

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА

КОДАК Ольга Антонівна

УДК 624.012.41

ТРИШНОСТІЙКІСТЬ ПОХМИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ПРИ ДІЇ КОСОГО ЗГІНУ

05.23.01 - Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Полтава - 1997



00743360 (N)

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Полтавському державному технічному університеті імені Єрія Кондратика Міністерства освіти України.

Науковий керівник – Заслужений працівник народної освіти України, доктор технічних наук, професор Вахненко Петро Федорович, Полтавський державний технічний університет імені Єрія Кондратика, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор Шагін Олександр Львович, Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедр залізобетонних та кам'яних конструкцій;
- кандидат технічних наук, доцент Рогоза Микола Єгорович, Полтавський державний технічний університет імені Єрія Кондратика, декан економічного факультету

Провідна організація:

Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Держбуду України, лабораторія теорії та методів розрахунку залізобетонних конструкцій, м.Київ.

Захист відбудеться "20" січня 1998 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 25.01.02 при Полтавському державному технічному університеті імені Єрія Кондратика за адресов: 314601, м.Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 234.

З дисертація можна ознайомитися у бібліотеці Полтавського державного технічного університету імені Єрія Кондратика за адресов: 314601, м.Полтава, Першотравневий проспект, 24.

Автореферат розісланий "19" зрудна 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Семко О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальність теми. Досить поширені залізобетонні елементи, що знаходяться у складному напруженому стані, зокрема зазнають косоного згину. Останнім часом завдяки зусиллям вчених та інженерів успішно розробляються та вдосконалюються методи розрахунків конструкцій, що працюють на косий згин, за граничними станами другої групи. Значний прогрес досягнутий у розробці розрахунків по утворенню і розкриттю нормальних тріщин, по деформаціях. Дослідженнями тріщиностійкості похилих перерізів елементів, які зазнають косоного згину, практично не займалися.

Проте тривала ефективність та безаварійна експлуатація залізобетонних конструкцій обумовлені комплексом факторів, одним з яких є збереження арматури у бетоні протягом всього терміну експлуатації будівель та споруд. Розробка методу розрахунку конструкцій, що працюють на косий згин, по утворенню та розкриттю похилих тріщин, забезпечить їх довговічність, дозволить заощаджувати значні кошти за рахунок збільшення строків міжремонтного періоду будівель та споруд і значно скоротити витрати на ремонт при передчасному руйнуванні конструкцій.

Мета роботи:

Дослідження напружено-деформованого стану похилих перерізів, характеру утворення та розкриття похилих тріщин при різних кутах нахилу силової площини та розробка на основі дослідних даних методики розрахунку тріщиностійкості похилих перерізів залізобетонних елементів при косому згині.

Автор захищає:

- результати експериментально-теоретичних досліджень напружено-деформованого стану похилого перерізу залізобетонних балок при різних кутах нахилу силової площини, характеру утворення, поширення та розкриття похилих тріщин;
- результати аналізу впливу на тріщиностійкість похилого перерізу кута нахилу силової площини, параметрів стиснутої зони, розташування поперечної арматури;
- експериментально-теоретичне визначення напружень у поперечній арматурі та довжини проекції похилої тріщини при експлуатаційних рівнях навантаження;
- методи розрахунку по утворенню та розкриттю похилих тріщин в залізобетонних елементах при косому згині.

Наукова новизна роботи:

- отримані експериментальні дані про напружено-деформований стан похилого перерізу залізобетонних балок при плоскому і косому згині, характер утворення та розвиток похилих тріщин, вплив на тріщиностійкість похилого перерізу різних факторів;

- на основі обробки експериментальних даних отримані прості для використання залежності для визначення напружень у поперечній арматурі та довжини проєкції похилої тріщини при плоскому і косому згині на будь-яких рівнях навантаження;

- розроблені методи розрахунку по утворенню та розкриттю похилих тріщин у залізобетонних елементах, що зазнають косого згину, при однорядному та дворядному розташуванні поперечної арматури.

Практична цінність роботи.

Запропоновані методи дають можливість інженерам-проектувальникам проводити розрахунки по утворенню та розкриттю похилих тріщин в залізобетонних елементах, які зазнають косого згину. Ці методи порівняно повно враховують реальний напружено-деформований стан, що дозволяє при проектуванні запобігати, як недооцінки надійності, так і перевитрати матеріалів. Наведені формули прості та зручні для використання в інженерних розрахунках.

Реалізація результатів роботи.

Розроблені методи розрахунку по утворенню та розкриттю похилих тріщин в залізобетонних елементах при плоскому і косому згині використані у практиці Українського державно-кооперативного проектно-вишукувального і науково-дослідного об'єднання "УкрНДІАгропроект" м. Києва при проектуванні конструкцій сільськогосподарських споруд.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 47, 48, 49 наукових конференціях професорів, викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів Полтавського технічного університету (м. Полтава, 1995-1997 рр), на II Українській науково-технічній конференції механіки ґрунтів та фундаментобудування (м. Полтава, 1995 р.), на конференції "Проблеми теорії і практики залізобетону", присвяченої 100-річчю з дня народження проф. М.С.Горяника, Полтавського державного технічного університету ім. В.Кондратика (м. Полтава, 1997 р.) та на засіданні кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Полтавського технічного університету 26.06.97 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць.

Обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 128 найменувань. Загальний обсяг роботи 170 стор., з яких 88 стор. саме тексту, 34 рис. (39 стор.), 12 таблиць (27 стор.), додаток (2 стор.).

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі доведена актуальність виконаних досліджень, їх наукова новизна та практична цінність, викладена загальна характеристика роботи.

Перший розділ присвячений розгляду стану теоретичних та експериментальних досліджень тріщиностійкості похилого перерізу залізобетонних елементів при плоскому та косому згині та суміжних питань, визначенню завдань досліджень.

У вивчення напружено-деформованого стану похилого перерізу залізобетонних елементів при плоскому і косому згині та розробку методів їх розрахунку значний вклад внесено вченими В.М.Байковим, Т.І.Барановою, П.Ф.Вахненком, О.О.Гвоздевим, О.Б.Голишевим, В.В.Добрянською, К.Х.Долею, В.С.Дорофєвим, Л.А.Дорошкевичем, О.С.Залесовим, Ч.В.Ігнатавичюсом, Ю.Л.Ізотовим, Є.В.Клименком, Ю.А.Климовим, Р.Л.Маїляном, В.П.Митрофановим, М.Є.Рогозов, Є.Є.Сигаловим, В.С.Соколовим, М.С.Торяником, О.Л.Шагіним та інш.

До основних результатів досліджень в галузі тріщиностійкості залізобетонних елементів при дії поперечних сил належать:

1. Класифікація похилих тріщин та розробка методів розрахунку їх утворення при плоскому згині (праці М.С.Боршанського, Г.М.Власова, О.Б.Голишева, Л.А.Дорошкевича, О.С.Залесова, О.С.Зорича, О.Ф.Льїна, Ю.А.Климова, Л.В.Кузнецова, Є.А.Троїцького, О.О.Гвоздева, Е.Н.Кодиша, Л.Л.Леміша, І.К.Никитина, Б.А.Шостака, О.В.Яшина, Ф.Леонгардта, Р.Фергюсена та інших).
2. Вироблення критеріїв розрахункової оцінки ширини розкриття похилих тріщин в елементах при плоскому згині (публікації Ю.О.Волкова, О.Б.Голишева, О.С.Залесова, Ю.А.Климова, Ю.В.Максимова, Г.О.Смоляго та інших).
3. Розробка методів розрахунку ширини розкриття похилих тріщин в залізобетонних елементах при дії плоского згину (публікації М.С.Боршанського, Ю.О.Волкова, О.Б.Голишева, О.С.Залесова,

О.Ф.Ільїна, І.К.Никитина, Ю.А.Климова, А.П.Кудзиса, С.А.Корейби, Г.О.Смоляга, В.І.Солеменка, Н.Ганесена, П.Десаї, Л.Манойлова, А.Плакаса, П.Ригана та інших).

4. Виділення особливостей утворення похилих тріщин при вивченні похилого перерізу залізобетонних елементів при косому згині (праці П.Ф.Вахненка, В.В.Добрянської, К.Х.Долі, О.С.Залесова, Ч.Б.Ігнатавичуса, О.Ф.Ільїна, Ю.Л.Ізотова, Є.В.Клименка, А.І.Мордича, В.Є.Нездойминоги, Л.І.Серджика, М.Л.Ярового та інших).

Пропозиції щодо розрахунку по утворенню похилих тріщин в елементах, які знаходяться під впливом косого згину, доволі трудоміські у застосуванні на практиці. Спеціальних досліджень по вивченню впливу кута нахилу силової площини на ширину розкриття похилих тріщин не проводилось.

Виходячи з аналізу стану питання були поставлені такі задачі роботи:

1. Провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану похилих перерізів залізобетонних елементів прямокутного профілю, зокрема:

- виявити вплив кута нахилу силової площини β на тріщиностійкість перерізів;

- вивчити роботу поперечної арматури, враховуючи її розташування.

2. Розробити зручні для практичного використання методи розрахунку по утворенню та розкриттю похилих тріщин в залізобетонних елементах при косому згині.

У другому розділі описані конструкція дослідних зразків, технологія їх виготовлення та методика проведення експериментів, а також характеристика установки для випробувань балок на косий згин.

Для проведення експериментальних досліджень було запроєктовано та виготовлено 9 залізобетонних балок прямокутного профілю довжиною 2 м, з розмірами перерізу 12 x 22 см. Зразки мали однаковий процент поперечного і поздовжнього армування, але відрізнялись кількістю поздовжньої, шагом та діаметром поперечної арматури.

Вільно оперті балки навантажувалися однією зосередженою силою, прикладеною на відстані 0,4 м від ближньої опори. Експериментальні дослідження балок проводилися під кутами нахилу силової площини 0° , 12° та 20° . Всього було проведено 18 випробувань залізобетонних зразків, досліджувалась кожна

прикінцева ділянка балки по черзі. При цьому раніше випробувана прикінцева ділянка зразка посилювалась металевими хомутами.

Деформації арматури та бетону вимірювались напівавтоматичним виміривачем деформацій АИД-4 за допомогою електротензорезисторів. Тензорезистори базов 50 мм розташовувались на бетоні у місцях передбаченого проходження похилої тріщини за трєакторією головних розтягувачих напружень, а також під зосередженою силою рядом датчиків для визначення положення нейтральної лінії. На поздовжню та поперечну арматуру наклеювались датчики базов 20 мм у місцях передбаченого проходження похилої тріщини, крім того на поздовжню безпосередньо під навантаженням.

Навантаження на балку передвалося ступенями 1/10...1/15 від передбаченого руйнуючого. Кожна ступінь навантаження витримувалася близько 8 - 10 хвилин. За цей час знімалися показання по тензорезисторам і прогиномірам, оглядалася балка для фіксації появи, розвитку та розкриття тріщин.

У третьому розділі проведений аналіз результатів експериментів та викладені теоретичні дослідження.

Для статистичної обробки експериментальних даних використовувались стандартні пакети програм на ЕОМ.

Проведені експерименти виявили характер тріщиноутворення в дослідних зразках. Спочатку з'являлися нормальні тріщини на нижній грані елемента в зоні дії максимальних моментів під навантаженням та у прольоті зрізу. Похилі тріщини виникали приблизно на рівні центра мас - в середині третини висоти перерізу балки. Одна з похилих тріщин розвивалась найбільш інтенсивно, по ній і відбувалось руйнування в подальшому.

Руйнування дослідних зразків відбувалось по стиснено-зрізаній зоні бетону внаслідок роздріблення бетону над верхньою похилою тріщиною або зрізу бетону в напрямку розвитку похилої тріщини.

Порівняння характеру утворення тріщин при плоскому та косому згині показало деякі відмінності. Якщо при $\beta = 0$ похилі тріщини на паралельних гранях виникали практично одночасно, то при $\beta > 0$ між утворенням тріщин на цих гранях спостерігався розрив в 1 - 3 ступеня навантаження, який збільшувався із зростанням кута нахилу силової площини.

Відносна поперечна сила тріщиноутворення залишалась майже незмінною при будь-яких кутах нахилу силової площини, становлячи

приблизно 0,4 від руйнуючої. Але абсолютна поперечна сила, яка відповідала виникненню похилої тріщини, зменшувалась пропорційно зростанню кута β .

Залесов О.С. та його колеги рекомендують на основі дослідних даних для ненапружених елементів із важкого бетону поперечну силу, що відповідає утворенню похилих тріщин при плоскому згині, визначати за формулою

$$Q_{орс} = 1,2 R_{bt,ser} b h_0^2 / c. \quad (1)$$

але не менше $0,6 R_{bt,ser} b h_0$ та не більше $2,5 R_{bt,ser} b h_0$.

Залежність (1) можна використовувати і у випадку косо́го згину, враховуючи вплив кута нахилу силової площини β та кута нахилу нейтральної лінії γ за допомогою коефіцієнта k_β , отриманого шляхом апроксимації дослідних даних,

$$k_\beta = \cos(\gamma - \beta). \quad (2)$$

При плоскому згині критична похила тріщина у випробуваних зразках розвивалась практично по прямій, що єднала внутрішню грань опорної площадки із зовнішньою гранню площадки передачі навантаження.

При $\beta = 12^\circ$ критична похила тріщина на більш розтягнутій грані перерізу елемента проходила, як і у разі плоского згину. На менш розтягнутій грані перерізу довжина проекції похилої тріщини дещо зменшувалась. А при $\beta = 20^\circ$ вона зменшувалась на обох гранях перерізу, при цьому кут нахилу тріщин α значно збільшувався.

Дослідження показали, що використання постійної величини довжини проекції похилої тріщини $c_{sw} = h_0$ за нормами в формулі для визначення c_{sw} призводить до перевищення розрахункових значень напружень у поперечній арматурі у порівнянні із експериментальними.

Виходячи з цього, доцільніше використовувати у розрахунках при плоскому згині не постійну, а змінну величину довжини проекції похилої тріщини

$$c_{sw} = c \sqrt{Q/Q_u}. \quad (3)$$

яка залежить від рівня навантаження елемента та обмежена параметрами

$$h_0 \leq c_{sw} \leq 2h_0.$$

де c - довжина проекції похилої тріщини, яка відповідає руйнуючій поперечній силі.

У випадку косоного згину використання змінної величини c_{sw} також краще узгоджується з дослідними значеннями довжини проекції похилої тріщини, що дозволяє докладніше описувати напружений стан у стрижнях поперечної арматури після утворення похилих тріщин

$$c_{sw2} = c_2 \sqrt{Q/Q_u}, \quad (4)$$

де $h_0 / 2 \cos \beta \leq c_{sw2} \leq 2h_0 / \cos \beta$:

c_2 - довжина локальної тріщини, яка обчислюється у розрахунку міцності похилого перерізу.

Похила тріщина, перетинаючи поперечну арматуру, викликала значні зміни її деформованого стану. У зразках з кутом $\beta = 0$ на різних етапах навантаження осеві деформації розтягнення поперечної арматури, як в одному ряду, так і в другому були майже однаковими. При косому згині деформації розтягнення були більше у ряду поперечної арматури уздовж грані 2. (рис. 1а). При рівні навантаження 0,5 від руйнуючої величина напруження у більш навантаженому ряду σ_{swy1} була приблизно в 2 рази більше, ніж в ряду стрижнів уздовж грані 1 (σ_{swy1}). Із зростанням кута нахилу силової площини до 20° при такому ж рівні навантаження відношення напружень у рядах хомутів досягало 2,6...2,8. До моменту руйнування осеві деформації розтягнення у ряду 1 поперечної арматури відповідали умовній межі текучості. Напруження у ряду 2 хомутів досягали умовної межі текучості трохи раніше - при $(0,65...0,75)Q_u$.

Залежність відношення $\sigma_{swy1} / \sigma_{swy2}$ від кута β та рівня навантаження може бути описана функцією

$$k = \sigma_{swy1} / \sigma_{swy2} = 1 - \sqrt{(1 - Q/Q_u)h \operatorname{tg} \beta / b}. \quad (5)$$

При виведенні формули для визначення σ_{swy2} використані розрахункова схема похилого перерізу (рис. 1б) та рівняння рівноваги всіх сил, діючих у перерізі, на вісь Y:

$$\sum Y = 0, \quad Q \cos \beta = Q_{swy} + Q_p \cos \beta, \quad (6)$$

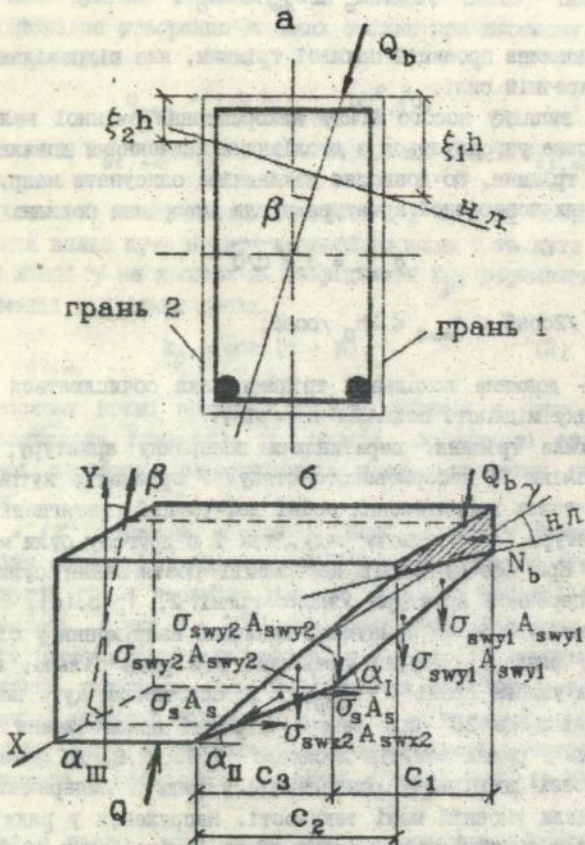


Рис. 1. До розрахунку тріщиностійкості похилого перерізу при косому згині
 а) — прямокутний переріз
 б) — розрахункова схема

$$\text{де } Q_{\text{сву}} = \frac{\sigma_{\text{сву}2} A_{\text{сву}2}}{S_{y2}} c_2 + \frac{\sigma_{\text{сву}1} A_{\text{сву}1}}{S_{y1}} c_1. \quad (7)$$

Базуючись на даних багатьох експериментів, встановлено, що похилий переріз, по якому відбувається руйнування, є практично плоским і кути нахилу слідів площини цього перерізу на паралельні грані елемента рівні між собою (див. рис. 1б) $\alpha_I = \alpha_{II} = \alpha$ та $\alpha_{III} = \alpha_{IV} = \alpha_1$, можна записати рівняння

$$c_1 = c_2(1 - \xi_1)/(1 - \xi_2). \quad (8)$$

Тоді формула для обчислення напружень у хомутах елементів з двома рядами поперечної арматури матиме вигляд

$$\sigma_{\text{сву}2} = \frac{(Q - Q_{b1}) \cos \beta \cdot S_{y2}}{A_{\text{сву}2} c_{\text{сву}2} (1 + k k_d (1 - \xi_1)/(1 - \xi_2))}, \quad (9)$$

де $c_{\text{сву}2}$ - довжина проекції похилої тріщини на грані 2 перерізу елемента, яка обчислюється за формулов (4);

$$k_d = \frac{A_{\text{сву}1} S_{y2}}{S_{y1} A_{\text{сву}2}} - \text{коефіцієнт, що враховує нерівномірність}$$

армування граней балки.

Для елементів з одним рядом поперечної арматури напруження у ньому становить

$$\sigma_{\text{сву}} = \frac{2(Q - Q_{b1}) \cos \beta \cdot S_y}{A_{\text{сву}} c_{\text{сву}2} (1 + (1 - \xi_1)/(1 - \xi_2))}. \quad (10)$$

У ході експерименту на кожному ступені навантаження дослідних зразків вимірювалася ширина розкриття похилих тріщин на паралельних гранях елементів. Вона вимірювалася в місцях їх первинного утворення, максимального розкриття, місцях перетину похилою тріщиною поперечної та поздовжньої арматури. Особлива увага приділялася середній величині із усіх вимірних у місцях перетину стрижнів поперечної арматури із критичною похилою тріщиною. Як свідчить проведення аналіз, зростання кута нахилу силової площини призводить до збільшення ширини розкриття похилої тріщини.

У четвертому розділі викладені методи розрахунку залізобетонних елементів по утворенню та розкритті похилих тріщин при плоскому та косому згині. Наведені приклади розрахунку для балок з двома та одним рядами поперечної арматури. Виконане порівняння теоретичних та експериментальних даних.

В основу запропонованого методу розрахунку тріщиностійкості похилого перерізу залізобетонних елементів при дії косоного згину покладені такі передумови:

- 1) розрахунок по утворенню похилих тріщин здійснюється за умовою, по якій головні напруження, що діють в бетоні на похилих площадах, не повинні перевищувати відповідних граничних значень, із врахуванням роботи бетону в умовах плоского напруженого стану;
- 2) похилий переріз приймається плоским, кути нахилу слідів площини цього перерізу на паралельних гранях елементу до поздовжніх ребер рівні між собою;
- 3) поперечна сила у похилому перерізі сприймається бетоном стиснутої зони, поперечною та поздовжньою розтягнутою арматурою;
- 4) поперечна арматура працює тільки на розтягнення;
- 5) зусилля у стержнях поперечної арматури, що перетинаються критичною похилою тріщиною, приймаються рівномірно розподіленими по довжині проєкції тріщини;
- 6) розкриття тріщин представляє собою накопичення взаємних зміщень поперечної арматури і бетону у місцях їх активного зчеплення;
- 7) напруження зчеплення по поверхні контакту бетону з розтягнутою арматурою на ділянках між тріщинами змінюються пропорційно відносним взаємним зміщенням арматури і бетону;
- 8) у похилому перерізі з тріщиною бетон зазнає нульові переміщення і при віддаленні від берегів тріщини залучається до роботи силами зчеплення з арматурою;
- 9) відносні подовження бетону між тріщинами приймаються рівними відношенню напружень у бетоні до його модуля пружнопластичності;
- 10) за розрахункове приймається середнє з усіх значень ширини розкриття, які вимірювались у місцях перетину поперечної арматури з критичною похилою тріщиною;
- 11) нейтральні лінії косоного та нормального небезпечних перерізів приймаються паралельними між собою.

Розрахунок по утворенню похилих тріщин у балках, працюючих при косому згині, пропонується виконувати за умовою

$$Q < Q_{orc} \quad (11)$$

де $Q_{orc} = 1,2 k_{\beta} R_{bt,ser} (bh_o^2)_{red} / c$,

але не менше $0,6 k_{\beta} R_{bt,ser} b_o h_o$ та

не більше $2,5 k_{\beta} R_{bt,ser} b_o h_o$.

Виріз $(bh_o^2)_{red}$, який характеризує розмір перерізу та кут нахилу силової площини, для прямокутного перерізу визначається за формулою:

$$(bh_o^2)_{red} = bh_o^2 \cos \beta + hb_o^2 \sin \beta \quad (12)$$

Величина c в умові (11) - довжина проєкції на поздовжню вісь елемента сліду перетину двох площин: похилої тріщини та силової, яка буде відома із розрахунку міцності похилого перерізу. Якщо умова (11) не дотримується, то потрібен розрахунок розкриття похилих тріщин, який виконується у такій послідовності.

Обчислюємо поперечну силу, що сприймається бетоном стиснутої зони,

$$Q_{bI} = 0,8 \varphi_{b4} (1 + \varphi_n) k_{\beta} R_{bt,ser} (bh_o^2)_{red} / c \quad (13)$$

Напруження в більш навантаженому ряду поперечної арматури визначаються за формулами (9) та (10) для елементів відповідно з двома та одним рядами поперечної арматури.

Оскільки в основу розрахунку ширини розкриття похилих тріщин покладена стадія II напружено-деформованого стану елементів, то, якщо $\mu \neq 0,0133$, параметри стиснутої зони ξ_1 , та ξ_2 , що входять до формул (9), (10), треба скорегувати. Висоту стиснутої зони в будь-якому напружено-деформованому стані пропонується визначати за формулою П.Ф.Вахненка через висоту в стадії III:

$$\eta = \frac{\xi_{II}}{\xi_{III}} = \frac{\sigma_b - 2 R_{bt}}{R_o - 2 R_{bt}} \left[1 - 0,45 \frac{R_b}{\mu R_o} \right] + 0,45 \frac{R_b}{\mu R_o} \quad (14)$$

Ширина розкриття похилої тріщини обчислюється за формулою:

- при дворядному розташуванні поперечної арматури

$$\sigma_{\sigma_{\text{сгу}2}} = \varphi_1 \frac{0,6 \sigma_{\text{сгу}2} d_{\text{сгу}2} \eta}{E_s \frac{d_{\text{сгу}2}}{h_c} \cos \beta + 0,15 E_b (1 + 2\alpha_{\text{сгу}})}, \quad (15)$$

- при однорядному

$$\sigma_{\sigma_{\text{сгу}2}} = \varphi_1 \frac{0,6 \sigma_{\text{сгу}} d_w \eta}{E_s \frac{d_w}{h_c} \cos \beta + 0,15 E_b (1 + 2\alpha_{\text{сгу}})} \cdot \frac{2}{k + 1}. \quad (16)$$

Наведені методи розрахунку прийнятні при різних кутах нахилу силової площини $\beta \leq \arctg b/h$, в тому числі і при $\beta = 0$.

У випадку плоского згину в розрахунку по утворенню похилих тріщин вираз $(bh_c^2)_{\text{ред}}$ стає рівним bh_c^2 , а $k_\beta = 0$.

Методика розрахунку ширини розкриття похилих тріщин при $\beta=0$ подібна до методики СНиП 2.03.01-84*. Особливість запропонованого розрахунку полягає в тому, що при обчисленні напружень у стрижнях поперечної арматури, які перетинаються критичною похилою тріщиною, враховується реальна довжина похилої тріщини.

Напруження в поперечній арматурі елементів з двохрядним II розташуванням становлять

$$\sigma_{\text{сгу}} = \frac{(Q - Q_{b1}) \cdot S}{A_{\text{сгу}} c_{\text{сгу}}}; \quad (17)$$

з однорядним розташуванням

$$\sigma_{\text{сгу}} = \frac{2(Q - Q_{b1}) \cdot S}{A_{\text{сгу}} c_{\text{сгу}}}; \quad (18)$$

де $c_{\text{сгу}}$ - довжина проєкції похилої тріщини, яка розраховується за формулою (3).

У порівнянні результатів обчислень за розробленою методикою з експериментальними даними використовувались дослідні дані автора та Добрянської В.В.

Аналіз порівняння величин поперечної сили, яка відповідає утворенню похилої тріщини, при різних кутах нахилу силової площини, отриманих експериментальним та теоретичним шляхом, показує, що розроблена методика дає близьку збіжність. Середнє арифметичне відношення складає 1,04; середнє квадратичне відхилення - 13,4 %; коефіцієнт варіації - 12,9 %; показник точності - 2,4 %.

Теоретичні значення ширини розкриття похилих тріщин при плоскому згині визначалися при експлуатаційних рівнях навантаження за нормативних методиків СНІП 2.03.01-84*, за методиків Изменений к СНІП 2.03.01-84* та за розробленим методом розрахунку.

Аналіз порівняння величин ширини розкриття похилих тріщин, отриманих експериментально та за нормативними методами, довів, що як методика СНІП 2.03.01-84*, так і методика Изменений к СНІП 2.03.01-84* значно завищують розрахункові значення ширини розкриття похилої тріщини. Середнє арифметичне відношення теоретичних значень ширини розкриття тріщин, визначених за методиком норм, до експериментальних становить 0,81; середньквдратичне відхилення - 20 %; коефіцієнт варіації - 24,7 %; показник точності - 3,8 %. Статистичні показники для величин ширини розкриття тріщин, визначених за методиком Изменений к СНІП 2.03.01-84* становлять відповідно - 0,57; 14,6 %; 25,6 %; 3,9 %.

Кращий збіг з експериментальними даними дає запропонована методика. При плоскому згині середньарифметичне відношення складає 1,06; середнє квадратичне відхилення - 24,7 %; коефіцієнт варіації - 23,5 %; показник точності - 3,6 %.

При косому згині середньарифметичне відношення складає 0,96; середнє квадратичне відхилення - 23,7 %; коефіцієнт варіації - 25 %; показник точності - 3 %

ВИСНОВКИ

1. Експериментально встановлено, що у дослідних балках (з відношенням розмірів сторін перерізу $b/h = 0,55$) із зростанням кута нахилу силової площини:

- величина поперечної сили, що відповідає утворенню похилої тріщини, та довжина проекції похилої тріщини зменшуються;
- кут нахилу критичної похилої тріщини до поздовжньої осі елемента та інтенсивність розкриття похилих тріщин збільшуються.

2. Шляхом обробки експериментальних даних отримана залежність, яка характеризує відношення напружень у рядах поперечної арматури. Формула (5) враховує основні фактори, що впливають на різницю в роботі рядів поперечної арматури при косому згині - рівень навантаження, розміри перерізу, кут нахилу силової площини.

3. Виведені формули (9), (10) для визначення напружень в

поперечній арматурі, які можуть застосовуватися при плоскому і косому згині, прямокутній, трикутній та трапецієвій формі стиснутої зони, будь-якому розташуванні поздовжньої арматури, різній інтенсивності армування граней балок.

4. Досліджене зростання довжини похилої тріщини при плоскому та косому згині від моменту її утворення до руйнування елемента. Шляхом апроксимації експериментальних графіків отримані формули (3), (4) для визначення довжини проекції похилої тріщини на різних етапах навантаження елемента.

5. Доведено, що змінювання кутів β та γ в процесі навантаження незначне, тому рекомендується не враховувати у розрахунках по утворенню та розкриттю похилих тріщин величини $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$. Зміну положення нейтральної лінії в стадії II у порівнянні із стадією III напружено-деформованого стану пропонується враховувати за допомогою коефіцієнта μ за формулою Вахненка П.Ф. (14).

6. Вперше запропоновані методи розрахунку по утворенню та розкриттю похилих тріщин в ненапружених залізобетонних елементах прямокутного профілю при косому згині. Розроблені методи прийнятні і при плоскому згині. У цьому випадку розроблена методика містить пропозиції щодо удосконалення розрахунку ширини розкриття похилої тріщини.

7. Поперечна сила тріщиноутворення та значення ширини розкриття похилих тріщин від дії експлуатаційних рівнів навантажень, обчислені за даною методикою, добре узгоджуються із отриманими експериментально.

8. Запропоновані методи розрахунку використані у практиці Українського державно-кооперативного проектно-вишукувального і науково-дослідного об'єднання "УкрНДІАгропроект" при проектуванні сільськогосподарських споруд.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кодак О.А. Определение поперечной силы, отвечающей образованию наклонной трещины, в косозгибаемых железобетонных балках // Коммунальное хозяйство городов: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 12. - К.: Техника. - 1997. - с.8 - 10.
2. Кодак О.А. Особенности раскрытия наклонных трещин в косозгибаемых железобетонных элементах и рекомендации по

расчету // Коммунальное хозяйство городов: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 12. - К.: Техника. - 1997. - с.14 - 16.

3. Кодак О.А. Результаты экспериментальных досліджень похилого перерізу залізобетонних балок, що працюють на косий згин // Збірник наукових статей. Проблеми теорії і практики залізобетону. Полтава: ПДТУ ім. Ю.Кондратика, 1997 - с.229 - 231.

4. Вахненко П.Ф., Кодак О.А. До питання про точність розрахунків залізобетонних конструкцій // Збірник наукових статей. Проблеми теорії і практики будівництва. Том I. Залізобетонні конструкції. Львів: ДУ "Львівська політехніка", 1997 - с.51 - 55.

5. Вахненко П.Ф., Кодак О.А. Определение напряжений в хомутах при косом изгибе // Труды II Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроительству. Часть II. - Полтава, 1995 г. - с. 55 - 57.

6. Кодак О.А. Тріщиностійкість похилих перерізів залізобетонних балок при різних кутах нахилу силової площини. - Полтава, 1997 р. - 13 с.: іл. - депоновано в УкрНІТЕГІ 6.05.97, № 363 - У1 97.

7. Вахненко П.Ф., Кодак О.А. Розрахунок ширини розкриття похилої тріщини при дії косою згину // Тези доповідей 48 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського технічного університету. - Полтава, 1996 р. - с. 11.

АНОТАЦІЇ

Кодак О.А. Тріщиностійкість похилих перерізів залізобетонних елементів при дії косою згину. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.23.01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди. - Полтавський державний технічний університет імені Дрія Кондратика, Полтава, 1997.

Експериментально-теоретичні дослідження напружено-деформованого стану похилого перерізу залізобетонних балок при косому згині дозволили детально вивчити вплив різних факторів на тріщиностійкість перерізів. Результати розрахунків порівнювались із даними експериментів. Запропонована методика розрахунку залізобетонних елементів по утворенню та розкриттю похилих тріщин при косому згині, яка дає змогу з достатньою ступенем точності оцінювати тріщиностійкість похилих перерізів конструкцій.

Ключові слова: Трещиностійкість, косий згин, похилий переріз, похила тріщина.

Кодак О.А. Трещиностойкость наклонных сечений косоизгибаемых железобетонных элементов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения. - Полтавский государственный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, 1997.

Экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния наклонного сечения косоизгибаемых железобетонных балок позволили детально изучить влияние различных факторов на трещиностойкость сечений. Результаты расчетов сравнивались с данными экспериментов. Предложена методика расчета железобетонных элементов по образованию и раскрытию наклонных трещин при косом изгибе, которая дает возможность с достаточной степенью точности оценивать трещиностойкость наклонных сечений конструкций.

Ключевые слова: трещиностойкость, косой изгиб, наклонное сечение, наклонная трещина.

Kodak O.A. Crack resistance of inclined sections of biaxial bending reinforced concrete. - Manuscript.

Dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences by speciality 05.23.01 - Building Structures, Buildings and Constructions. - Poltava J.Kondratyuk State Technical University, Poltava, 1997.

Experimental and theoretical investigations of stressed deformed state of inclined section of biaxial bending reinforced concrete beams allowed to explore more detailly the influence of different factors on crack resistance of sections. The calculation results have been compared to those of the experimental ones. Proposed computation method concerning formation and revealing inclined cracks of reinforced concrete elements under biaxial bending, which makes possible to evaluate the crack resistance of inclined sections of structures with a sufficient degree of accuracy.

Key words: crack resistance, biaxial bend, inclined section, inclined crack.

Ав 39.161

Підписано до друку 17. 12. 97р. Формат 60x84 1/16. Папір луганський.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1. Замовлення №1291, Тираж 100 прим. . .
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 108.