпеченням проектної надійності.

**Основними завданнями** дослідження є:

- розробка та реалізація на ПЕОМ алгоритмів для вирішення завдань надійності будівельних конструкцій;
- обґрунтування характеристик законів проектних розподілів одиничних показників, що впливають на несучу спроможність, для чисельних досліджень проектної надійності конструкцій (на прикладі елементів, що згинаються, - ребристих плит покриттів);
- аналіз особливостей неруйнівних методів визначення фактичних характеристик розподілів одиничних показників;
- розробка методики контролю надійності (за міцністю, жорсткістю та тріщиностійкістю) конструкцій за комплексом одиничних показників (на прикладі ребристих плит покриттів).

Дисертаційну роботу виконано в лабораторії виробничого статис-

тичного контролю НДІБК згідно із завданням 01.01 цільової комплексної програми 0.55.01.042 "Розробити методичні рекомендації з неруйнівного контролю якості залізобетонних виробів масового призначення", тема Н-60 "Розробити рекомендації з контролю міцності, жорсткості та тріщиностійкості попередньо напружених плит покрівель промислових будівель".

**На захист вносяться:**

1) алгоритм визначення надійності залізобетонних конструкцій, який реалізовано у вигляді комплексу обчислювальних програм на ґрунті методу Монте-Карло;

2) результати чисельних досліджень проектної надійності згинальних залізобетонних конструкцій;

3) результати експериментальних досліджень великорозмірних залізобетонних ребристих плит;

4) методичні рекомендації з регулювання виробництва та приймального контролю таких плит.

**Наукову новизну роботи складають:**

- методика і алгоритм визначення показників надійності залізобетонних конструкцій з використанням методу Монте-Карло;

- виявлені закономірності залежності показників проектної надійності залізобетонних конструкцій (одного призначення, одного уніфікованого ряду, спроектованих з дотриманням всіх вимог норм проектування) на прикладі ребристих плит;

- методика встановлення контрольних нормативів, що забезпечують умови приймання конструкцій з проектною надійністю.

**Практичне значення роботи визначається перш за все результатами:**

міжгалузевим - створена статистична модель забезпечує реальну можливість широкого використання метода Монте-Карло в різних практичних застосуваннях;

для об'єкта дослідження - методика призначення ефективних приймальних умов для виробів заводського виробництва (на прикладі

ребристих плит покриття) та рекомендації з регулювання технологічного процесу їх виготовлення.

**Достовірність результатів досліджень** забезпечується:

- коректною постановкою завдання, вирішеного відомим математичним методом;

- проведенням численних (десять натурних плит и велика кількість зразків матеріалів, використаних під час виготовлення плит в заводських умовах) експериментальних досліджень паралельно неруйнівними та руйнівними методами;

- порівнянням результатів чисельного моделювання генеральних вибірок несучих властивостей ребристих плит за комплексом неруйнівних випробовувань з результатами натурального експеримента стосовно статистичних характеристик одержаних вибірок;

- адекватністю результатів приймання партії плит за запропонованою методикою та випробовуванням конструкцій до руйнування.

**Впровадження результатів.** Розроблена методика з неруйнівного контролю ребристих плит покриттів. Цю методику в 1989 р. було випробувано на Севастопольському домобудівному комбінаті "Кримбуд". За річного обсягу виробництва 25 тис. м<sup>3</sup> економічний ефект становив 13 тис. крб (в цінах 1989 р.).

Розроблені обчислювальні програми використовувались в роботі за темою Т-312-0877 "Прогнозування довговічності укриття над зруйнованим четвертим енергоблоком Чорнобильської АЕС".

**Апробування роботи.** На основі одержаних пошукувачем результатів розроблені "Основные принципы определения параметров распределения несущих свойств железобетонных конструкций", які за поданням делегата СРСР були схвалені Радою уповноважених Координаційного центру РЕВ з проблеми "Неруйнівні методи випробовувань в будівництві" на X засіданні (Веймар, 1986). Надруковані в збірці методичних рекомендацій (Бухарест - Київ, 1988).

Основні положення дисертаційної роботи були також подані на:

- науково-практичній конференції "Пути повышения качества.

надежности и долговечности конструкций инженерного назначения" (Хабаровськ, 1988);

- науково-технічній конференції "Моделирование и оптимизация технологических процессов и элементов конструкций сооружений инженерного назначения" (Хабаровськ, 1989);

- XXII Міжнародній конференції молодих вчених і фахівців в галузі бетону і залізобетону (Іркутськ, 1990);

- П'ятій міжнародній науково-технічній конференції "Чернобыль-96. Итоги 10 лет работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС" (Зелений Мис, 1996).

**Публікації.** Основний зміст дисертації оприлюднено у семи друкованих працях (перелік в кінці тексту).

**Обсяг роботи.** Дисертацію складають вступ, п'ять глав, висновки, перелік літератури та додаток. Загальний обсяг 151 с., з яких 110 с. основного тексту, 24 таблиці, 32 рисунка і 120 назв літератури (14 с.).

Дисертацію викладено російською мовою.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведені обґрунтування теми, загальна характеристика роботи та її основні положення, які автор виносить на захист.

Першу главу присвячено аналізу досліджень надійності будівельних конструкцій з метою контролю їх якості та відомих пропозицій щодо удосконалення цього контролю.

Відзначено, що чинна система контролю несучих властивостей залізобетонних конструкцій встановлена ГОСТ 13015.1-81 (з 1996 р. його замінив український стандарт ДСТУ Б В.2.6-2-95) і передбачає використання двох юридично рівноцінних, але зовсім різних способів: за результатами випробувань зразків конструкцій навантаженням до руйнування або з використанням неруйнівного контролю комплексу одиничних показників.

Виконані Г.І.Вайнгартеном, Р.Гаралєвічусом і Т.Лапенісом, К.Е.Талем і І.Г.Корсунцевим, Г.А.Шапіро і Б.В.Сендеровим порівняльні випробування конструкцій навантаженням і неруйнівними методами свідчать про наявність випадків, коли ці випробовування призводять до різних висновків щодо придатності конструкцій. Тож було зроблено висновок про необхідність вдосконалення системи контролю якості на ґрунті спеціальних досліджень.

Використання співставлення результатів альтернативного контролю для уточнення вимог до одиничних показників якості здається надто витратним і мало перспективним. Більш прийнятні пропозиції А.В.Гермерлінга, А.А.Гвоздева, М.Б.Краковського, І.М.Бруссера, В.Л.Ігошева і В.А.Дорфа, А.П.Кудзиса, А.С.Личова, В.А.Нікіфорова, М.В.Сидоренка щодо призначення вимог до одиничних показників якості згідно з вимогами до надійності конструкцій.

В загальному випадку припустима ймовірність руйнування конструкції:

$$V = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} p_R(x) P_Q(x) dx, \quad (1)$$

де  $p_R(x)$  - диференціальна функція розподілення міцності конструкції;  $P_Q(x)$  - інтегральна функція розподілення навантаження.

Однак використання такого підходу в завданнях контролю якості утруднене через невизначеність зовнішніх впливів.

Відомі дві групи пропозицій з визначення критерію, що обмежує зону безпечної роботи конструкції. В роботах М.Б.Краковського за такий критерій запропоновано прийняти забезпеченість міцності центрально розтягнутого залізобетонного елемента, що дорівнює 0.9986. В роботах Л.С.Авірома, А.С.Личова, В.В.Судакова, В.Є.Гринберга, А.П.Кудзиса, М.В.Сидоренка, Б.Б.Ужполявичуса за критерій запропонована величина  $\chi_{\text{ном}}$  (наприклад, розрахункова міцність конструкції), що прямо не залежить від зовнішніх дій. Умовна припустима ймовірність руйнування в

цьому разі має вигляд:

$$V = 1 - \int_{x_{ном}}^{\infty} p_R(x) dx = \int_{-\infty}^{x_{ном}} p_R(x) dx, \quad (2)$$

де  $p_R(x)$  - диференціальна функція розподілення несучої властивості  $R=f(x_1, \dots, x_n)$  конструкції.

Щільність ймовірності  $p_R(x)$  як системи  $n$  випадкових величин з диференціальними функціями  $p(x_1), \dots, p(x_n)$  має вигляд

$$p_R(x) = p_R(x_1, \dots, x_n) \frac{dx_1, \dots, dx_n}{d^n x}. \quad (3)$$

Ймовірність перевищення граничного значення  $P(X > x_{ном})$ , де

$$x_{ном} = R(x_{1,ном}, \dots, x_{n,ном}), \quad (4)$$

визначається виразом:

$$P_R(x) = \int_{x_{1,ном}}^{\infty} \dots \int_{x_{n,ном}}^{\infty} p_R(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n. \quad (5)$$

Таким чином, завдання визначення надійності в постановці (2) зводиться до знаходження  $n$ -мірного вектору по простору частинних змінних  $x_1, \dots, x_n$ .

Видається, що остання пропозиція краще враховує досвід проектування.

Другу главу дисертації присвячено розробці розрахункового апарату для оцінки надійності будівельних конструкцій.

Шматочно-лінійний та алгоритмічний характер більшості функцій  $R$  за СНиП 2.03.01-84 дозволяє вирішити завдання (5) методом статистичних випробувань (Монте-Карло). Послідовність вирішення:

1. Встановлення вихідних даних - моделююча функція  $R$ , кількість статистичних випробувань  $N$ , кількість прогонів моделі, інформація про вид закону розподілення і його статистичні характеристики для

кожного з параметрів, граничні значення функції  $R_{\text{ном}}$ . До речі, в разі потреби визначити надійність відносно навантажувального ефекту від зовнішнього впливу функція може бути заданою також у вигляді розподілення.

2. Виконання  $N$  детермінованих розрахунків  $R$ , в кожному з яких використовують одне випадкове значення кожного з аргументів. Їх комбінація дає випадкове значення функції  $R_r$ . Кожне одержане значення функції порівнюють з граничним  $R_{\text{ном}}$  і фіксують число позитивних випадків.

3. Впорядкування результатів обчислень у вигляді гістограм використаних значень  $x_i$  і одержаних значень  $R_r$ . Гістограми охоплюють зону розсіювання  $\pm 3,25\sigma$  (де  $\sigma$  - стандарт розподілення) з кроком  $0,125\sigma$ .

4. Для підвищення достовірності результатів використовується метод усереднення точкових оцінок. Виконуються  $K$  прогонів моделі, кожний по  $N$  випробовувань за пп. 2-3.

5. Усереднення гістограм аргументів і функцій та оцінка відповідності: гістограм - заданим функціям щільності ймовірностей, а функції - нормальному закону за критерієм  $\chi^2$  (К.Пірсона). Якщо для одержаних вибірок аргументів критерій  $\chi^2$  не задовольняється, то потрібно збільшити число прогонів  $K$ .

Розрахунок виконують на ПЕОМ. Результат видається у вигляді чисельних значень таких статистичних характеристик розподілів аргументів і функцій:

- початкові і центральні моменти до четвертого порядку включно;
- стандартне відхилення і коефіцієнт варіації;
- ймовірності появи позитивних випадків  $P(R_{\text{ном}}) = L/N$  для моделюючої функції, тобто рішення основного завдання.

В разі потреби на друк виводять гістограми аргументів (з апроксимацією заданими теоретичними розподілами) і функції.

Виконані порівняльні розрахунки показників надійності нормального перерізу згинального залізобетонного елемента відносно  $X_{\text{ном}}$  методами Монте-Карло і ймовіротної лінеаризації. Виявлено, що у всьому діапазоні змін коефіцієнта варіації міцності бетону розходження результатів складає від 4 до 12%, що визнано суттєвим. Використання для методу Монте-Карло всього алгоритму розрахунку за СНиП (замість диференційованої функції) підвищує цю розбіжність до 18% навіть для непереармованого перерізу. Тому перевагу віддано методу Монте-Карло.

В третій главі досліджено початкову надійність згинальних елементів.

Розглянуті нормальні перерізи прямокутної форми із відношенням сторін 4:1 та 1:4 і таврової форми з полочкою в розтягнутій або стисненій зоні. Арматуру задавали коефіцієнтом армування  $\mu = 100A_s / bh_0$ . За випадкові параметри брали міцність бетону, опір сталі та робочу висоту перерізу. Припустили рівність коефіцієнтів варіації кубикової і призмової міцності бетону.

В результаті ймовірного розрахунку одержували розрахунковий відносний момент  $\tilde{M} = M / bh_0^2$ , ймовірність  $P(\tilde{M}_i > \tilde{M})$  та надійний інтервал ймовірності  $P$ .

Одержані такі результати:

- початкова (відносно розрахункового відносного момента) надійність не залежить від форми та пропорцій перерізу;

- в разі високої однорідності міцностей матеріалів надійність нормального перерізу елемента під час згину перевищує 0,999, а в разі низької - цей показник зменшується до 0,99.

Остання оцінка відповідає лише дуже великому (що рідко буває) коефіцієнту варіації міцності сталі -  $V_s = 10\%$ .

Фізичний зміст одержаних результатів означає, що в зоні переармування опір згину залежить лише від міцності бетону, тобто в разі достатньо великого відсотка армування забезпеченість розрахункового опору конструкції згину наближується до забезпеченості розрахункової міцності бетону.

На рис.1 подано залежність ймовірності  $P(\tilde{M}_i > \tilde{M})$  від відсотка армування при детермінованій  $h_0$ .

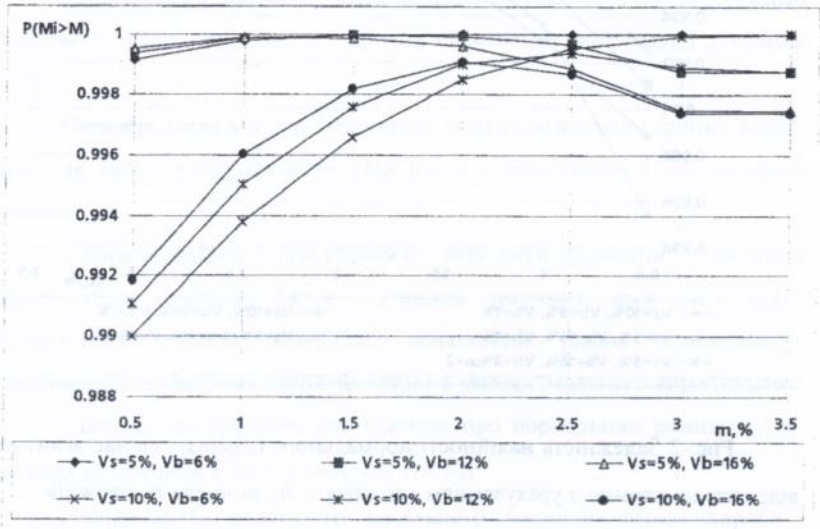


Рис. 1 Залежність надійності нормального перерізу під час згину від відсотка армування

Урахування мінливості робочої висоти перерізу (згідно з допусками на висоту перерізу і товщину захисного шару бетону) зменшує забезпеченість розрахункового опору елемента згину для яких завгодно сполучень однорідності бетону і арматури. Зниження буде тим більшим, чим більше коефіцієнт  $V_b$ . Це пояснюється тим, що розрахункове значення  $h_0$  відповідає номінальному і має низьку забезпеченість - 0.5. Збільшення кількості арматурних стержнів в перерізі підвищує показник надійності (рис. 2).

В цілому для непереармованих елементів і реальних коефіцієнтів варіації міцності арматури (4-6%) проектна надійність нормального перерізу при згині досить висока - перевищує 0.999.

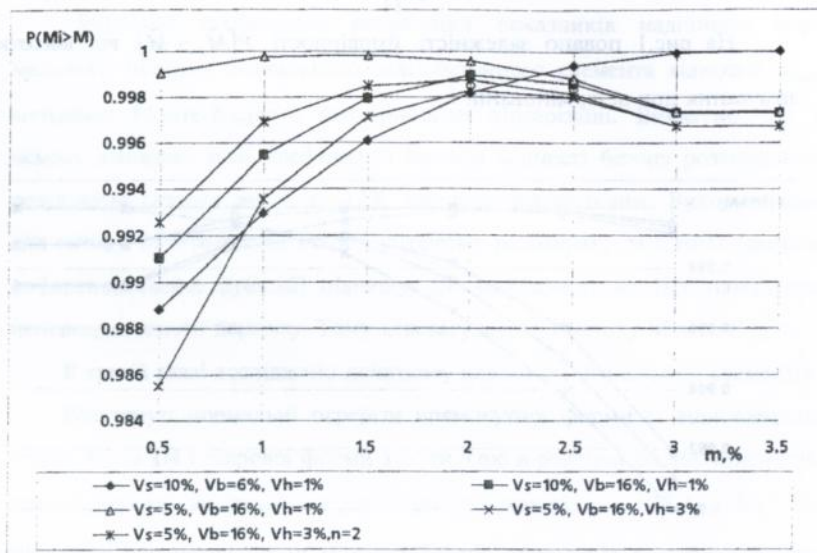


Рис. 2 Залежність надійності нормального перерізу під час згину від відсотка армування з урахуванням мінливості  $h_0$  та числа  $n$  стержнів

Проаналізовано також надійність згібального елемента в похилих перерізах - за мінімальної мінливості міцностей бетону і поперечної арматури вона перевищує 0,99999. Підвищення мінливості міцності бетону та урахування мінливості робочої висоти перерізу дещо її зменшує, але все одно надійність похилих перерізів не менша ніж для нормальних.

Розрахунок надійності за моментом утворення нормальних тріщин дає значення  $P(M_j)=0.62$  для малих відсотків армування, що добре узгоджується з аналогічним показником 0,605, одержаним Е.М.Бабичем і Л.А.Ковальчуком за співставленням обчислених і дослідних моментів у великій партії ребристих плит.

Окрім окремих показників "надійність перерізу" (нормального, похилого, для уздовжніх і поперечних ребер тощо) вивчали також інтегральний показник "надійність конструкції" за п'ятьма видами відмови: через утрату міцності полицкою (як обперта по контуру

плита), поперечним чи уздовжнім ребром за нормальним або похилим перерізом. Найбільш ймовірним видалася відмова уздовжніх ребер за нормальним перерізом, що призводить до руйнування плити в цілому.

Інтегральний показник надійності конструкції нижчий за показник надійності якого завгодно із окремих елементів конструкції і дорівнює 0,995.

Четверта глава містить результати експериментальної оцінки надійності та якості плит покриття. Для цього у виробничих і лабораторних умовах:

- зібрали відомості про справжні статистики одиничних показників якості плит (міцність бетону, границя текучості арматурної сталі, геометричні розміри перерізів, початковий рівень попереднього напруження арматурних стержнів тощо) в умовах реального виробництва;
- перевірили прийнятність гіпотези про нормальний розподіл одиничних показників в малих вибірках ( $n < 30$ );
- співставили результати чисельного (методом Монте-Карло) і натурального експериментів стосовно статистичних характеристик одержаних вибірок одиничних показників та конструкцій;
- виконали порівняльне приймання плит за результатами випробувань навантаженням і неруйнівними методами;
- перевірили ефективність запропонованої методики контролю несучої спроможності плит.

Досліди проведені на десяти натурних плитах марки ПГ-4АШВТ за ГОСТ 22701.1-77, виготовлених Броварським заводобудівним комбінатом. Плити відбирали по дві в денну зміну на протязі п'яти послідовних робочих днів. Одночасно з плитами виготовили бетонні зразки - куби: 30 з довжиною ребра 10 см для визначення передаточної міцності бетону та 60 з ребром довжиною 15 см для встановлення градуїровочних залежностей використаних неруйнівних методів. Для кожної плити відбирали також по два зразка арматури уздовжніх ребер. Під час виготовлення кожної плити вимірювали рівень попереднього напруження

робочої арматури ребер, а також висоту перерізу і товщину захисного шару бетону. Зразки арматури відбирали від кожної партії заготовок арматурних стержнів. Всі плити зважували. Характеристики одержаних вибірок наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Назва вибірки	Розмір вибірки, шт.	Середнє значення	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації, %
Кубикова міцність бетону	30	31,61 МПа	3,49 МПа	11,0
Границя текучості арматури	20	590,3 МПа	3,43 МПа	0,6
Рівень попереднього напруження арматури	20	417,8 МПа	73,06 МПа	17,5
Висота ребра	20	30,1 см	0,48 см	1,6
Товщина захисного шару бетону	20	3,12 см	0,36 см	11,7
Робоча висота перерізу	20	26,97 см	0,68 см	2,5
Вага плити	10	28,2 кН	2,1 кН	7,4
Вигин	20	24 мм	4,32 мм	18,0

У дослідженнях "ВНИИжелезобетон", "НИИЖБ", НДІБК та інш. організацій була встановлена систематична стала різноміцність бетону за висотою перерізу різного виду виробів включно плит покриттів виробничих будівель.

В наших дослідженнях міцність бетону на різних ділянках плит визначали стандартизованими методами пружного відскоку, пластичної деформації, ультразвукового прозвучування, сколу ребра, а після випробовування навантаженням з плит відбирали керни діаметром 55 мм. Встановлено, що міцність бетону у верхній, середній і нижній зонах ребра відноситься як 0,83:1:1,17 (рис. 3), а середнє значення відповідає одержаному під час випробовування окремо виготовлених кубів.

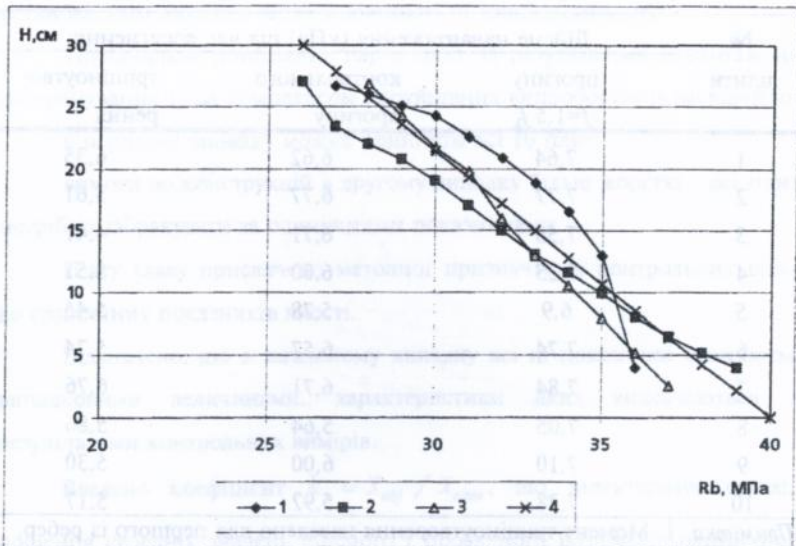


Рис. 3 Зміна міцності бетону  $R_b$  за висотою  $H$  уздовжнього ребра плити, одержане методами: 1 - пружного відскоку; 2 - пластичної деформації; 3- ультразвукового поверхневого прозвучування; 4 - сколу ребра.

Запропоновано урахувати це явище під час проектування плит через зниження мінімального класу бетону на одну ступінь (5 МПа) порівняно з табл. 8 СНиП 2.03.01-84\* та підвищення на 0,05 припустимого рівня попереднього напруження бетону порівняно з табл. 7 цих норм.

Випробування плит навантаженням виконували за стандартизованою методикою: після навантаження давали витримку; вимірювали прогини, втягування кінців напруженої арматури; фіксували появу тріщин та їх розкриття. Всі плити зруйнувалися внаслідок досягнення границі текучості арматурою уздовжніх ребер, яке визначали згідно з ГОСТ 8829-85 при  $f = 1,5 \cdot f_k$ , де  $f_k$  - прогин від контрольного навантаження по перевірці жорсткості. Результати наведені в табл. 2 та ілюстровані рис. 4.

№ плити	Дійсне навантаження (кПа) під час досягнення:		
	прогину $f=1,5 f_k$	контрольного прогину	тріщиноутво- рення
1	7,64	6,62	6,35
2	7,77	6,77	5,61
3	7,55	6,71	4,41
4	7,25	6,00	5,51
5	6,9	5,78	5,45
6	7,74	6,57	5,74
7	7,84	6,71	6,76
8	7,05	5,64	5,86
9	7,10	6,00	5,30
10	7,28	5,92	5,17

Примітка 1. Момент тріщиноутворення наведено для першого із ребер.

2. Контрольне навантаження (кПа, без власної ваги плити)  
для перевірки: міцності ( $C=1,35$ ) - 7,45; жорсткості - 4,22;  
тріщиностійкості - 3,5

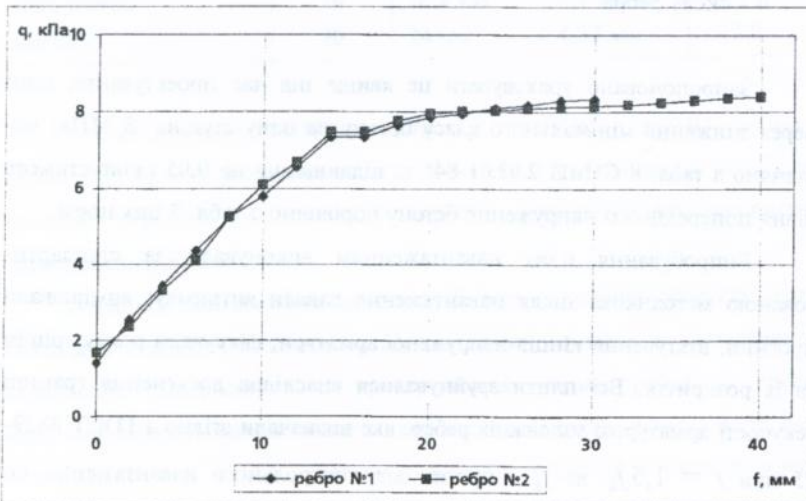


Рис. 4 Залежність "навантаження-прогин" для плити №1.

За результатами цих випробовувань всі плити відповідали встановленим вимогам щодо жорсткості та тріщиностійкості.

Порівняльне приймання партії плит за результатами навантаження до руйнування та за комплексом неруйнівних випробовувань засвідчило:

в першому випадку можна прийняти всі 10 плит;

вимоги до конструкцій в другому випадку більш жорсткі - всі плити потрібно забракувати за одиничними показниками.

П'яту главу присвячено методиці призначення контрольних вимог до одиничних показників якості.

Відзначено, що в загальному випадку всі ці показники вважаються випадковими величинами, характеристики яких визначаються за результатами контрольних вимірів.

Введено коефіцієнт  $k_x = \bar{x}_{obj} / \bar{x}_{nom}$ , що характеризує співвідношення середніх значень дійсного і проектного розподілів одиничного показника  $x$ . Для міцності сталі він звичайно знаходиться в межах  $1,0 \leq k_s \leq 1,1$ , для робочої висоти перерізу -  $0,98 \leq k_n \leq 1,02$ . Найбільш широкі зміни цього коефіцієнту для міцності бетону ( $k_b$ ).

За підпрограмою PPOV розраховані різні сполучення коефіцієнтів  $k_x$  та відповідних ним коефіцієнтів варіації  $V_x$  за умови збереження проектної надійності нормальних перерізів згибних елементів (рис.5).

Розроблення плану контролю за показником надійності вимагає визначення потрібних параметрів розподілення одного із факторів впливу за відомими параметрами розподілень інших факторів і проектної надійності. Для вирішення цього завдання на основі підпрограми PPOV та методу ітерацій розроблено програму OREN.

Послідовність операцій така:

1. Детермінованим розрахунком визначають граничне значення опору конструкції  $R_0$  за розрахунковими характеристиками матеріалів та номінальними геометричними розмірами.
2. Задають проектні параметри розподілень факторів впливу.

прийнятих за випадкові величини.

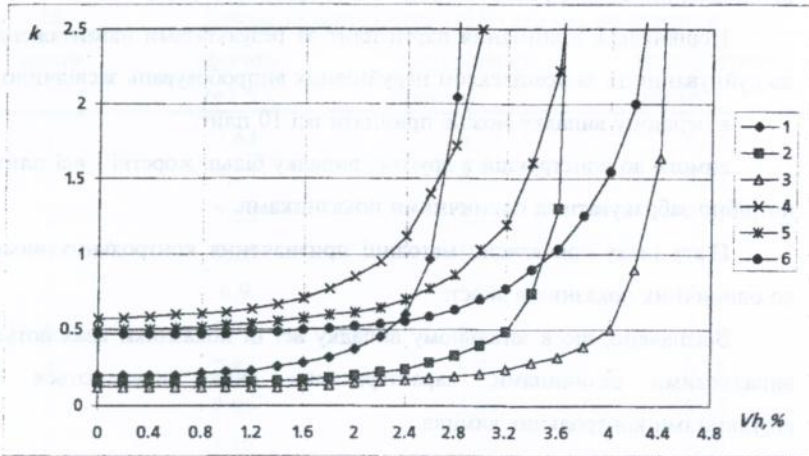


Рис. 5 Залежність  $k_b$  від  $V_h$  для різних  $k_s$  в разі  $k_h=1,02$ .

Для  $\mu a=0,05$ : 1 -  $k_s=1,0$ , 2 -  $k_s=1,05$ , 3 -  $k_s=1,1$ ;

Для  $\mu a=0,2$ : 4 -  $k_s=1,0$ , 5 -  $k_s=1,05$ , 6 -  $k_s=1,1$ ;

3. Виконують  $N$  детермінованих розрахунків, для кожного з яких використовують одне випадкове значення кожного із аргументів, комбінація яких дає одиничне значення функції  $R$ . Кожне таке значення  $R_i$  порівнюють з граничним  $R_0$  і фіксують число  $L(R_i > R_0)$ .

Відношення  $L/N$  дає оцінку ймовірності  $P_R(x)$ .

4. Для підвищення певності результатів використовують метод усереднення точечних оцінок. Призначають  $K$  прогонів моделі по  $N$  випробовувань кожний в обсязі пп. 2-3 і на кожному фіксують значення  $P_k(x)$ . Проектну надійність  $P_{nom}(x)$  визначають усередненням  $P_k(x)$ .

5. Задають фактичні параметри розподілення факторів впливу, прийнятих випадковими (включаючи той, що є невідомим) і припустиме відхилення  $\Delta P$  для визначення потрібної надійності.

6. Повторюють обчислення в обсязі пп 3-4 і визначають дійсну

надійність  $P_{fact}(x)$ . Перевіряють умову

$$|P_{nom}(x) - P_{fact}(x)| < \Delta P \quad (6)$$

В разі невиконання умови змінюють невідомий параметр і повторюють обчислення за пп. 5-6. В разі виконання умови (6) обчислення закінчують. В результаті одержують потрібне значення невідомого параметра одного із розподілень факторів впливу.

Для практичної реалізації викладеного підходу за допомогою програми ОПЕН були нараховані таблиці потрібної міцності бетону  $k_b$ , пов'язаної з іншими одиничними показниками, що визначають якість ребристих плит як відповідність проектній надійності. Приклад в разі армування сталлю А-IIIв наведено в табл. 3 (прочерк означає, що проектна надійність не досягається при  $k_b \geq 1,8$ ).

В разі використання цієї методики для розглянутої вище партії плит зроблено висновок про можливість прийняття всіх плит - як і за результатами випробувань навантаженням.

**На закінчення сформульовані результати виконаної роботи.**

Спочатку розроблено суттєво вдосконалений комплекс програм, що реалізують на ПК статистичне моделювання функції комплексу випадкових аргументів на основі метода Монте-Карло. Таку статистичну модель використано за засіб аналітичних досліджень безпосереднього об'єкта цієї роботи.

Основні ж результати стосуються залізобетонних конструкцій.

По-перше, теоретично визначені та співставлені рівні надійності згибних залізобетонних конструкцій одного уніфікованого ряду, запроєктованих у відповідності до вказівок чинних норм. Встановлено, що ці рівні:

- не залежать від форми поперечного перерізу (прямокутного, таврового с полочкою в стисненій чи розтягнутій зоні, двотаврового);
- суттєво залежать від виду напруженого стану (міцність нормального та похилого перерізу) коефіцієнта армування (для не

переармованих перерізів), мінливості факторів впливу;

- різні для окремих елементів конструкції. Наприклад, для досліджених ребристих плит найвищий рівень надійності у полички, нижчий у поперечних ребер, найнижчий - у уздовжніх ребер.

Таблиця 3

Клас бетона	Армування, кл. АІІВ	Значення $k_b$ для зазначених діапазонів $k_s$ та $V_h$ (у відсотках).					
		$0,98 \leq k_s < 1,0$		$1,0 \leq k_s < 1,02$		$k_s \geq 1,02$	
$k_s \leq 1,0$							
		$V_h \leq 1$	$1 < V_h \leq 3$	$V_h \leq 1$	$1 < V_h \leq 2,25$	$V_h \leq 2$	$2 < V_h \leq 3,25$
В 20	2 Ø 16	-	-	1,0	1,24	0,7	1,42
	2 Ø 18	-	-	1,0	1,24	0,7	1,32
В 25	2 Ø 20	-	-	1,0	1,1	0,7	1,15
	2 Ø 22	-	-	1,0	1,1	0,7	0,91
В 30	4 Ø 18	0,7	0,7	1,0	0,7	0,7	0,7
	4 Ø 20	0,7	0,7	1,0	0,7	0,7	0,7
$1,0 < k_s \leq 1,05$							
		$V_h \leq 2,5$	$2,5 < V_h \leq 3,75$	$V_h \leq 3,5$	$3,5 < V_h \leq 4,25$	$V_h \leq 3$	$3 < V_h \leq 5$
В 20	2 Ø 16	0,7	1,07	0,7	1,0	0,7	1,47
	2 Ø 18	0,7	1,07	0,7	0,87	0,7	1,24
В 25	2 Ø 20	0,7	0,86	0,7	0,87	0,7	1,24
	2 Ø 22	0,7	0,86	0,7	0,79	0,7	1,13
В 30	4 Ø 18	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	4 Ø 20	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$1,05 < k_s \leq 1,1$							
		$V_h \leq 4$	$4 < V_h \leq 5$	$V_h \leq 5$		$V_h \leq 5$	
В 20	2 Ø 16	0,7	0,7	0,7		0,7	
	2 Ø 18	0,7	0,73	0,7		0,7	
В 25	2 Ø 20	0,7	0,76	0,7		0,7	
	2 Ø 22	0,7	0,81	0,7		0,7	
В 30	4 Ø 18	0,7	0,7	0,7		0,7	
	4 Ø 20	0,7	0,7	0,7		0,7	

По-друге, експериментально встановлено неравноцінність рішень про приймання конструкцій за комплексними показниками, одержаними в результаті випробовування навантаженням, і комплексу одиничних показників, одержаних на різних стадіях виробничого контролю. В першому випадку всі 10 випробованих плит можуть бути визнані стандартними (за критеріями одно- чи двуступінчатого контролю), а у другому - всі повинні бути забраковані хоча б по одному із показників.

По-третє, створено методику установлення контрольних нормативів, ґрунтованих на прийманні конструкцій за показником проектною надійності. В цьому разі забезпечується можливість компенсації (у певних межах) нестачі рівня одних одиничних показників надміром його для інших таких показників.

Відповідність їх встановленим вимогам визначають за результатами нормованого виробничого контролю. Створюється можливість регулювання виробництва за показником, що найбільш піддається управлінню (наприклад, за міцністю бетону).

Ефективність методики підтверджується можливістю приймання всіх 10-ти випробованих плит.

Нарешті, в реальних виробничих умовах одержані додаткові експериментальні підтвердження раніше відомих фактів нормальності закону розподілення характеристик міцності матеріалів, а також систематичної різниці міцності бетону навіть за невеликої (30 см) висоти уздовжніх ребер плит.

Названі наукові результати використано для розроблення "Методических рекомендаций по неразрушающему контролю несущей способности ребристых плит покрытий промзданий размером 6x3 м", схвалених Секцією №1 НТР НДМБК 28.12.1987 (протокол №31). Вони включають комплекс приймальних нормативів, поданий у вигляді таблиць для реально можливого діапазона зміни факторів впливу.

Рекомендації перевірені у виробництві. При цьому одержано розрахунковий економічний ефект внаслідок можливості приймання виробів, які потрібно було б забракувати згідно з чинними правилами

приймання.

Створений апарат статистичного моделювання не тільки забезпечив теоретичне обґрунтування названих вище результатів, але й вже неодноразово використаний в дослідженнях мінливості природних впливів на будівельні об'єкти, а також оцінках надійності різних конструкцій - чорнобильського "Укриття" включно.

Основні положення дисертації оприлюднені в перелічених нижче публікаціях.

1. Пошивач В.Г. Использование метода Монте-Карло в вероятностных расчетах железобетонных конструкций // Изготовление и контроль качества строительных конструкций = Сб. научн. тр. / НИИЖБ. НИИСК. -М., 1987. -С. 48-52.

2. Никитин А.Ю., Пошивач В.Г. Статистический метод регулирования надежности строительных конструкций // Пути повышения качества, надежности и долговечности конструкций инженерного назначения / Тезисы докладов. -Хабаровский политехн. ин-т, 1988. -С. 8-11.

3. Пошивач В.Г. Приемлемость неразрушающих методов контроля прочности бетона в ребристых плитах покрытий // Строительные материалы и конструкции. -1988. - №2. -С. 31.

4. Сидоренко М.В., Пошивач В.Г. О надежности конструкций по прочности нормальных сечений // Моделирование и оптимизация технологических процессов и элементов конструкций сооружений инженерного назначения / Тезисы докладов. -Хабаровский политехн. ин-т, 1989. -С. 102-105.

5. Пошивач В.Г. Неразрушающий приемочный контроль железобетонных конструкций по несущей способности // Материалы XXII Международной конференции молодых ученых и специалистов в области бетона и железобетона. Том 1. -Иркутск, 1990. -С. 219-220.

6. Сидоренко М.В., Пошивач В.Г. Развитие производственного неразрушающего контроля несущей способности сборных железобе-

тонных конструкций // Контроль качества и состояния железобетонных конструкций = Сб. научн. тр./ НИИСК. -К., 1990. -С. 37-41.

7. Пошивач В.Г. Результаты уточнения данных о метеовоздействиях на площадке ЧАЭС и назначение расчетных нагрузок на конструкции объекта "Укрытие" // 5-я междунар. научно-технической конф. "Чернобыль-96 = Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС" : сб. тез. - Зеленый Мыс, 1996. -С. 195.

## АННОТАЦИЯ

В статье описаны методы и результаты контроля качества железобетонных конструкций.

Изучены на конкретном примере условия эксплуатации железобетонных конструкций в условиях Чернобыльской АЭС.

Приведены результаты исследований и анализа состояния конструкций.

Выводы: в условиях Чернобыльской АЭС железобетонные конструкции эксплуатируются в условиях повышенной влажности и температуры.

Для обеспечения долговечности конструкций необходимо принимать меры по защите от влаги и температуры.

Ключевые слова: контроль качества, железобетонные конструкции.

Abstract: The article describes the methods and results of the control of the quality of reinforced concrete structures.

## SUMMARY

Poshyvach V.G. Reliability and control of quality of the bending reinforced concrete constructions.

The master's thesis, submitted for a degree of doctor philosophy in technics, speciality 05.23.01 - Building constructions, edifices and structures.

State Research Institute of Building Constructions, Kiev, 1997.

The design reliability of bending elements was researched theoretically by a probabilistic simulation (on the ribbed plates example).

There are proposed methods of the design reliability level defining of reinforced concrete constructions and assignment of the control requirements to individual parameters of their quality from a condition of maintenance of design reliability.

## АННОТАЦИЯ

Пошивач В.Г. Надежность и контроль качества изгибаемых железобетонных конструкций.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. НИИ строительных конструкций. Киев, 1997.

Теоретически исследована путем вероятностного моделирования проектная надежность изгибаемых элементов (на примере ребристых плит покрытий). Предложены методики определения уровня проектной надежности железобетонных конструкций и назначения контрольных требований к единичным показателям их качества из условия обеспечения проектной надежности.

Ключові слова:

надійність, контроль якості, залізобетонні конструкції.





Підписано до друку 09.06.97р. Формат 60x84/16.  
Ум. друк. арк.1,0. Обл.-вид. арк. 1,0.  
Наклад 100. Зам. 218.

Відділ оперативної поліграфії  
Центру Міжнародної освіти  
227-12-75, 227-37-86

433725

AB 38.250