

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ВАХНЕНКО Віктор Петрович

**ЖОРСТКІСТЬ І ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І КОНСТРУКЦІЙ,
ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА КОСИЙ ЗГИБ**

Спеціальність 05.23.01 - Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Полтава - 1997



Дисертацією є рукопис
Робота виконана у Полтавському технічному університеті

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Стороженко Леонід Іванович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шагін Олександр Львович

кандидат технічних наук, доцент
Яровий Михайло Луквич

Провідна організація: УкрНДІагропроект, м. Київ

Захист відбудеться "13" травня 1997 року о 13⁰⁰ годині
на засіданні спеціалізованої ради Д 25.01.02 по спеціальності
"Будівельні конструкції, будівлі та споруди" при Полтавському
технічному університеті за адресою:
314601, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 234.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотечі Полтавського
технічного університету.

Автореферат розісланий "10" квітня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради
кандидат технічних наук, доцент

Семко О. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальність теми. Залізобетон є і на найближчу перспективу залишиться одним із основних будівельних матеріалів. З нього зводиться переважна більшість несучих конструкцій будівель і споруд. Дуже багато з них працює на згин. Причому площина дії згинального моменту в багатьох випадках не співпадає з головною віссю перерізу, тобто має місце косий згин. Вивченням такого напружено-деформованого стану та правил проектування косозігнутих залізобетонних конструкцій чи їх елементів вчені й інженери займаються давно. В цьому напрямку вже є значні досягнення. Проте питання тріщиностійкості та жорсткості поки що вивчені недостатньо. Це особливо стосується елементів з тавровими і двотавровими поперечними перерізами. Отже тема, що розглядається, є актуальною і важливою.

Мета роботи полягає в тому, щоб:

- уточнити запропонований раніше для розрахунків косозігнутих залізобетонних елементів прямокутного перерізу по утворенню нормальних тріщин і по деформаціях коефіцієнт приведення геометричних характеристик пружного перерізу до таких характеристик пружнопластичного приведенного перерізу, а також установити такий коефіцієнт для таврового і двотаврового перерізів;

- розробити методи розрахунку залізобетонних елементів різних поширених перерізів, що працюють на косий згин, по:

- утворенню нормальних тріщин;
- розкриттю нормальних тріщин;
- деформаціях.

Автор захищає:

- результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних елементів, що працюють на косий згин, у стадіях I, I-a і II;

- рекомендації щодо врахування повної діаграми деформування бетону і визначення модуля його деформації на різних рівнях навантаження;

- рекомендації щодо обчислення і використання у розрахунках геометричних характеристик пружнопластичного приведенного перерізу;

- результати дослідження впливу звисів полиць таврових і двотаврових перерізів на роботу косозігнутих елементів;

- методи розрахунку косозігнутих елементів різних реальних перерізів по утворенню і розкриттю нормальних тріщин і по деформаціях.

Наукова новизка роботи полягає в тому що:

- запропонована методика врахування повної діаграми деформування бетону і фактичного значення модуля його деформації на різних рівнях завантаження при оцінці тріщиностійкості та жорсткості косозігнутих елементів

- досліджені характер роботи звисів полиць таврових і двотаврових перерізів при косому згині і їх вплив на жорсткість і тріщиностійкість елементів;

- уточнена методика визначення геометричних характеристик пружнопластичного приведеного перерізу прямокутної форми через аналогічні характеристики пружного перерізу; розроблена така методика для таврових і двотаврових перерізів;

- розроблені методи розрахунку косозігнутих залізобетонних елементів різних перерізів, що використовуються у практиці, по:

- утворенню нормальних тріщин;

- розкриттю нормальних тріщин;

- деформаціях на будь-якій стадії напружено-деформованого стану.

Достовірність одержаних результатів і запропонованих методів розрахунку забезпечена достатньою кількістю експериментів з використанням сучасної виміральної апаратури і підтверджена порівнянням теоретичних значень шуканих величин, одержаних за цими методами, з експериментальними їх значеннями.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані методи дозволять проектувальникам з достатньою точністю розраховувати залізобетонні елементи прямокутного, таврового і двотаврового перерізів, що працюватимуть на косий згин, по утворенню і розкриттю нормальних тріщин і по деформаціях. Це обумовить більш повне використання арматури і бетону в елементах і тим забезпечить їх економію при достатній надійності конструкцій.

Реалізація результатів роботи. Запропоновані методи розрахунку залізобетонних елементів, що працюють на косий згин, по утворенню і розкриттю нормальних тріщин і по деформаціях використані в Українському державно-кооперативному проектно-випробувальному і науково-дослідному об'єднанні "УкрНДІагропроект"

при проектуванні сільськогосподарських споруд.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були загалом схвалені на Республіканській конференції "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в сельскохозяйственное строительство" та на наукових конференціях Полтавського технічного університету.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 9 наукових роботах.

Обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох глав, висновків і пропозицій, списку використаної літератури та додатку. Загальний обсяг роботи складає 158 стор., у тому числі 136 саме тексту, 41 рисунок, 7 таблиць та 203 позиції літературних джерел.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладені обґрунтування актуальності проведених досліджень та загальна характеристика роботи.

Перша глава присвячена окресленню області використання залізобетонних конструкцій, які при експлуатації зазнають дії косою згину, та огляду і аналізу джерел, що є у вітчизняній та зарубіжній літературі з порушених і суміжних питань.

Початок вивченню роботи залізобетонних конструкцій на косий згин покладений в 30-х роках. Серед вчених, що присвячували свої дослідження цьому питанню, слід назвати В.М.Байкова, С.П.Глазера, Я.М.Левадного, М.І.Смоліна, О.М.Топкого, G.Washa, H.Topfer та багатьох інших. Проте найбільш послідовні і всебічні дослідження складних деформацій у залізобетоні взагалі і косою згину зокрема були започатковані М.С.Торяником, проводились і проводяться в Полтавському технічному університеті його співпрацівниками і аспірантами В.І.Бабичем, П.Ф.Вахненком, О.В.Горіком, М.М.Губієм, В.І.Клименком, Є.В.Клименком, В.М.Конделем, О.М.Кузьменком, В.В.Добрянською, А.М.Павліковим, О.В.Редкіним, С.І.Роговим, М.Є.Рогозою, Ю.М.Руденком, Л.І.Сердюком, О.В.Семком, О.А.Харченком, О.А.Шкурупієм, М.Л.Яровим та іншими.

В результаті загальних зусиль проектувальники одержали практично досить надійну методику розрахунку міцності (несучої здатності) нормальних перерізів залізобетонних елементів, що працюють на косий згин і косою позакентрове стиснення. Ця методика

внесена і в діючі норми проектування. Є ґрунтові розробки для розрахунків міцності похилих перерізів.

Значні дослідні виконані і стосовно жорсткості та тріщиностійкості косозігнутих елементів. Проте ці дослідні поки що не можна вважати завершеними, оскільки вони з одного боку стосуються окремих форм перерізів, видів бетону чи інших параметрів, що впливають на досліджувані властивості елементів, а з другого запропоновані в них методи досить складні і трудомісткі. До цього слід додати, що методика розрахунку жорсткості і тріщиностійкості залізобетонних конструкцій, які працюють на значно простіший вид деформацій - плоский згин (окремий вид косоого), - запропонована діючими нормами, також не є простою. А відомо, що збільшення і ускладнення обчислень при визначенні тієї чи іншої величини призводять до накопичення погрішності, яка практично поглинає ті уточнення, задля яких вони були запропоновані. Отже уточнення за рахунок введення великої кількості додаткових коефіцієнтів не завжди виправдані.

Таким чином, поки що є багато питань, що стосуються напружено-деформованого стану косозігнутих залізобетонних елементів, особливо в стадіях, покладених в основу розрахунків їх жорсткості і тріщиностійкості, які потребують додаткових досліджень. Є необхідність і в розробці таких методів цих розрахунків, які б найбільш повно враховували дійсний напружений стан елемента, охоплювали всі випадки форм перерізів, видів бетону, армування, кутів нахилу силової площини і водночас були б порівняно простими при реалізації.

У другій главі описані конструкція та технологія виготовлення дослідних зразків, конструкція установки для їх випробування, а також методика проведення експериментів.

В ході вирішення поставлених задач були використані дослідні дані, що є в літературі. Для одержання даних, яких не вистачає, виготовлені і випробувані додаткові зразки балок. Вони були поділені на три серії.

Перша серія із 16 зразків довжиною 4 м з розмірами поперечного перерізу 16×24 см призначалась для дослідження напружено-деформованого стану косозігнутих елементів прямокутного перерізу з різним рєсташуванням поздовжньої робочої арматури в них.

Друга серія складала 28 зразків таврового перерізу довжиною

3 м. Шістнадцять з них мали ширину полиці 19 см і висоту перерізу 26 см, а в 12-ти ці значення були однакові, вони дорівнювали 21 см. Розміри звисів різні. Ця серія призначалась для дослідження впливу звисів на роботу елементів.

Третя серія із 28 зразків довжиною 2 м з розмірами прямокутного перерізу 12×14 см поділена на 5 груп з різним характером зчеплення між арматурою і бетоном. Вона призначалась для дослідження характеру роботи арматури і бетону на ділянках між тріщинами.

Фізико-механічні характеристики бетону експериментальних зразків визначались шляхом випробування контрольних кубиків і призм, які заготовлялись разом із зразками. Для визначення межі текучості арматурної сталі, тимчасового опору при розтягненні та модуля її пружності від кожного стержня відрізували зразки, які випробували ступенево-зростаючим навантаженням на пресі УІМ-50.

Для визначення деформацій арматури і бетону в потрібних місцях зразків окремо чи ланцюжком наклеювались електротензорезистори.

Випробування зразків здійснювались на спеціальній установці. В ході проведення експериментів за допомогою тензорезисторів, індикаторів годинникового типу, прогиномірів, глинометрів та лупи з поділками велись усі необхідні вимірювання, а також фіксація моменту утворення нормальних тріщин на всіх рівнях ступеневого навантаження.

У третій главі викладені аналіз результатів експериментів та теоретичні дослідження питань, які стосуються жорсткості і тріщиностійкості залізобетонних елементів, що зазнають плоского і косого згину.

Для розробки сучасних методів розрахунків залізобетонних конструкцій, особливо їх жорсткості і тріщиностійкості, суттєве значення має врахування пружнопластичних властивостей бетону, які досить вдало характеризуються кривою залежності $\sigma_1 - \epsilon_1$, що має висхідну і низхідну гілки. В літературі є багато пропозицій щодо математичного опису цієї кривої. В наших дослідженнях для цього прийняті такі залежності:

на висхідній гілці, тобто при $0 \leq \epsilon_1 \leq \epsilon_{AR}$

$$\sigma_1 = C_1 \epsilon_1 + C_2 \epsilon_1^2 + C_3 \epsilon_1^3; \quad (1)$$

на низхідній гілці, тобто при $\epsilon_{AR} < \epsilon_1 \leq \epsilon_{BR}$

$$\sigma_1 = D_0 + D_1 \varepsilon_1 + D_2 \varepsilon_1^2. \quad (2)$$

Тут $C_1, C_2, C_3, D_0, D_1, D_2$ - коефіцієнти і параметри, одержані експериментальним шляхом. Зокрема величина $C_1 = E_1$ - початковий модуль деформацій. Решта величин мають значення

$$C_2 = \frac{-2E_1 \varepsilon_{BR} + 3R_m}{\varepsilon_{BR}^2}; \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{E_1 \varepsilon_{BR} - 2R_m}{\varepsilon_{BR}^2}; \quad (4)$$

$$D_0 = R_m (1 - 0,15 \frac{\varepsilon_{BR}^2}{d}); \quad (5)$$

$$D_1 = 0,3 R_m \frac{\varepsilon_{BR}}{d}; \quad (6)$$

$$D_2 = -0,15 \frac{R_m}{d}; \quad (7)$$

$$d = (\varepsilon_m - \varepsilon_{BR})^2. \quad (8)$$

Величини ε_{BR} і ε_m означають відповідно граничну деформативність бетону при стисненні на межі міцності та кінцеву його деформативність на кінці низхідної гілки. Їх визначають за формулами:

$$\varepsilon_{BR} = A_0 + A_1 R_m + A_2 R_m^2; \quad (9)$$

$$\varepsilon_m = B_0 + B_1 R_m. \quad (10)$$

Коефіцієнти і параметри, що входять у ці формули, мають значення: $A_0 = 3,0 \times 10^{-4}$; $A_1 = 7,2 \times 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$; $A_2 = -6,4 \times 10^{-7} \text{ МПа}^{-2}$; $B_0 = 4,8 \times 10^{-3}$; $B_1 = -3,5 \times 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$.

Приведені формули одержані на основі досліджень стиснених елементів. Експерименти над косозігнутими зразками показали, що в цьому випадку значення ε_{BR} і ε_m більші, ніж при стисненні і залежать від кута нахилу силової площини β , тобто $\varepsilon_{BR,\beta} = k_{BR} \varepsilon_{BR}$ і $\varepsilon_{m,\beta} = k_m \varepsilon_m$, де

$$k_{BR} = 1,2(1 + 0,2 \sin 2\beta); \quad (11)$$

$$k_m = 1,5(1 + 0,2 \sin 2\beta). \quad (12)$$

У розрахунках жорсткості і тріщиностійкості важливо також

знати січний модуль деформації бетону на будь-якому рівні його завантаження у межах висхідної гілки. Цей модуль можна одержати із рівняння (1), поділивши його на ε_s . Після нескладних перетворень і деяких спрощень одержимо

$$E_s = [1 - (1 - 0,02R_{sn}) \frac{\sigma_s}{R_{sn}}] E_s \quad (13)$$

Вираз у квадратних дужках є не що інше, як коефіцієнт пружності

$$\nu = 1 - (1 - 0,02R_{sn}) \frac{\sigma_s}{R_{sn}} \quad (14)$$

Для розтягнутого бетону

$$E_{sn} = (1 - 0,5 \frac{\sigma_{sn}}{R_{sn}}) E_s \quad (15)$$

В теорії залізобетону поняття приведеного перерізу існує давно. Проте воно передбачає пружну роботу бетону і сталість коефіцієнта приведення $\alpha = E_s / E_c$. В дійсності модуль E_s залежить від напруження σ_s , тому кожне волокно перерізу має різний модуль і переріз повинен бути приведеним до бетону на певному рівні завантаження, зручніше при $\sigma_s = 0$. В цьому випадку до нього приводиться не тільки арматура, але і бетон інших волокон, які зазнають напруження $\sigma_c \neq 0$. Коефіцієнт приведення для таких волокон $\alpha_c = \gamma = E_s / E_c$. Оскільки цей коефіцієнт залежить не тільки від положення волокон бетону, але і від рівня завантаження елемента, то параметри приведеного перерізу на різних стадіях напружено-деформованого стану будуть неоднаковими. Ці параметри характеризують не тільки геометрію перерізу, а і рівень його завантаження. Їх визначення проводиться шляхом інтегрування. Наприклад, осьовий момент інерції пружнопластичного прямокутного приведенного перерізу в стадії II при $\beta = 0$ буде

$$I_{x,x} = \int_0^{\eta} \alpha_c b x^3 dx + \int_{\eta}^1 \alpha_s b x^3 dx + \alpha A_s (\eta - x)^2 \quad (16)$$

Дослідження параметрів пружнопластичного приведенного перерізу на всіх стадіях напружено-деформованого стану показали, що нейтральна лінія співпадає з центром ваги приведенного перерізу не тільки в пружній, але і в пружнопластичній стадії. Використання цієї обставини допомагає спростити і уточнити методи розрахунків.

В усіх розрахунках залізобетонних елементів, як правило, використовуються параметри, що визначають положення нейтральної лінії. При косому згині їх два: висота стисненої зони x і кут нахилу нейтральної лінії γ . В окремому випадку косоного згину - плоскому згині $\gamma=0$. Дослідження показали, що висота x на протязі всієї стадії I аж до самої стадії I-a лишається постійною. В стадії II значення x залежить від процента поздовжнього армування μ : при $\mu=0,0133$ це значення лишається постійним, при $\mu<0,0133$ x зменшується, а при $\mu>0,0133$ - збільшується.

Кут нахилу нейтральної лінії γ , як показали досліди, в ході завантаження порівняно з початковим (у пружній стадії) дещо розвертається в той чи інший бік. Це залежить від співвідношення розмірів перерізу, кута нахилу силової площини, розміщення арматури по перерізу і пояснюється необхідністю збереження паралельності між внутрішньою і зовнішньою силовими площинами. Проте його зміна або, інакше, різниця між кутом γ_0 у пружній стадії, який легко визначити за правилами опору матеріалів, і кутом γ_1 в граничному стані за міцністю, який визначається умовами рівноваги, незначна. Тому проміжне, тобто в стадії II, значення γ можна визначити шляхом інтерполяції у відповідності з рівнем завантаження.

З кутом нахилу нейтральної лінії γ тісно пов'язаний кут нахилу площини згину γ_0 . Експериментальні значення переміщень перерізів у двох взаємно перпендикулярних напрямках визначались двома шляхами: прямим - прогиномірами і шляхом їх обчислення через середні деформації розтягнутої арматури і стисненого бетону. Це дало змогу досить достовірно знайти дійсне значення переміщень перерізу, а отже і шуканий кут нахилу. Досліди показали, що як і в елементах із пружних матеріалів між згаданими кутами зберігається рівність, тобто $\gamma_0 = \gamma$.

На напружено-деформований стан залізобетонних елементів, їх жорсткість і тріщиностійкість суттєво впливає зчеплення арматури з бетоном і робота бетону між тріщинами. Дослідження цього питання на зразках третьої серії показали, що роботу розтягнутого бетону між тріщинами можна враховувати за допомогою коефіцієнта $\psi_1=0,9$, а нерівномірність деформацій стисненого бетону між тріщинами - коефіцієнта $\psi_2=0,7$.

Аналіз дослідних даних показав також, що на величину прогину

впливає багато факторів. Одні з них очевидні і можуть бути легко враховані: розміри перерізу і проліт елемента, кількість, розміщення і клас арматурної сталі поздовжніх стержнів, клас бетону, наявність попереднього напруження. Ступінь і характер впливу інших - кути нахилу силової площини і нейтральної лінії, робота розтягнутого бетону між і над тріщинами, нерівномірність деформації стисненого бетону, його пружнопластичні властивості тощо - потребують додаткового вивчення. Всі ці фактори вносять до узагальненого параметра, яким є жорсткість перерізу B_p , у формулі

$$f = \frac{1}{\rho} s l^2 = \frac{M}{B_p} s l^2. \quad (17)$$

Цю формулу можна представити в формі визначення жорсткості

$$B_p = \frac{M}{f} s l^2 \quad (18)$$

і використати для обчислення експериментального її значення.

З іншого боку жорсткість перерізу на будь-якому рівні завантаження можна подати в частках пружної жорсткості B_e за допомогою коефіцієнта приведення γ_m , тобто

$$B_p = \gamma_m B_e. \quad (19)$$

Цей коефіцієнт на різних рівнях завантаження буде, звичайно, неоднаковим, тобто він залежить від співвідношення згинального моменту M в стадії, що розглядається, до граничного моменту M_u (M/M_u) і змінюється від максимального його значення $\gamma_m = \gamma_m$ в стадії I-а до мінімального $\gamma_m = \gamma_m$ в стадії III.

Тут треба нагадати, що і на величину моменту тріщиноутворення M_{cr} , як і на прогин чи жорсткість, також впливає багато факторів. У цьому випадку вони враховуються при визначенні пружнопластичного опору приведенного перерізу в стадії I-а $W_{пл}$. на шляху до визначення якого стоять обчислення координат центра ваги пружнопластичного приведенного перерізу та його моменту інерції. Ці обчислення надто трудомісткі і складні. Закладати їх у методику розрахунку не варто. Тому такі обчислення у загальному вигляді доцільно провести на стадії досліджень.

Виходячи з того, що нейтральна лінія проходить через центр ваги пружнопластичного приведенного перерізу, положення якого до стадії I-а включно лишається незмінним, можна знайти його

координати, потім визначити момент інерції у напрямку площини згину і шуканий момент опору цього перерізу по розтягнутому ребру в цій стадії $W_{ред}$.

Аналогічним шляхом можна знайти момент опору пружного перерізу $W_{пел}$. Поділивши перше значення на друге, одержимо коефіцієнт $\gamma_{ор} = W_{ред} / W_{пел}$, який після перетворень і деяких незначних спрощень визначається за формулою

$$\gamma_{ор} = [1,7(1+3\alpha\mu) \frac{1}{k \sin \beta + \cos \beta} - \frac{P}{R_{ст}bh}][1 - (\varphi + \varphi) \cos \beta], \quad (20)$$

$$\text{де} \quad \varphi = \frac{0,1(b, -b)h,}{bh}; \quad (21)$$

$$\varphi = \frac{0,1(b, -b)h,}{bh}. \quad (22)$$

Як бачимо, цей коефіцієнт враховує практично всі фактори, які впливають на момент опору пружнопластичного приведенного перерізу $W_{ред}$: його форму і розміри, процент армування, кут нахилу силової площини, наявність попереднього напруження, пружнопластичні властивості бетону тощо. Досліди показали, що теоретичні значення цього коефіцієнта близько співпадають з його дослідними значеннями, причому ці значення лишаються незмінними на протязі всієї стадії I до стадії I-а включно. Це і є той коефіцієнт, який буде враховуватись і при визначенні жорсткості перерізу в стадії I-а, оскільки в обох випадках (при визначенні $W_{ред}$ і $B_{пел}$) враховуються одні і ті ж фактори та однаковий модуль деформації бетону.

Таким чином, пружнопластичний момент опору приведенного перерізу в стадії I-а можна визначити за значно спрощеною формулою

$$W_{ред} = \gamma_{ор} W_{пел}. \quad (23)$$

На основі обробки експериментальних даних отримано значення коефіцієнта $\gamma_{ор}$ у граничному стані за міцністю, тобто

$$\gamma_{ор} = \frac{M \cdot h_0}{E_r I_{ред} \left(\frac{R_{ст}}{E_r} + \epsilon_{ст} \right)}. \quad (24)$$

Досліди також показали, що зміна коефіцієнта $\gamma_{ор}$ на протязі

всієї стадії II носить криволінійний характер. Аналітичну його залежність можна записати у вигляді виразу

$$\gamma_{\text{ред}} = \gamma_{\text{ст}} - (\gamma_{\text{ст}} - \gamma_0) \sqrt{\frac{M - M_{\text{ст}}}{M_0 - M_{\text{ст}}}} \quad (25)$$

Таким чином, визначення жорсткості пружнопластичного приведенного перерізу на будь-якому рівні завантаження (19) і моменту його опору в стадії I-a (23) значно спрощується.

Четверта глава присвячена викладенню практичних методів розрахунку косозігнутих залізобетонних елементів по утворенню і розкриттю нормальних тріщин і по деформаціях.

Значення згинального моменту $M_{\text{ст}}$, який може сприйняти нормальний переріз косозігнутого елемента в стадії I-a (рис.1), тобто безпосередньо перед утворенням тріщин, можна визначити із сумісного рішення трьох рівнянь рівноваги, викладених у дисертації. Цей шлях дає досить точні результати. Проте він занадто складний. Тому визначення цього моменту пропонується за формулою

$$M_{\text{ст}} = M_p + R_{\text{ст}} \gamma_{\text{ст}} W_{\text{ред},p} \quad (26)$$

де M_p - момент зусилля обтиснення P відносно точки перехрещення силової лінії і границі ядра пружного приведенного перерізу з боку стисненої зони, що визначається за формулою

$$M_p = P(r_p + e_{0p}); \quad (27)$$

r_p - відстань від центра ваги пружного приведенного перерізу до найбільш віддаленої від розтягнутої грані, тріщиностійкості якої перевіряється, ядрової точки, що лежить на силівій площині;

e_{0p} - проєкція ексцентриситету точки прикладання зусилля обтиснення P відносно центра ваги пружного приведенного перерізу на слід силової площини;

$W_{\text{ред},p}$ - пружний момент опору приведенного перерізу для крайнього розтягнутого волокна (точки) в напрямку силової площини, який визначається за формулою

$$W_{\text{ред},p} = \frac{W_{\text{ред},x} W_{\text{ред},y}}{W_{\text{ред},x} \sin \beta + W_{\text{ред},y} \cos \beta} \quad (28)$$

$W_{\text{ред},x}$ і $W_{\text{ред},y}$ - відповідні моменти опору відносно осей X і Y,

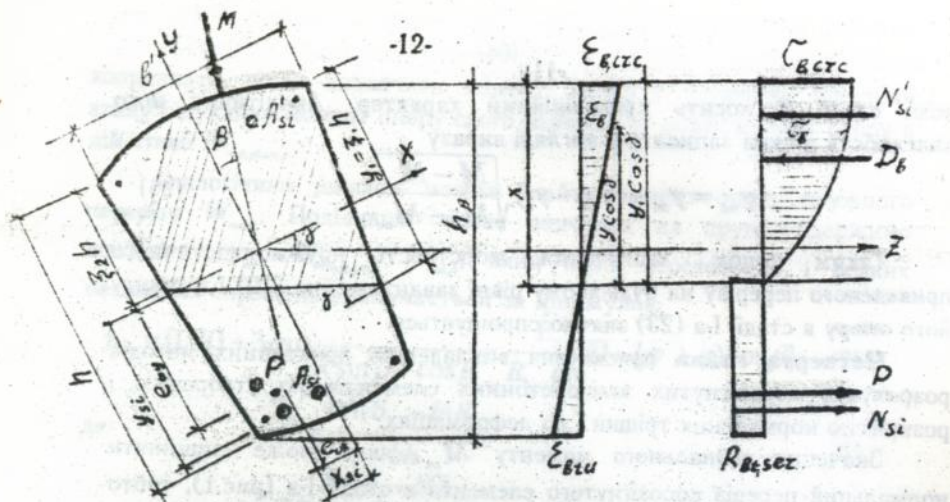


Рис.1. Розрахункова схема нормального перерізу в стадії I-а

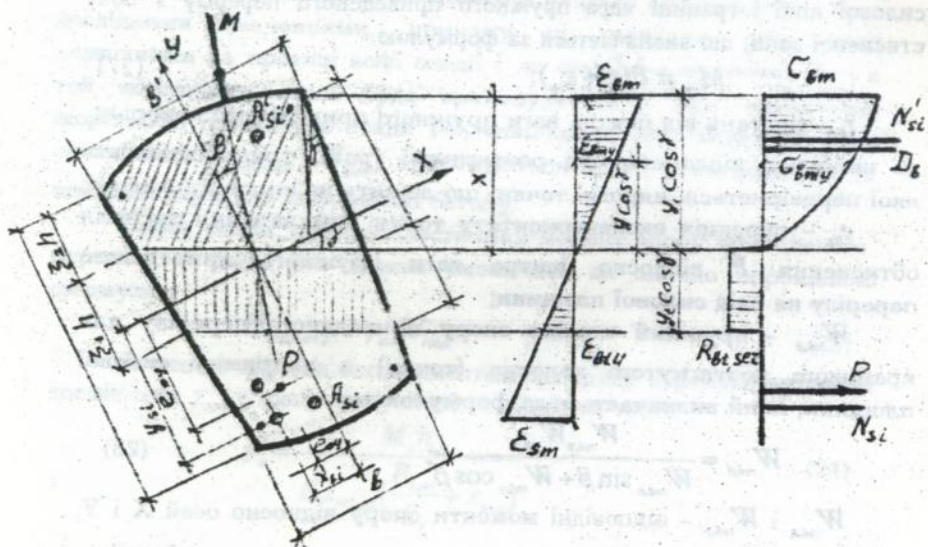


Рис.2. Розрахункова схема нормального перерізу в стадії II

які визначаються за правилами опору матеріалів.

За викладеним методом були обчислені значення моменту тріщиноутворення M_{cr} для всіх зразків, випробуваних автором, 32 зразків, випробуваних Л.І.Сердюком, М.Л.Яровим, О.В.Семком і 13 зразків, випробуваних іншими авторами при плоскому згині. Порівняння цих значень з експериментальними і статистична обробка результатів показали достовірність запропонованого методу і його придатність для практичного використання.

Ширина розкриття нормальних тріщин при косому згині, як і при плоскому, дорівнює різниці деформативності арматури і бетону на ділянці між тріщинами. Проведені на основі викладених передумов дослідження показали, що цю ширину можна визначити за формулою

$$a_{cr} = 0,06 \delta \varphi \eta \frac{\sigma_s d}{E_s \mu}, \quad (29)$$

де σ_s - приріст напруження в попередньо напруженій арматурі (рис. 2 и 3) (або напруження в ненапруженій арматурі), він дорівнює

$$\sigma_s = \alpha \left\{ \frac{M \cos(\gamma - \beta)}{W_{red,pl,II,\gamma}} - \frac{P[h_0 - x - e_n \cos(\gamma - \beta)]}{W_{red,pl,II,\gamma}} - \frac{P}{A_{red,pl,II}} \right\}; \quad (30)$$

$W_{red,pl,II,\gamma}$ - пружнопластичний момент опору приведеного перерізу в стадії II, тобто при наявності тріщин, по розтягнутій арматурі у напрямку, перпендикулярному до нейтральної лінії:

$$W_{red,pl,II,\gamma} = \gamma_{red} W_{red,pl}; \quad (31)$$

Порядок розрахунку косоазігнутих елементів по розкриттю тріщин та врахування тривалості дії навантаження залишаються такими, як і при плоскому згині.

Порівняння обчислених і експериментальних значень a_{cr} для 32 зразків автора і тих, що є в літературі, і статистична обробка показали прийнятність запропонованого методу розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин для його практичного використання.

Розрахунок деформацій здійснюється з використанням відомої формули

$$f = \frac{M}{B_s} s^2, \quad (32)$$

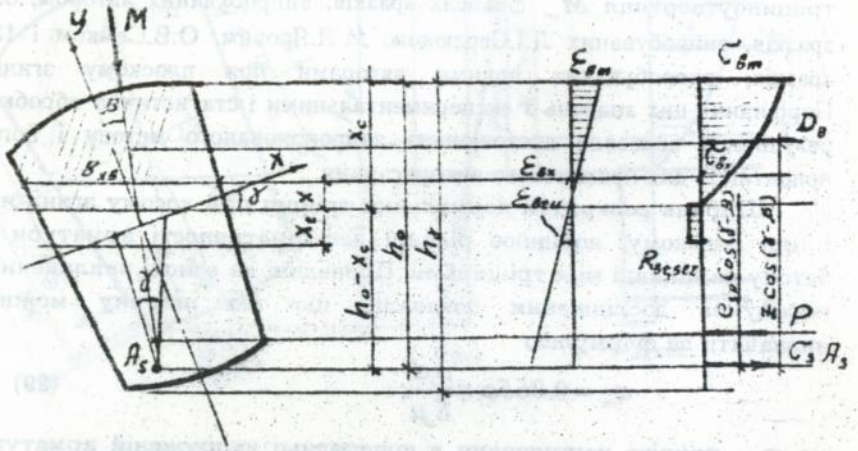


Рис.3. До розрахунку по розкриттю тріщин у нормальному перерізі косозігнутих елементів

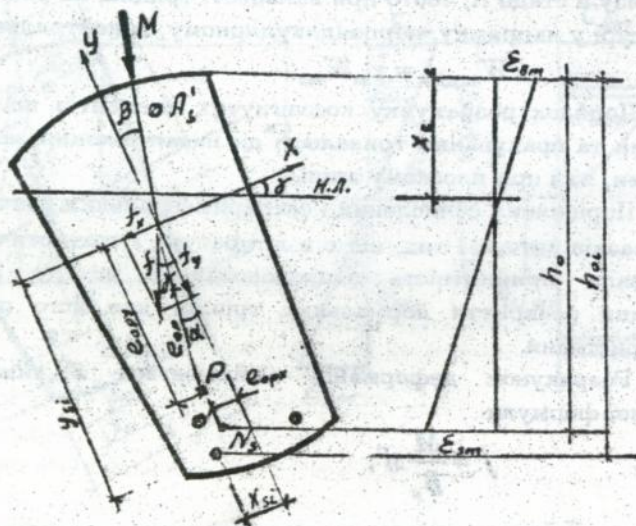


Рис.4. До визначення прогинів косозігнутих елементів

проте при визначенні жорсткості

$$B_{\gamma} = \gamma_{red} E_r I_{red} \quad (33)$$

використовується уже заданий коефіцієнт γ_{red} згідно (25), який, враховуючи всі фактори, що впливають на жорсткість перерізу і не ввійшли у формулу (33), водночас значно спрощує розрахунок.

Момент інерції пружного приведеного перерізу в напрямку згину

$$I_{red} = \frac{I_{red,x} I_{red,y}}{\sqrt{(I_{red,x} \sin \beta)^2 + (I_{red,y} \cos \beta)^2}}, \quad (34)$$

де $I_{red,x}$ і $I_{red,y}$ - моменти інерції пружного приведеного перерізу відносно осей OX і OY, які проходять через центр його ваги.

Як показали дослідження, кут нахилу нейтральної лінії або площини вигину γ можна визначати за формулою

$$\gamma = \gamma_d - (\gamma_d - \gamma_m) M / M_d, \quad (35)$$

де γ_d і γ_m - кути нахилу нейтральної лінії в пружній стадії і в граничному стані за міцністю; перший з них визначається за правилами опору матеріалів, другий буде відомим при розрахунках міцності.

Деякі, не розшифровані тут величини, мають загальновідомі значення, прийняті в нормах, або показані на рис. 4.

Порядок розрахунку деформацій косоаігнутих елементів та врахування тривалості дії навантаження такі, як при плоскому згині. При цьому слід зауважити, що під час розрахунків і обчислення прогинів від різних завантажень f_i виникає потреба розкладання загального прогину на його складові у напрямках осей X і Y. Це здійснюється за формулами

$$f_x = f \sin \gamma, \quad (36)$$

$$f_y = f \cos \gamma. \quad (37)$$

Одержавши потім сумарні прогини у кожному напрямку, загальний прогин f обчислюється як геометрична сума двох складових f_x і f_y .

Визначені за допомогою запропонованого методу розрахунку значення f досить близько співпадають з експериментальними, одержаними автором, і тими, що є в літературі. Отже, цей метод можна рекомендувати для застосування у практиці проектування.

У дисертації приведені дані щодо впровадження результатів

дослідів у практику проектування.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Внаслідок проведених автором цієї роботи експериментальних і теоретичних досліджень можна зробити такі висновки і пропозиції:

1. Вивчений напружено-деформований стан залізобетонних елементів в стадіях I, I-a і II до руйнування, тобто до стадії III з врахуванням фактичної деформативності бетону, його сумісної роботи з арматурою, кута нахилу силової площини і площини згину, форми перерізу, наявності попередньо напруженої арматури та інших факторів.

2. Вироблені пропозиції щодо визначення граничної ϵ_{yk} і кінцевої ϵ_{yk} деформативності бетону при косому згині.

3. Запропонована аналітична залежність модуля деформацій бетону при стисненні і розтягненні від рівня його завантаження. Використання цієї залежності з одного боку дозволяє оцінити напружено-деформований стан залізобетонного елемента на будь-якому рівні його завантаження, а з іншого - спростує розрахунки.

4. Вивчено характер поведінки нейтральної лінії в ході завантаження зігнутого (косо чи плоско) елемента. Підтверджено, що, як і в елементах із пружних матеріалів, нейтральна лінія на будь-якому етапі завантаження перпендикулярна площині згину. Кут нахилу цієї лінії залежить від кута нахилу силової площини та співвідношення моментів інерції пружнопластичного приведеного перерізу у напрямку координатних осей. Розроблені рекомендації щодо визначення положення нейтральної лінії і кута її нахилу на різних стадіях завантаження.

5. Досліджено характер зміни жорсткості перерізу з ростом рівня завантаження і з врахуванням пружнопластичних властивостей бетону, наявності тріщин, роботи розтягнутої зони бетону над тріщинами і між ними.

Встановлено, що в стадії I жорсткість перерізу лишається практично постійною на протязі всього терміну завантаження. Після утворення тріщин залежність жорсткості від рівня завантаження набуває характеру ввігнутої параболи.

6. На основі чисельних експериментів підтверджено, що

коефіцієнт ψ_1 , який враховує роботу розтягнутого бетону між тріщинами, при згині можна з достатньою для практики точністю прийняти постійним і рівним 0,9.

Коефіцієнт ψ_2 , що враховує нерівномірність деформацій бетону стисненої зони на ділянці між тріщинами, також можна прийняти постійним і рівним 0,7.

7. Розроблено метод розрахунку косозігнутих елементів прямокутного, таврового і двотаврового перерізів по утворенню нормальних тріщин.

Цей метод аналогічний нормативному для плоского згину. Його відмінність полягає в урахуванні кута нахилу силової площини і в значеннях коефіцієнтів, що враховують пластичні властивості бетону стисненої і розтягнутої зон перерізу.

8. Розроблено метод розрахунку цих елементів по розкриттю нормальних тріщин.

9. Розроблено метод розрахунку косозігнутих елементів прямокутного, таврового та двотаврового перерізів по деформаціях, єдиний для всіх стадій напружено-деформованого стану. Його сутність і відмінність полягає в тому, що вся різноманітність факторів, що впливають на величину деформацій і при наявності тріщин, які норми враховують окремо, в запропонованому методі враховується, як і при відсутності тріщин, єдиним коефіцієнтом γ_{red} .

Цей коефіцієнт являє собою відношення фактичної жорсткості перерізу на стадії, що розглядається, до її пружного значення. Даються рекомендації щодо його визначення.

10. У зв'язку з тим, що плоский згин є окремим випадком косоого, всі запропоновані методи прийнятні і для цього окремого випадку.

11. Достовірність запропонованих методів перевірена порівнянням результатів розрахунків і експериментів для 72 зразків, випробуваних автором, і для 45 зразків, що є в літературі, та статистичною обробкою цих порівнянь.

12. Результати роботи використовуються на практиці, в об'єднанні УкрІДІагропроект при проектуванні конструкцій сільськогосподарських будинків і споруд..

Основні результати досліджень і положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Вахненко В.П., Роговой С.І. Розрахунок міцності

залізобетонних стояків // "Сільське будівництво", №2, 1980.- 2 с.

2. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П. Практический метод определения модуля деформаций бетона //Тезисы докладов Республиканской конференции: "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в сельскохозяйственное строительство", Полтава, 1982.-2 с.

3. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П. Об определении ядра сечения бетонных и железобетонных элементов //Тезисы докладов Республиканской конференции: "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в сельскохозяйственное строительство". Полтава, 1982.-2 с.

4. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П. Железобетонные конструкции сельскохозяйственных зданий: Расчёт и проектирование.- Киев: "Будівельник", 1982.-152 с.

5. Бондар В.О., Вахненко В.П. Підприємства по переробці овочів і фруктів (проектування та будівництво).- Київ: "Будівельник", 1985.- 88 с.

6. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П. Ширина раскрытия нормальных трещин в косоизгибаемых железобетонных элементах //Строительные конструкции.- Киев: 1989.- Вып.42.- 3 с.

7. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П., Гармаш и др. Реконструкция сельскохозяйственных зданий и сооружений: Справочник.- Киев: "Урожай", 1993.- 278 с.

8. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П., Клименко Є.В. та інші. Реконструкція будівель і споруд агропромислового комплексу: Навчальний посібник.- Київ: "Урожай", 1994.-296 с.

9. Вахненко В.П. Жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних елементів, що працюють на косий згин //Полт.ТУ/Рукопис, депонір. у УкрІНТІЕІ 25.02.97, №294-Уі97- Київ: 1997.-9 ст.

АННОТАЦИЯ

Вахненко В.П. Жёсткость и трещиностойкость косоизгибаемых железобетонных элементов и конструкций.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения. Полтавский технический университет. Полтава, 1997.

Приведены экспериментальные и теоретические исследования

напряжённно-деформированного состояния косоизгибаемых железобетонных элементов и конструкций различных практически применяемых сечений в стадиях I, I-a и II. Разработаны методы расчёта таких элементов по образованию и раскрытию нормальных трещин и по деформациям.

Ключевые слова: железобетон, напряжённно-деформированное состояние, косоый изгиб, жёсткость, трещиностойкость.

ANNOTATION

Vachnenko V.P. Stiffness and resistance to cracking of unsymmetrical bending reinforced concrete elements and structures.

Thesis for competition of the scientific degree of the 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 for unsymmetrical bending reinforced concrete elements and structures having various sections practically applied in stages I, I-a and II were carried out. Methods of analysis for such elements as for normal crack formations and opening and the deformations were developed.

Key words: reinforced concrete, stress and deformation (stressed and deformed) state, unsymmetrical bending, stiffness, resistance to cracking.

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

3. Баранов И.О., Баранов С.И. Об особенностях роста стволы березы в зависимости от условий среды. Доклады Академии наук СССР, 1953, № 10, с. 100-102.

4. Баранов И.О., Баранов С.И., Баранов С.С. Влияние условий среды на рост стволы березы. Доклады Академии наук СССР, 1953, № 10, с. 103-105.

5. Баранов И.О., Баранов С.И., Баранов С.С. Влияние условий среды на рост стволы березы. Доклады Академии наук СССР, 1953, № 10, с. 106-108.

6. Баранов И.О., Баранов С.И., Баранов С.С. Влияние условий среды на рост стволы березы. Доклады Академии наук СССР, 1953, № 10, с. 109-111.

7. Баранов И.О., Баранов С.И., Баранов С.С. Влияние условий среды на рост стволы березы. Доклады Академии наук СССР, 1953, № 10, с. 112-114.

АННОТАЦИЯ

... ..

... ..

... ..

... ..

435444

Ав 37.542

Підписано до друку 4.04.97р. Формат 60x84 1/16. Папір друкарський.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1. Замовлення №450. Тираж 100прм.
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 103.