

ПОЛТАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ЗЕРНИК Олеся Вячеславівна

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ ПРИ КОСОМУ ЗГИНІ
ВІД ДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РІВНІВ НАВАНТАЖЕНЬ

Спеціальність 05.23.01 - Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

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

Полтава 1997



Дисертація в рукописі

Роботу виконано на кафедрі залізобетонних та кам'яних конструкцій Полтавського технічного університету.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, професор
Павликов Андрій Миколайович

Науковий консультант - кандидат технічних наук, доцент
Семко Олександр Володимирович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фомиця Леонід Миколайович;

кандидат технічних наук, доцент
Кліменко Володимир Іванович.

Провідна організація: Харківська державна академія міського господарства, м.Харків

Захист відбудеться "27" травня 1997 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.25.01.02 із спеціальності "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" при Полтавському технічному університеті за адресою: 314601, м.Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 234.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Полтавського технічного університету.

Автореферат розіслано "26" квітня 1997 р.

В.о. вченого секретаря спеціалізованої ради,
доктор технічних наук, професор

Пічугін С.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальність теми. В реальних умовах велика кількість залізобетонних конструкцій знаходиться під впливом косоного згину. Однією з причин цього є неспівпадіння площини дії навантаження з головною віссю інерції перерізу. Дуже часто косий згин також виникає внаслідок недоліків технології виготовлення та монтажу елементів. В зв'язку з цим, при постійно зростаючому обсязі реконструкції будівель та споруд, доводиться стикатися з труднощами під час розв'язування питань про вплив косоного згину конструкцій на їх деформативність.

Останнім часом в будівництві широко використовуються бетонні та залізобетонні елементи та конструкції, що проектується у вигляді таврового симетричного і несиметричного або інших оптимальних форм перерізу, для яких необхідні розрахунки за граничними станами другої групи.

Що ж до пропозицій, які є на сьогодні в спеціальній літературі і котрі можна застосувати для розрахунків залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині за граничними станами другої групи, то вони фактично не розглядають питань про вплив напружено-деформованого стану на деформативність таких конструкцій. Деякі запропоновані розробки при практичному використанні досить складні та потребують доопрацювання і вдосконалення.

Мета роботи - на основі експериментально-теоретичних досліджень проаналізувати напружено-деформований стан залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині без попереднього напруження та розробити на цій основі для застосування в практиці методику розрахунку їх деформативності.

Наукова новизна роботи:

- з метою вивчення напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині розроблена та реалі-

зована для ПЕОМ програма його моделювання при довільному вигляді залежностей " $\sigma_b - \epsilon_b$ " та " $\sigma_s - \epsilon_s$ ";

- на основі обробки експериментальних даних отримані прості при застосуванні залежності для визначення параметрів положення нейтральної лінії (кута нахилу та висоти стиснутої зони бетону);

- проведено теоретичне дослідження впливу розтягнутого бетону на кривизну залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині в перерізах з тріщинами та між тріщинами;

- запропонована методика теоретичного визначення коефіцієнтів ψ_s та ψ_b залежно від форми епюри дотичних напружень;

- експериментально встановлено, що значення коефіцієнта повноти епюри напружень в стиснутому бетоні ψ_b для залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині не відповідає прийнятому в СНиП 2.03.01-84* для випадків плоского згину;

- розроблена методика розрахунку деформацій залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині, яка відповідає вимогам будівельних норм.

Автор захищає:

- результати експериментально-теоретичних досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині від дії експлуатаційних навантажень;

- методику розрахунку деформативності залізобетонних елементів таврового профілю, розроблену на основі досліджень напружено-деформованого стану таких елементів при косому згині;

- результати аналізу впливу розтягнутого бетону, кута нахилу площини дії зовнішніх зусиль на кривизну та прогини залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині;

- результати експериментально-теоретичних досліджень впливу кута нахилу площини дії зовнішніх зусиль, розташування арматури в перерізові, розмірів перерізу на параметри положення нейтраль-

ної лінії в перерізі з тріщиною та в перерізі між тріщинами;

-методику визначення параметрів положення нейтральної лінії, коефіцієнтів ϕ_s та ϕ_b , а також коефіцієнта ϕ_j , який враховує вплив стиснутих полицок в таврових та двотаврових елементах.

Практична цінність роботи:

- розроблена практична методика, яка надає можливість враховувати пружно-пластичні властивості бетону при визначенні кута нахилу нейтральної лінії залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині без використання рівнянь високих порядків, що на практиці спрощує їх розрахунки за граничними станами другої групи;

- розроблена для ПЕОМ в середовищі Turbo Pascal програма DEFTAVR дозволяє з достатньо високою точністю визначати кривизну та прогини залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині;

- встановлена можливість використання методики "Изменений №1 к СНиП 2.03.01-84*" в розрахунках деформативності залізобетонних елементів таврового профілю, що зазнають косий згин. До цього надаються рекомендації щодо врахування впливу косоного згину на визначення параметрів розрахункових формул;

- отримано вираз, який дозволяє чисельно визначати значення похибки при заміні дискретного розташування арматури на сконцентроване в центрі її ваги в розрахунках деформативності.

Реалізація результатів роботи.

Результати роботи були використані для розробки проекту реконструкції ковальського та ливарного цехів АТ "Кредмаш" в м. Кременчуці, а також в розрахунках монолітних залізобетонних елементів житлового будинка по вул. Восточная, 48, в м. Полтаві.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 46, 47, 48, 49 наукових конференціях професорів, викладачів, наукових співробітників, аспірантів

і студентів Полтавського технічного університету (Полтава, 1994-1997 рр), на республіканській науково-технічній конференції "Вдосконалення залізобетонних конструкцій, що працюють на складні види деформацій, та їх впровадження в будівельну практику" (м. Полтава, 1989 р), на XXII Міжнародній конференції молодих вчених (м. Іркутск, 1990 р), на першій всеукраїнській науково-практичній конференції "Прогресивні технології та машини для виготовлення будівельних матеріалів, виробів та конструкцій" (м. Полтава, 1996 р).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 друкованих робіт.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, загальних висновків і рекомендацій та списку використаних джерел із 132 найменувань. Загальний обсяг роботи - 169 стор., в тому числі 114 стор. саме тексту, 55 рис., 5 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність виконаних досліджень, їх наукова новизна та практична цінність, а також подана загальна характеристика роботи.

Перша глава присвячена розглядові стану питання та визначенню завдань досліджень.

Аналіз різних напрямків в розрахунках деформативності залізобетонних конструкцій, на основі дослідження їх напружено-деформованого стану, (А.М.Бамбура, В.М.Бондаренко, О.О.Гвоздев, Б.Г.Гвидень, О.Б.Голішев, П.Ф.Гордеева, С.О.Дмитрійев, О.С.Залецов, М.С.Метелк, Г.О.Молодченко, М.М.Мумін, В.І.Мурашов, Я.М.Немировський, В.С.Рокач, Т.І.Улицький, В.В.Фігаровський, В.П.Чайка, О.Л.Шагін та інші) показав, що в цих дослідженнях не розглядався напружено-деформований стан елементів, що зазнають косий згин.

Проведений аналіз методів урахування впливу косого згину на деформативність залізобетонних елементів за публікаціями таких авторів, як Є.М.Васіч, П.Ф.Вахненко, К.І.Вілков, О.В.Горік, О.Ф.Ільїн, В.І.Клименко, Я.М.Левандий, Л.Л.Лемш, А.М.Павліков, П.М.Пецольд, В.В.Полетєєв, О.В.Семко, Л.І.Сердик, В.В.Тарасов, В.Г.Харченко, Б.С.Чуприна, М.Л.Яровий та інші, а також багатьох закордонних дослідників, дозволяє відзначити, що запропоновані методики розрахунку деформативності загалом спрямовані на елементи з прямокутним перерізом.

Щодо елементів таврового профілю, які зазнають косого згину, то ті пропозиції розрахунку їх деформативності, що існують, доволі трудомісткі при застосуванні на практиці.

На основі проведеного аналізу стану питання були сформульовані основні задачі дисертації:

1. Проведення експериментальних досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині, в ході яких необхідно:

а) з'ясувати вплив форми перерізу, кута нахилу силової площини та армування елемента на його деформації;

б) виявити розподілення напружень та деформацій в арматурі в залежності від її розташування в перерізі та вздовж зони чистого косого згину;

в) визначити величини та напрямки прогинів на експлуатаційних рівнях завантаження;

г) визначити вплив розтягнутого бетону між тріщинами на нерівномірність розвитку деформацій розтягнутої арматури (коефіцієнт ϕ_s) та стиснутого бетону (коефіцієнт ϕ_b).

2. Теоретично провести дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврових перерізів при косому згині, впливу розмірів перерізу, відсотка армування та кута нахилу сило-

вої площини на деформативність при експлуатаційних рівнях навантаження.

3. На основі результатів досліджень напружено-деформованого стану розробити практичні методи розрахунку жорсткості, кривизни та прогинів залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині.

В другій главі викладена методика проведення експериментальних досліджень деформативності залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині від дії короточасного навантаження.

Для проведення експеримента було виготовлено та досліджено 9 залізобетонних балок таврового профілю. Розміри дослідних зразків балок були прийняті близькими до тих, що зустрічаються в практиці будівництва ($l = 3.0$ м; $h = 0.24$ м; $b = 0.1$ м; $h'_y = 0.06$ м; $b'_y = 0.2$ м).

Експериментально вивчався вплив зміни кута нахилу площини дії зовнішніх сил β ($\beta = 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ$), а також розташування та кількості поздовжньої розтягнутої арматури на величину прогина та кривизну елемента. Зовнішнє навантаження до зразка прикладали у вигляді двох зосереджених сил в кожній із $1/3$ прогону, так, щоб площина його дії проходила крізь центр зведеного перерізу. Можливий при косому згині поворот нормального перерізу фіксувався закріпленням на балці клянометром. Вимірювання поздовжніх деформацій арматури та бетону здійснювалось напівавтоматичним вимірювачем деформацій АМД-4 за допомогою електротензодатчиків опору, що були наклеяні в зоні чистого косоного згину в нормальному перерізі. Прогини зразків балок вимірювали в двох взаємно перпендикулярних напрямках прогиномірами типу ПАО, що були встановлені посередині балки та на відстані $1/4$ l від вісі кожної з опор.

Викладена методика, яка, використовуючи експериментальні значення деформацій арматури та бетону, дозволяє досить просто

визначати положення нейтральної лінії та значення висоти стиснутої зони бетону. В даній методиці значення деформацій являють собою одну із координат ε_{si} (ε_{bi}) для трьох точок $P_1(x_1, y_1, \varepsilon_{s1})$, $P_2(x_2, y_2, \varepsilon_{s2})$, $P_3(x_3, y_3, \varepsilon_{s3})$, що фіксують положення площини відносних деформацій.

Рівняння нейтральної лінії, що належить даній площині, має вигляд:

$$Ax + By + D = 0, \quad (1)$$

де $A = y_2\varepsilon_{s3} - y_1\varepsilon_{s3} - y_2\varepsilon_{s1} + y_3\varepsilon_{s2} + y_1\varepsilon_{s2} + y_3\varepsilon_{s1}$;

$$B = x_3\varepsilon_{s2} - x_3\varepsilon_{s1} - x_1\varepsilon_{s2} + x_2\varepsilon_{s3} + x_1\varepsilon_{s3} + x_2\varepsilon_{s1}$$
;

$$D = x_1(y_3\varepsilon_{s2} - y_2\varepsilon_{s3}) + y_1(x_2\varepsilon_{s3} - x_3\varepsilon_{s2}) + \varepsilon_{s1}(x_3y_2 - x_2y_3).$$

Кут нахилу нейтральної лінії до вісі X

$$\alpha = \arctg(-A/B). \quad (2)$$

Висота стиснутої зони бетону визначалась як відстань від нейтральної лінії до найбільш стиснутої фібри поперечного перерізу зразка:

$$x = x_0 \sin \alpha + y_0 \cos \alpha - p. \quad (3)$$

де p - відстань від нейтральної лінії до початку координат.

У третій главі викладено аналіз напружено-деформованого стану залізобетонного елемента таврового профілю при косому згині в перерізах, нормальних до поздовжньої вісі.

В основу моделювання напружено-деформованого стану елементів таврового профілю при косому згині були покладені передумови, що обгрунтовані експериментальними даними:

1. Розподіл деформацій арматури та бетону в перерізі з тріщиною відповідає гіпотезі плоских перерізів.

2. Розподіл напружень в перерізі в стиснутій та розтягнутій зонах бетону моделюється у вигляді криволінійних циліндричних поверхней з твірними, що паралельні нейтральній лінії.

3. Вплив розтягнутого бетону на загальний напружено-деформований стан елемента як в перерізі з тріщиною, так і в пе-

перізі між тріщинами враховується на всіх стадіях завантаження.

4. Верхня тріщина поширюється паралельно нейтральній лінії перерізу.

5. Напруження вдоволь нижньої межі розтягнутого бетону приймаються рівними $R_{bt,ser}$. Граничні деформації найбільш розтягнутої фібри бетону дорівнюють $2R_{bt,ser} / E_b$.

6. Площини дії зовнішнього навантаження та внутрішніх зусиль залишаються на всіх рівнях завантаження паралельними, а момент кручення не враховується через його незначний вплив.

7. Модуль пружно-пластичності бетону прийнятий змінним залежно від рівня напружень в бетоні.

8. Напруження в арматурі приймаються залежно від деформацій згідно з діаграмою Прандтля.

З метов отримати таку модель напружено-деформованого стану залізобетонного елемента у нормальних до його поздовжньої вісі перерізах, яка дозволяла б проводити теоретичні дослідження деформативності залізобетонного елемента таврового профіля при косому згині, що працює при будь-якому рівні завантаження, були прийняті розрахункові схеми окремо для перерізу в момент утворення тріщини, перерізу з тріщиною та перерізу між тріщинами (рис. 1).

Отримана чисельна модель напружено-деформованого стану перерізу була реалізована у вигляді програми DEFTAVR, створеної для персональних комп'ютерів на мові Turbo Pascal.

В цій програмі система рівнянь, яка отримана чисельним інтегруванням, і виражає умови рівноваги перерізу при косому згині, розв'язувалась ітераційним методом початкових наближень.

Для того, щоб вибрати залежність між напруженнями та деформаціями в бетоні, були розглянуті запропоновані іншими дослідниками поліноміальні, показникові, тригонометричні та кусочно-

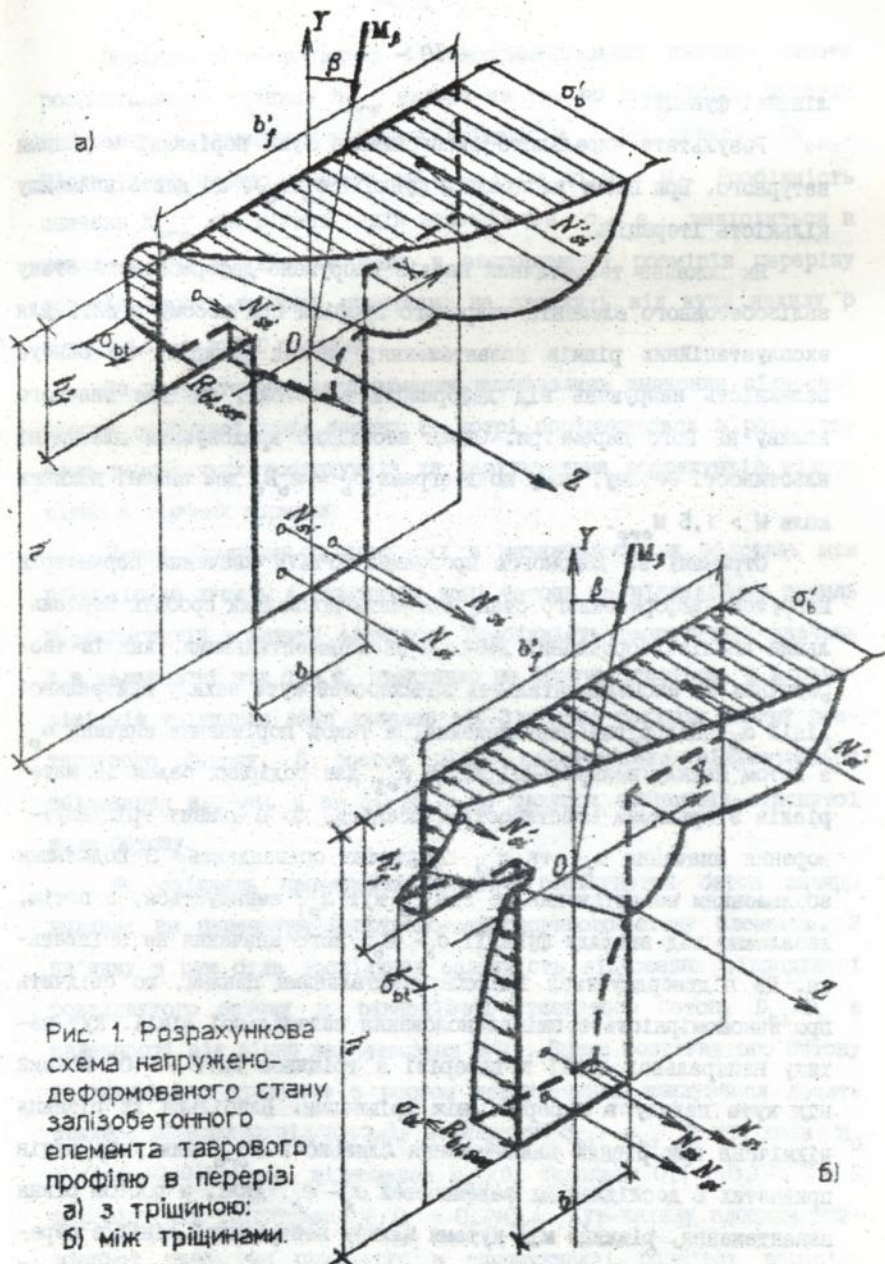


Рис. 1. Розрахункова
схема напружено-
деформованого стану
залізобетонного
елемента таврового
профілю в перерізі
а) з тріщиною;
б) між тріщинами.

лінійні функції.

Результати чисельного експеримента були порівняні з даними натурного. При цьому вибиралися функції $\sigma_b(\epsilon_b)$, що дають найменшу кількість ітерацій.

Як показав теоретичний аналіз напружено-деформованого стану залізобетонного елемента таврового профіля при косому згині, для експлуатаційних рівнів навантаження, вигляд функції, що описує залежність напружень від деформацій в бетоні, не дає значного впливу на його параметри. Однак необхідно враховувати пластичні властивості бетону, тому що діаграма $\sigma_b = \epsilon_b E_b$ дає значні похибки коли $M > 1,5 M_{ого}$.

Отримані за допомогою програми DEPTAVR значення параметрів напружено-деформованого стану елемента дозволили зробити порівняльний аналіз теоретичних даних з експериментальними. Аналіз теоретичних та експериментальних залежностей кута нахилу нейтральної лінії α_{pl} від рівня навантаження, а також порівняння значень α_{pl} з кутом нахилу нейтральної лінії α_{e1} для подібних балок із матеріалів з пружними властивостями показав, що в момент тріщиноутворення значення α_{pl} та α_{e1} практично співпадають. З подальшим збільшенням навантаження до $2 M_{ого}$ кут α_{pl} зменшується, а потім, незалежно від вигляду функції $\sigma_b - \epsilon_b$, його значення не змінюється. Це підтверджується і експериментальними даними, що свідчить про закономірність в змінах положення нейтральної лінії. Кут нахилу нейтральної лінії в перерізі з тріщиною на $3 - 10^\circ$ менший від кута нахилу в перерізі між тріщинами. Найбільша їх різниця відмічена при рівнях навантаження близько $2 M_{ого}$ для всіх видів прийнятих в дослідженнях залежностей $\sigma_b - \epsilon_b$. Далі, з ростом рівня навантаження, різниця між кутами нахилу нейтральної лінії в перерізі з тріщиною та в перерізі між тріщинами зменшується до $2-3^\circ$ за рахунок зменшення впливу розтягнутого бетону.

Порівняння теоретичних і експериментальних значень висоти розповсюдження тріщини $h_{огг}$ вказує на те, що вона різко зростає починаючи з моменту утворення тріщини $M_{огг}$ до значень $2M_{огг}$. Після цього плавно зростає на 2 - 4 см до $M = M_u$. Розбіжність значень $h_{огг}$ для різних видів залежностей $\sigma_b - \epsilon_b$ знаходиться в межах 5 - 10 %. Для вибраних в експерименті розмірів перерізу зразків висота тріщини практично не залежить від кута нахилу β зовнішньої силової площини.

За результатами експерименту визначались значення відносної висоти стиснутої зони бетону ξ , котрі порівнювалися з результатами теоретичних розрахунків та результатами розрахунків відносно з діючими нормами.

Плеце внутрішньої пари сил z визначалось як відстань між рівнодіючою зусиль у стиснутій зоні бетону та рівнодіючою зусиль в розтягнутій арматурі елемента. Розбіжність теоретичних значень z в залежності від $\sigma_b - \epsilon_b$ практично не спостерігається, а в перерізі між тріщинами вона складає $\pm(2-3)$ см за рахунок впливу розтягнутого бетону. З ростом рівня навантаження відзначається збільшення значень z на 10-15 % за рахунок зменшення стиснутої зони бетону.

Як свідчить проведений аналіз, розтягнутий бетон значно впливає на параметри напружено-деформованого стану елемента. В зв'язку з цим була досліджена залежність відношення рівнодіючої розтягнутого бетону до рівнодіючої стиснутого бетону D_{bt}/D_b в залежності від рівня навантаження M/M_u . Вплив розтягнутого бетону в перерізі з тріщиною з ростом навантаження знижувався досить швидко, незалежно від вигляду залежності $\sigma_{bt} - \epsilon_{bt}$ і вже коли $M/M_u > (1,5 + 2,0)M_{огг, \beta}$ відношення D_{bt}/D_b складало 0,1...0,01, а в перерізі між тріщинами $D_{bt}/D_b = 0,2+0,4$. Кут нахилу площини зовнішньої сили при прийнятих в експерименті розмірах перерізу

незначно впливає на величину D_{bt}/D_b , як в перерізі з тріщиною, так і в перерізі між тріщинами.

Було проаналізовано коефіцієнт заповнення епюри напружень у стиснутому бетоні, який визначався за формулою

$$\psi_b = D_b / (A_b \sigma_{b, max}) = \int_{A_b} \sigma_b dA / (A_b \sigma_{b, max}). \quad (4)$$

Для елементів при косому згині, що мають стиснуту зону у вигляді трикутника, при $M = M_{ого}$ коефіцієнт $\psi_b = 1/3$, а не 0,5, як це прийнято для елементів при плоскому згині. Навіть на високих рівнях навантаження значення ψ_b не перебільшує 0,6, в той час, як СНиП 2.03.01-84* рекомендує приймати в цих випадках $\psi_b = 1$. Тому використання формул СНиП 2.03.01-84* для косоного згину призводить до занижених значень ξ .

Проведений аналіз деформативності залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині виявив, що при визначенні їх кривизни та жорсткості необхідно врахувати кут нахилу нейтральної лінії, який має різні значення в перерізах з тріщиною та між тріщинами. Це пояснюється тим, що положення нейтральної лінії при косому згині вздовж елемента має вигляд гіперболічної просторової кривої, а не параболічної, як при плоскому згині. Прогин (f_x , f_y та f) буде визначатися інтегральною усередненою твірною з кутом нахилу

$$\alpha_{pl} = \arctg f_x / f_y,$$

що лежить у межах від $\alpha_{m,ого}$ до $\alpha_{ого}$. Де $\alpha_{m,ого}$ - кут нахилу нейтральної лінії в перерізі між тріщинами, $\alpha_{ого}$ - кут нахилу нейтральної лінії в перерізі з тріщиною (рис. 2). Крім того, значення таких величин, як ξ , φ , та ін., відрізняється від тих, що рекомендує СНиП 2.03.01-84* при плоскому згині.

Для визначення середніх значень кута нахилу нейтральної лінії необхідно знати як граничні значення $\alpha_{m,ого}$ та $\alpha_{ого}$, які

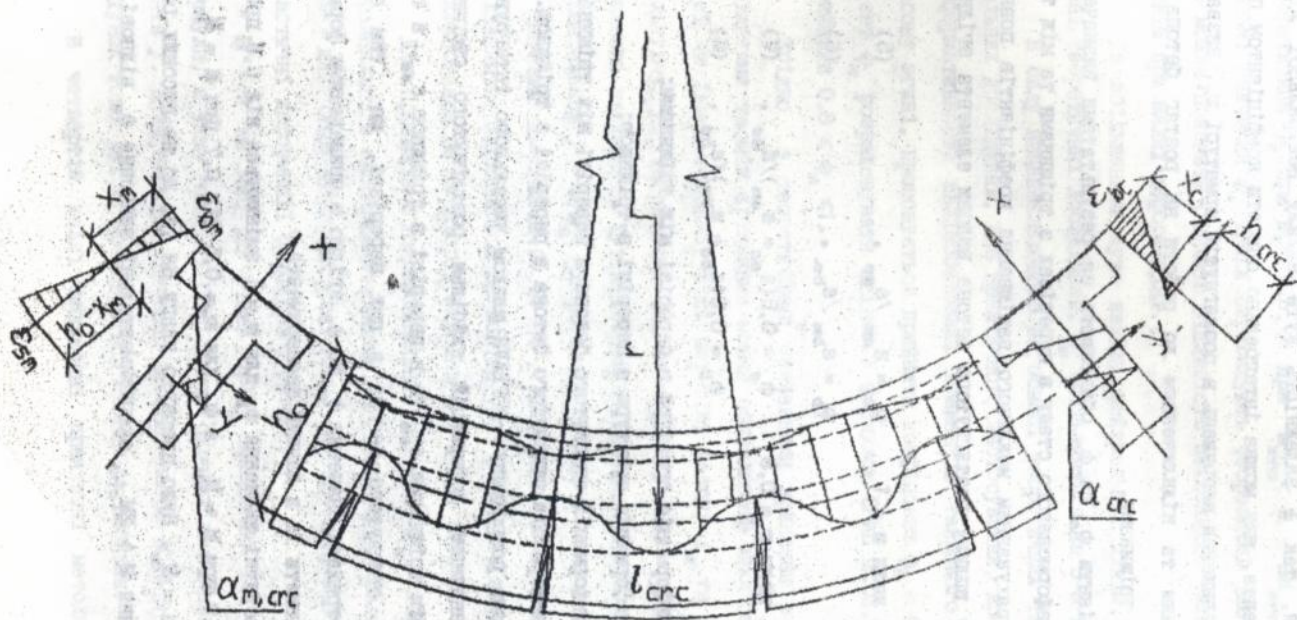


Рис. 2. Кривизна залізобетонного елемента таврового профілю на ділянці з тріщинами в розтягнутій зоні.

обчислюються за допомогою програми DEFTAVR для потрібних рівнів навантаження, так і залежність кута нахилу нейтральної лінії вздовж елемента, яку можна інтегрально описати коефіцієнтом повноти епюри зниження напружень в розтягнутій арматурі w_{τ} , визваного зчепленням та підключенням до роботи на розтяг бетону на ділянці між тріщинами.

Коефіцієнти ϕ_a та ϕ_b обчислюють за результатами визначення напружено-деформованого стану в перерізах з тріщинами та між тріщинами з урахуванням можливого варіювання коефіцієнтів повноти епюри зміну впливу розтягнутого бетону вздовж елемента згідно з формулами:

$$\text{- у випадку, коли } w_{\tau} = 1 \quad \phi_a = \epsilon_{sm} / \epsilon_{so} . \quad (5)$$

$$\phi_b = \epsilon_{bm} / \epsilon_{bo} . \quad (6)$$

$$\text{- у випадку, коли } w_{\tau} = 0,5 \quad \phi_a = 0,5(\epsilon_{so} + \epsilon_{sm}) / \epsilon_{so} . \quad (7)$$

$$\phi_b = 0,5(\epsilon_{bo} + \epsilon_{bm}) / \epsilon_{bo} . \quad (8)$$

де ϵ_{sm} - деформація арматури в перерізі між тріщинами;

ϵ_{so} - деформація арматури в перерізі з тріщиною;

ϵ_{bm} - деформація стиснутого бетону в перерізі між тріщинами;

ϵ_{bo} - деформація стиснутого бетону в перерізі з тріщиною.

Програма розрахунку DEFTAVR шляхом чисельного інтегрування визначає значення деформацій найбільш розтягнутого стержня в перерізі між тріщинами ϵ_{sm} та в перерізі з тріщиною ϵ_{so} , а також деформації стиснутого бетону в цих перерізах, що тим самим дозволяє отримати значення ϕ_a та ϕ_b згідно з приведеними формулами та порівняти їх з даними експеримента.

Теоретичні значення ϕ_a для $w_{\tau} = 1$ змінюються від 0,5 при $M = M_{ого}$ до 0,9 при $M = M_u$, а ϕ_a для $w_{\tau} = 0,5$ від 0,7 при $M = M_{ого}$ до 0,95 при $M = M_u$. Було звернуто увагу на те, що на високих рівнях навантаження $M > 2M_{ого}$ експериментальні значення ϕ_a відповідають

теоретичним ϕ_0 при $\psi_c = 0,5$, а при $M_{орс} < M < 2M_{орс}$ експериментальні значення ϕ_0 трохи перевищують теоретичні (на 10 - 15 %), що можна пояснити більшою мінливістю показників електротензодатчиків при малих деформаціях.

Із збільшенням кута нахилу нейтральної лінії, як свідчать дані теоретичних досліджень, ϕ_0 збільшується на 5-8 %.

В силу вищевикладеного на основі теоретичних та експериментальних досліджень, для практичного застосування, при розрахунках деформативності залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині, пропонується прийняти коефіцієнт $\phi_0 = 0,9$, а коефіцієнт ϕ_0 розраховувати згідно з формулою СНиП 2.03.01-84*, але приймати $0,8 \leq \phi_0 \leq 1$.

Згідно з теоретичними значеннями кривизни в перерізах з тріщинами та між тріщинами можна обчислювати прогини в напрямку тієї чи іншої головної вісі перерізу бетону f_x та f_y та їх результуючу f . Теоретичні та експериментальні графіки прогинів показані на рис. 3. Тут відображені залежності прогинів від рівня навантаження $f - M/M_u$, розраховані згідно з СНиП 2.03.01-84*, та із змінами до СНиП 2.03.01-84*, введеними наказом Держкомістобудівництва України від 30 жовтня 1995 р. № 211, затвердженим для використання на території України з 1 січня 1996 р.

Для прогинів в горизонтальній площині (f_x) значне зниження порівняльно з експериментальними та теоретичними залежностями $f - M/M_u$ для СНиП відбувається тому, що не враховується пружно-пластичні деформації стиснутого бетону.

В той же час до рівня $0,7M_u$ практично всі розрахункові формули, в тому числі і СНиП дають близькі значення повних прогинів f . СНиП занижує значення прогину на 30-40 % в основному за рахунок того, що не враховується прогин із площини.

В четвертій главі викладені практичні методи визначення

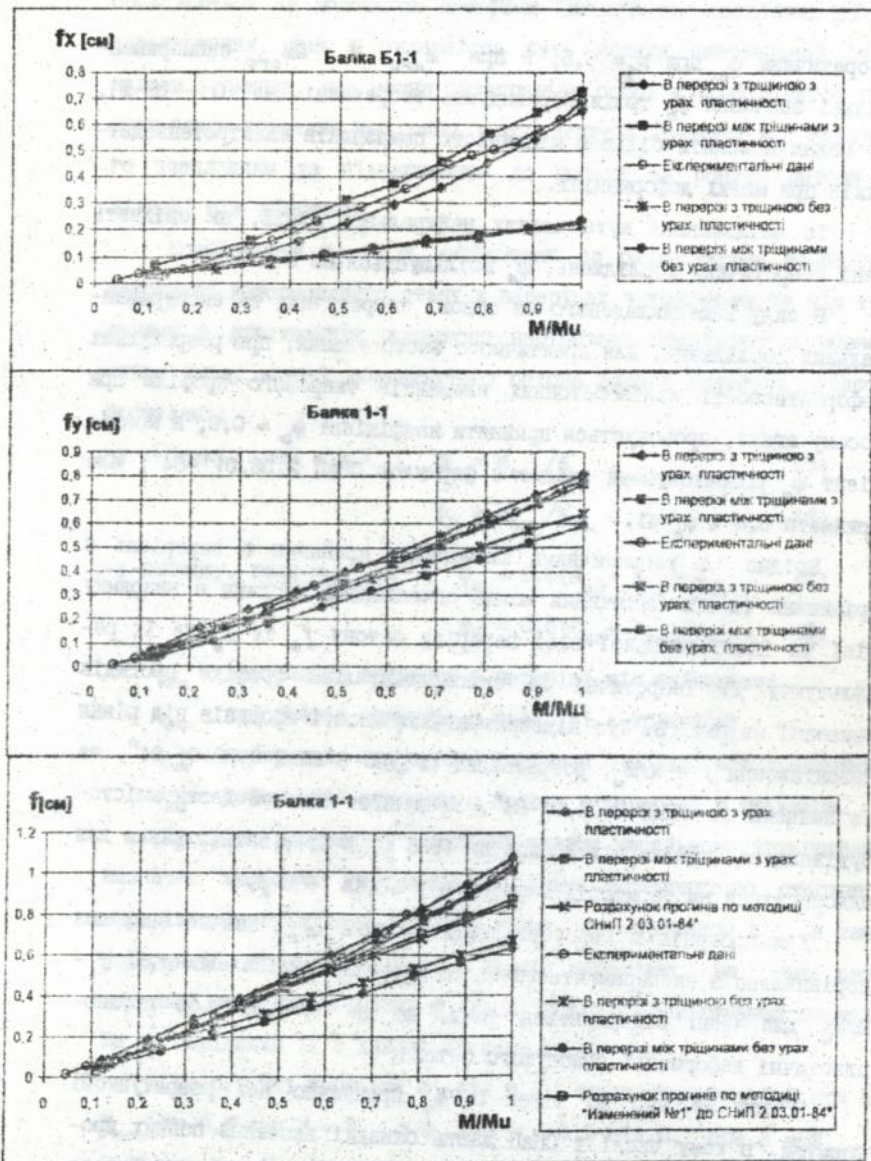


Рис.3. Експериментальна та теоретичні залежності повних прогинів та їх складових f_x та f_y від рівня навантаження M/M_u

прогинів залізобетонних елементів таврового профіля при косому згині від короткочасного навантаження, що розроблені на основі експериментально-теоретичних досліджень, а також проведено порівняння результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними статистичними методами. Як показав аналіз проведених досліджень, кут нахилу нейтральної лінії α_{p1} залежить від великої кількості факторів: кута нахилу площини дії зовнішніх зусиль, розмірів та форми перерізного перерізу елемента, армування, рівня навантаження та інші.

Щоб урахувати якомога більшу кількість факторів, була проведена статистична обробка за методом найменших квадратів експериментальних та теоретичних значень кута α_{p1} при кутах нахилу зовнішньої силової площини β в межах $0^\circ \dots 20^\circ$, як для тих, що найчастіше зустрічаються в практиці. При цьому в досліджених зразках прийняте співвідношення J_x/J_y від 2 до 10. На підставі цієї обробки були отримані формули, які найбільш просто відображають залежність $\text{tg } \alpha_{p1}$ від $\text{tg } \alpha_{o1}$ для залізобетонних елементів таврового профіля при косому згині. Найбільш доцільно використовувати в розрахунках залежність

$$\text{tg } \alpha_{p1} = 0,76 \text{ tg } \alpha_{o1}. \quad (9)$$

де α_{o1} - кут нахилу нейтральної лінії в пружній стадії роботи елемента

$$\alpha_{o1} = \text{arctg} (\text{tg } \beta_R \cdot J_{\text{ред},x} / J_{\text{ред},y}), \quad (10)$$

β_R - результуючий кут нахилу зовнішньої силової площини, який враховує кут нахилу головних осей інерції приведеного перерізу γ , що виникає при зміщенні центру ваги поздовжньої арматури від осі симетрії бетонного перерізу.

Порівняння експериментальних даних із значеннями α_{p1} , що отримані за результатами розрахунків згідно з програмою DEPTAVR показало, що відхилення середнього значення становить $-5,3 \%$

(коефіцієнт варіації $\nu = 13\%$), а для значень α_{p1} , обчислених за формулою (9), відхилення середнього становить $+3,8\%$ (коефіцієнт варіації $\nu = 18\%$).

Використовуючи обчислені значення кута α_{p1} , робочу висоту перерізу визначаємо за формулою:

$$h_o = (b_f' - b_{ov} - a_s) \sin \alpha_{p1} + h_{o1} \cos \alpha_{p1} \quad (11)$$

де h_{o1} - робоча висота перерізу при плоскому згині, a_s - відстань від центра ваги розтягнутої арматури до найбільш розтягнутого волокна бетону.

Використання формули (11) при розгляді дискретного розміщення розтягнутих арматурних стержнів, призводить до громіздких розрахунків. Тому пропонується дискретне розміщення стержнів змінювати на зосереджене в центрі ваги розтягнутої арматури. Показано, що для таврового перерізу похибка при визначенні жорсткості при такій заміні складає до 3% .

В дисертації також приведено алгоритм та приклад розрахунку кривизни та прогинів залізобетонних елементів таврового профілю, що зазнають косий згин. Виконано порівняльний аналіз статистичної обробки даних кривизни та прогинів, отриманих за результатами експерименту, теоретичних розрахунків за програмов DEFTAVR, за методиком СНІП 2.03.01-84*, за методиком "Изменений № 1 к СНІП 2.03.01-84*" та запропонованом практичном методиком. Результати аналізу приведені в табл. 1.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На експлуатаційних рівнях завантаження вигляд функцій, що описують залежність напружень від деформацій в бетоні, не суттєво впливає на значення параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині.
2. На усьому діапазоні завантаження розтягнутий бетон на ділянці між тріщинами вагомо впливає на зміну значення параметрів напру-

Таблиця 1

Порівняння експериментальних та теоретичних значень прогинів.

Шифр аразка	Рівень навантаження	Експеримент			Результати обчислювань за програмою DEFTAVR			СНиП 2 03.01-84*	Изменение №1 к СНиП 2 03.01-84*	Практична методика		
		f_x	f_y	f	$f_x/f_{\text{теор.}}$	$f_y/f_{\text{теор.}}$	$f/f_{\text{теор.}}$	$f/f_{\text{теор.}}$	$f/f_{\text{теор.}}$	$f_x/f_{\text{теор.}}$	$f_y/f_{\text{теор.}}$	$f/f_{\text{теор.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Б 1-1	0,4Мн	0,19	0,29	0,35	0,895	1,000	0,943	0,870	0,849	1,008	0,832	0,880
Б 1-2		0,22	0,38	0,44	1,068	0,882	0,930	0,788	0,813	1,480	0,656	0,932
Б 1-3		0,08	0,17	0,19	0,808	1,000	0,989	1,039	0,891	1,131	1,093	1,082
Б 2-1		0,32	0,43	0,54	0,909	0,958	0,933	0,917	0,952	0,906	0,909	0,901
Б 2-2		0,19	0,44	0,48	0,821	0,977	0,954	1,031	1,071	1,007	0,974	0,978
Б 2-3		0,34	0,32	0,46	0,903	0,975	0,948	0,700	0,772	0,699	0,830	0,877
Б 3-1		0,28	0,29	0,41	0,907	0,993	0,937	0,405	0,922	1,120	0,893	0,992
Б 3-2		0,16	0,41	0,44	0,813	0,802	0,889	0,456	1,040	1,013	0,881	0,900
Б 3-3		0,18	0,27	0,32	0,867	0,967	0,975	0,413	0,919	0,900	0,795	0,841
Середнє арифметичне відношення					0,888	0,962	0,944	0,735	0,925	1,029	0,851	0,909
Коефіцієнт варіації					0,090	0,044	0,030	0,349	0,103	0,207	0,178	0,127
Б 1-1	0,6Мн	0,35	0,47	0,58	0,943	0,957	0,966	0,853	0,924	0,871	0,818	0,845
Б 1-2		0,36	0,80	0,70	1,028	1,133	1,100	0,706	0,738	1,266	0,581	0,820
Б 1-3		0,10	0,25	0,27	0,930	1,040	1,037	1,060	1,063	1,402	1,181	1,211
Б 2-1		0,49	0,82	0,79	0,955	0,963	0,961	0,854	0,883	0,803	0,855	0,836
Б 2-2		0,35	0,71	0,79	0,843	0,982	0,958	0,946	0,978	0,781	0,862	0,849
Б 2-3		0,52	0,42	0,87	0,813	1,074	0,922	0,731	0,767	0,781	0,821	0,795
Б 3-1		0,40	0,37	0,54	0,805	1,008	0,813	0,617	0,881	1,097	0,980	1,054
Б 3-2		0,21	0,57	0,81	0,819	0,895	0,870	0,603	1,001	1,031	0,888	0,910
Б 3-3		0,20	0,35	0,41	1,010	1,048	1,007	0,524	0,944	1,146	0,868	0,929
Середнє арифметичне відношення					0,905	1,011	0,971	0,788	0,920	1,020	0,873	0,918
Коефіцієнт варіації					0,098	0,070	0,071	0,229	0,117	0,224	0,180	0,147

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Б 1-1	0,8Ми	0,50	0,61	0,79	1,040	0,967	1,000	0,808	0,872	0,783	0,809	0,797
Б 1-2		0,59	0,99	1,04	0,961	1,030	1,125	0,662	0,710	1,104	0,503	0,788
Б 1-3		0,17	0,39	0,43	0,824	0,949	0,907	1,076	1,047	0,990	0,908	0,912
Б 2-1		0,81	0,98	1,30	0,996	1,002	0,978	0,715	0,734	0,605	0,740	0,895
Б 2-2		0,44	0,84	0,94	0,839	0,980	0,960	0,911	0,937	0,808	0,947	0,927
Б 2-3		0,67	0,55	0,87	0,833	1,024	0,911	0,746	0,717	0,827	0,855	0,835
Б 3-1		0,75	0,60	0,97	0,961	0,972	0,956	0,603	0,780	0,786	0,811	0,788
Б 3-2		0,41	0,73	0,84	0,958	1,016	1,002	0,738	0,999	0,730	0,906	0,909
Б 3-3		0,31	0,46	0,55	0,861	0,837	0,922	0,695	0,985	0,959	0,857	0,897
Середнє арифметичне відношення					0,920	0,966	0,973	0,775	0,865	0,850	0,815	0,839
Коефіцієнт варіації					0,089	0,034	0,069	0,183	0,154	0,154	0,177	0,093
Загальне середнє арифметичне відношення					0,904	0,966	0,963	0,759	0,903	0,906	0,844	0,886
Загальний коефіцієнт варіації					0,091	0,050	0,057	0,252	0,124	0,198	0,178	0,123

жено-деформованого стану залізобетонного елемента при косому згині.

Кут нахилу нейтральної лінії в перерізі з трілинов відмінний від кута нахилу в перерізі між тріщинами. Він залежить від рівня завантаження, кута нахилу зовнішньої силової площини та розташування арматури.

3. Якщо є можливість автоматизованого проектування, розрахунок деформативності залізобетонних елементів при косому згині, рекомендується здійснювати, використовувачи запропоновану програму DEFTAVR, що дає достатньо високу точність результатів розрахунку.

4. Положення нейтральної лінії та абсолютну висоту стиснутої зони за результатами експерименту можливо визначити досить просто, використовувачи формули (1) та (2).

5. Коефіцієнти ϕ_a та ϕ_b пропонується обчислювати згідно з пропозиціями викладеними в третій главі, а для практичних розрахунків ϕ_a можна обчислювати за формулою СНиП 2.03.01-84*, але при цьому $0,8 \leq \phi_a \leq 1$ та $\phi_b = 0,9$.

6. На деформативність залізобетонних елементів таврового профілю, що зазнають косий згин, вагомо впливає кут нахилу результуючої силової площини, рівень завантаження та співвідношення розмірів перерізу.

7. Розрахунок деформативності залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині рекомендується виконувати згідно з методикою діючих будівельних норм, враховувачи викладені в даній роботі пропозиції.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Горик А.В., Павликов А.Н., Зерник Е.В. Метод определения формы скатой зоны бетона в элементах прямоугольного сечения, работающих на косоу изгиб. // Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строи-

тельную практику: Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. - Полтава, 1989.-Часть I. с. 61.

2.Павликов А.Н., Семко А.В., Зерник Е.В., Ворона А.А. Исследование трещиностойкости, ширины раскрытия трещин и жесткости косозгибаемых железобетонных элементов произвольного сечения.//Материалы XXII Международной конференции молодых ученых в области бетона и железобетона.-Иркутск, 1990.-с.71-72.

3.Павликов А.Н., Семко А.В., Зерник Е.В. Разграничение случаев расчета по прочности косозгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения//Снижение материалоемкости и трудовых затрат в строительстве: Сборник научных трудов-К:УМК ВО, 1991.-с.40-47.

4.Павликов А.М., Зерник О.В. До розрахунку деформацій звичайних косозгинаємих елементів таврового перерізу.//Тези доповідей 46 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів інституту.-Полтава: Полтавський ІБІ, 1994.- Ч.3, с. 12.

5.Зерник О.В. Результати експериментальних досліджень деформацій косозгинаємих елементів таврового перерізу.//Тези доповідей 47 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету.-Полтава: Полт.ТУ, 1995. -с. 18.

6.Зерник О.В. Визначення експериментальних значень коефіцієнтів φ_s та φ_b для косозгинаємих елементів таврового перерізу.// Тези доповідей 48 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. - Полтава: Полт.ТУ, 1996. -Ч.3, с. 18.

7.Зерник О.В. Визначення відносної висоти стиснутої зони при розрахунку по деформаціях косозгинаємих елементів таврового перерізу. // Тези доповідей 48 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів універси-

- тету. - Полтава: Полт.ТУ, 1996. - Ч.3, с. 19.
- 8.Павліков А.М., Семко О.В., Зерник О.В. Вплив технологічних недосконалостей при виготовленні залізобетонних балок на їх деформативність. //Прогресивные технологии и машины для производства стройматериалов, изделий и конструкций: Тезисы первой всеукраинской научно-практической конференции. -Полтава: Полт. ТУ, 1996. - с. 179-180.
- 9.Семко А.В., Зерник Е.В., Спириг В.В. О расчете надежности косоизгибаемых железобетонных элементов. //Коммунальное хозяйство городов: Республиканский межведомственный научно-технический сборник - К.: Техніка, 1997.- с. 158 - 160
- 10.Зерник О.В. Експериментальний та чисельний аналіз напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврового профілю при косому згині. - Полтава.1997. - 29 с.:іл.- депоновано в УкрІНТЕІ.

АННОТАЦІЯ

Зерник Е.В. Напряженно-деформированное состояние косоизгибаемых железобетонных элементов таврового профиля при эксплуатационных уровнях загрузки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения, Полтавский технический университет, Полтава, 1997 г.

Проведены экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния косоизгибаемых железобетонных элементов таврового профиля, направленные на решение задач расчета по предельным состояниям второй группы. Для анализа деформативности разработана и реализована для ЭВМ программа, моделирующая напряженно-деформированное состояние нормального сечения при любых углах наклона плоскости действия изгиба и при различных функциях, описывающих зависимость напряжений от деформаций в сжа-

том и растянутом бетоне. Результаты расчета сравнивались с данными экспериментов. Разработаны приближенные методы расчета жесткости, кривизны и прогибов косоизгибаемых железобетонных элементов таврового профиля, позволяющие с достаточной степенью точности оценивать деформативность конструкций.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, косоизгиб, прогиб, жесткость, деформативность.

ABSTRACT

Zernyuk E.V. Stressed deformed state of reinforced concrete structures of T-shaped under biaxial bending by operating table loading. Dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences. Speciality 05.23.01 - Building Structures, Buildings and Constructions. Poltava Technical University. Poltava, 1997.

Experimental and theoretical investigations of stressed deformed state of biaxial bending reinforced concrete members of T-shaped, have been done for solving the problems of calculation-regarding limite states of second group. A computing programme for deformation analysis has been worked out. This programme simulates the strength of cross section for any angle of bending surface at various functions giving the stress dependence on deformation in stressed and stretched concrete. The computation results have been compared to those of the experimental ones. Approximate methods of stiffness and bendings of unsymmetrical bending reinforced concrete elements of T-shaped, allowing to calculate the deformation of structures with a sufficient degree of accuracy, are suggested.

Key words: stress and deformation state, biaxial bend (unsymmetrical bending), bending, stiffness, deformation.

Підписано до друку 25.04.97р. Формат 60/84 1/16. Папір друкарський. Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1. Замовлення №515, тираж 100 прим.

Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 103.

435440

AB 37.617