

МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ, БУДІВНИЦТВА ТА
ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

**Державне підприємство
«Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»**

На правах рукопису

Омельченко Катерина Вікторівна

УДК 624.012.045

**ЖОРСТКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ
НА ДІЛЯНКАХ З ПОХИЛИМИ ТРИЩИНАМИ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Колчунов Володимир Іванович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри комп'ютерних технологій
будівництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павліков Андрій Миколайович,
Полтавський Національний технічний університет ім.
Юрія Кондратюка,
завідувач кафедри залізобетонних і кам'яних
конструкцій та опору матеріалів,

кандидат технічних наук, с. н. с.,
Гурківський Олександр Борисович,
Державне підприємство
«Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
завідувач лабораторії надійності будівельних
конструкцій

Захист відбудеться “3” червня 2014 р., о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.833.01 Державного підприємства „ Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій ” (ДП НДІБК) за адресою: 03680, м. Київ-37, вул. І. Клименка, 5/2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного підприємства „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій” (ДП НДІБК) за адресою: 03680, м. Київ-37, вул. І. Клименка, 5/2.

Автореферат розісланий 24 квітня 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 26.833.01
к.т.н., с.н.с.

Слюсаренко Ю. С

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Удосконалення залізобетонних конструкцій, пов'язане з підвищенням їхньої ефективності, входить до числа найважливіших проблем капітального будівництва. Широке застосування залізобетонних конструкцій у різних, в останні роки все більш складних і відповідальних спорудах, викликає нагальну потребу розвитку теорії і вдосконалення методів їх розрахунку.

Аналіз результатів проведених досліджень, а також практика проектування та досвід застосування залізобетонних конструкцій говорять про те, що часто мають місце випадки, коли клас бетону, розміри перерізів і площа розтягнутої арматури по жорсткості і ширині розкриття тріщин, більше, ніж це потрібно за міцністю.

В останні роки виконано значні дослідницькі роботи (ДП НДІБК, КНУБА, ПолНТУ, ДНАБА, ОДАБА, ДонДАБА, тощо) щодо вдосконалення методів оцінки жорсткості залізобетонних конструкцій. Найбільш повні з них проводились в НДІ будівельних конструкцій, де основою чітких фізичних гіпотез про механізм виникнення тріщин, розроблена більш досконала нова методика розрахунку. Однак, незважаючи на високу надійність і теоретичне обґрунтування зазначеної методики в цілому, ряд важливих питань ще не отримав належного розвитку (зокрема, облік ефекту порушення суцільності і вплив похилих тріщин на жорсткість приопорних ділянок), що викликає нагальну необхідність постановки спеціальних досліджень.

Аналіз опору залізобетонних конструкцій показує, що за наявності похилих тріщин тут відбувається різка зміна конструктивних характеристик і властивостей матеріалів. Тут практично відсутні розрахункові моделі, що відображають всю різноманітність утворення різних типів похилих тріщин. Все це не дозволяє уникнути постійного трудомісткого експериментування і є серйозною перешкодою для підвищення ефективності розрахунків відповідальних несучих конструкцій.

Звідси випливає, що проведення експериментально-теоретичних досліджень практичного способу розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами з урахуванням наявності цих тріщин і ефекту порушення суцільності залізобетону є досить **актуальною задачею**. Вирішення цієї задачі може розглядатися як помітне досягнення у розвитку методів розрахунку залізобетонних конструкцій.

Зв'язок з науковими програмами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету в рамках наукових досліджень кафедри за держбюджетною темою № 6/10.01.02 «Новітні технології проектування залізобетонних конструкцій, що зводяться та експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах».

Мета роботи. На основі аналізу та узагальнення експериментів, побудови робочих гіпотез, найбільш повно відображають дійсний напружено-деформований стан, розробити розрахункову модель жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, що відображає формування

різних типів похилих тріщин і базується на розрахунковій схемі одиничної смужки, зі швами-тріщинами при врахуванні в них умовних зосереджених зсувів і роботи внутрішніх сил за схемою складеного стрижня, несумісності деформацій бетону та арматури, ефекту порушення суцільності бетону.

Задачі досліджень:

– на підставі виконаного огляду досліджень, узагальнення та аналізу зібраних результатів експериментальних і теоретичних досліджень, розробити розрахункову модель жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами з урахуванням нових ефектів опору;

– розробити методику та провести власні експериментальні дослідження з метою побудови розрахункової моделі жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами і за результатами їх аналізу провести перевірку запропонованого розрахункового апарату з урахуванням несумісності деформацій бетону та арматури і ефекту порушення суцільності бетону;

– провести чисельні дослідження параметрів напружено-деформованого стану для оцінки жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами. Виконати порівняльну оцінку запропонованого розрахункового апарату з експериментальними даними та нормативною методикою розрахунку.

Об’єкт дослідження: залізобетонні конструкції промислових і цивільних будівель та споруд.

Предмет дослідження: жорсткість залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами.

Методи дослідження: використовується експериментально-теоретичний метод. У теоретичних і чисельних дослідженнях, які виконані у роботі, використані загальні методи механіки твердого тіла, що деформується, механіки залізобетону та теорії складених стрижнів.

Наукову новизну роботи складають:

1. Побудована розрахункова модель жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, що містить:

– розрахункову схему у вигляді арок, які утворюються за похилими тріщинами різних типів і рівняння, що дозволяють визначати зусилля у цих арках;

– розрахункову схему у вигляді одиничної смужки і отримане стосовно неї рішення залізобетонного складеного стрижня при наявності тріщин;

– розроблену розрахункову методику для визначення жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, яка базується на сформульованих робочих гіпотезах при врахуванні умовних зосереджених зсувів у швах-тріщинах, несумісності деформацій бетону та арматури, і ефекту порушення суцільності бетону.

2. Отримані експериментальні дані про характер і ефекти деформування, розвитку та розкриття похилих тріщин у залізобетонних складених конструкціях на основі досліджень плоского напружено-деформованого стану бетону, поздовжньої і поперечної арматури при різних схемах навантаження, характері армування, класах бетону.

3. Результати чисельних і порівняльних досліджень, які доводять ефективність запропонованої розрахункової моделі жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами з використанням теорії складених стрижнів стосовно до залізобетону в широкому діапазоні зміни прольотів «зрізу», класу і виду бетонів, при різних схемах армування ($C_V = 8,91\%$, $\bar{X} = 1,0605$).

Теоретична і практична цінність роботи полягає в тому, що розроблена розрахункова модель жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами за рахунок врахування параметрів і особливостей деформування арматури і бетону дозволяє отримати більш достовірні рішення та виявити резерви для ефективного використання матеріалів.

Методологія та методи досліджень. Використовується експериментально-теоретичний метод. У теоретичних і чисельних дослідженнях, які виконані у роботі, використані загальні методи механіки твердого тіла, що деформується, теорії складених стрижнів і теорії залізобетону.

Положення, які виносяться на захист:

- розрахункова модель і побудована на її основі методика розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, яка враховує несумісні деформації бетону та арматури, ефект порушення суцільності бетону;

- результати експериментальних досліджень, які в значній мірі доповнюють наявний фактичний матеріал по багаторівневому процесу тріщиноутворення, оцінці ефекту порушення суцільності, переміщенням (прогином) залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами при різних схемах завантаження, армування та класах бетону;

- алгоритм розрахунку і результати чисельних досліджень переміщень (прогинів) залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами з використанням розробленої розрахункової методики, а також результати їх порівняльного аналізу з дослідними даними та нормативною методикою розрахунку.

Конкретна особиста участь автора в отриманні наукових результатів, викладених у дисертації:

- побудована розрахункова схема у вигляді арок, які утворюються за похилими тріщинами різних типів і отримані рівняння для визначення зусиль у цих арках;

- робочі положення розрахункової методики для визначення жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, що базується на сформульованих робочих гіпотезах при врахуванні умовних зосереджених зсувів у швах-тріщинах, несумісності деформацій бетону та арматури, і ефекту порушення суцільності бетону;

- розроблена методика і отримані результати експериментальних досліджень жорсткості залізобетонних конструкцій при різних схемах армування, завантаження і прольотів «зрізу»;

– побудований алгоритм розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, а також отримані результати їх порівняльного аналізу з дослідними даними і нормативною методикою розрахунку.

Ступінь достовірності та апробація результатів.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується:

– побудовою розрахункової моделі жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами на основі закономірностей механіки твердого тіла, що деформується, теорії складених стрижнів, теорії залізобетону і реальних залежностей деформування;

– порівняльним аналізом результатів значень переміщень (прогинів) з використанням розробленого способу розрахунку з експериментом і розрахунками за нормативною методикою, яка отримала найбільше поширення в практиці проектування;

– ефективністю запропонованих розрахункових залежностей за переміщеннями (прогинами) на ділянках з похилими тріщинами, які використані у практиці проектування залізобетонних конструкцій будівель і споруд.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались на: розширеному семінарі відділу надійності будівельних конструкцій ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (м. Київ, 13 березня 2014), Міжнародному конгресі «Архітектура. Будівництво. Дизайн» (м. Київ, НАУ, 14–16 лютого 2014), міжкафедральному семінарі кафедр комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів та автошляхів Інституту аеропортів Національного авіаційного університету (м. Київ, 28 січня 2014), на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Інституту аеропортів Національного авіаційного університету (м. Київ, 24 грудня 2013 року), на XI Міжнародній науково-технічній конференції "АВІА-2013", (м. Київ, 21–23 травня 2013 року), на Міжнародному науково-практичному фестивалі «САПР Allplan в архітектурі та будівництві» (м. Київ, НАУ, 22–26 квітня 2013), на III Міжнародній науково-практичній конференції «Аеропорти – вікно в майбутнє» (м. Київ, НАУ, 15–16 червня 2012), на VI Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА–2004» (м. Київ, НАУ, 2004).

Впровадження результатів роботи. Результати дисертаційної роботи прийняті для використання при розробці державних будівельних норм України ДБН В.1.1–12–201Х "Будівництво в сейсмічних районах України"; використані при розрахунку залізобетонних конструкцій у проекті ТРЦ «Європа» (м. Кременчук, Полтавська область) і впроваджені в навчальний процес Національного авіаційного університету при вивченні дисциплін «Будівельні конструкції», «Залізобетонні та кам'яні конструкції», для студентів, які навчаються за спеціальністю «Промислове і цивільне будівництво».

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 9 наукових працях, у тому числі у 6 наукових статтях у спеціалізованих фахових

виданнях, внесених до списку ДАК України, 1 наукової статті в іноземному фаховому виданні і 3 статтях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 177 найменувань, 2 додатків. Повний обсяг роботи становить 209 сторінок, у тому числі 133 сторінки основного тексту, який ілюструється 61 рисунками, містить 6 таблиць, 41 повних сторінки з малюнками і таблицями, 22 сторінок списку використаної літератури та 13 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі проаналізовано роботи виконані за дослідженнями жорсткості і тріщиностійкості залізобетонних конструкцій за похилими перерізами.

Значний внесок у побудову розрахункового апарату прогинів залізобетонних конструкцій внесли Д. О. Астаф'єв, В. М. Байков, А. М. Бамбура, Х. З. Баширов, В. М. Бондаренко, О. О. Гвоздєв, О. Б. Голишев, С. І. Горностаєв, О. Б. Гурківський, Ю. П. Гуца, В. С. Дорофєєв, О. С. Залєсов, В. Д. Казаков, М. І. Карпенко, С. М. Карпенко, В. І. Колчунов, Н. В. Ключєва, Е. Н. Кодиш, В. І. Корсун, Л. Л. Лемиш, М. Г. Мар'єнков, В. І. Мурашев, Я. М. Немирівський, Ю. І. Немчинов, І. К. Нікітін, А. М. Павліков, С. І. Роговий, В. С. Рокач, В. І. Травуш, В. В. Фігаровський, Р. С. Санжаровський, М. В. Савицький, Ю. С. Слюсаренко, Л. І. Стороженко, В. С. Федоров, І. А. Яковенко та ін.

Теоретичні та експериментальні дослідження залізобетонних конструкцій у своїй переважній більшості базуються на передумові про абсолютно жорсткий шов сполучення між елементами – роботи Голишева О. Б., Жданова О. Є., Меркулова С. І., Кузмичова А. Е., Харченка О. В. та ін., що, як правило, призводить до відчутного розбіжності результатів розрахунку і експерименту.

В останні роки почали проводитися дослідження присвячені вивченню напружено-деформованого стану залізобетонних складених конструкцій з податливими швами зсуву – роботи Бондаренка В. М., Карпенка М. І., Карпенка С. М., Колчунова В. І., Колчина Я. Є., Маїляна Р. Л., Мурашкіна Г. В., Стадольського М. І., Панченка Л. О., Сконнікова А. В., Скобелевої Е. А., Санжаровського Р. С., Сняткова М. М., Смоляга Г. О., Шоршнева Г. М., Федорова В. С., Яковенка І. А. та ін.)

Посилені залізобетонні конструкції, які також моделюються у вигляді складеного залізобетонного стрижня, в останні роки стають одними з найважливіших в області залізобетону.

Розробкою теоретичних основ розрахунку і проектування конструкцій, що посилюються займалися багато вчених (Д. О. Астаф'єв, В. М. Бондаренко, О. Б. Голишев, О. С. Залєсов, С. М. Карпенко, Є. А. Король, А. І. Мальганов, Г. В. Мурашкін, Р. С. Санжаровський, М. М. Снятков, В. Ф. Усманов, І. А. Яковенко та ін.).

У роботах В. М. Бондаренка, О. Б. Голишева, В. І. Колчунова звернуто увагу на досить істотні ефекти напружено-деформованого стану, що відбуваються у залізобетоні в результаті порушення його суцільності, які пояснюють фізичний зміст багатьох явищ, помічених у досліді.

Побудові способу розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами присвячений **другий розділ** дисертаційних досліджень. На підставі поглибленого дослідження природи і характеру тріщиноутворення запропонована розрахункова схема арок для визначення жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами (рис. 1, а), що дозволяє описувати тріщини, які починаються з розтягнутої зони і

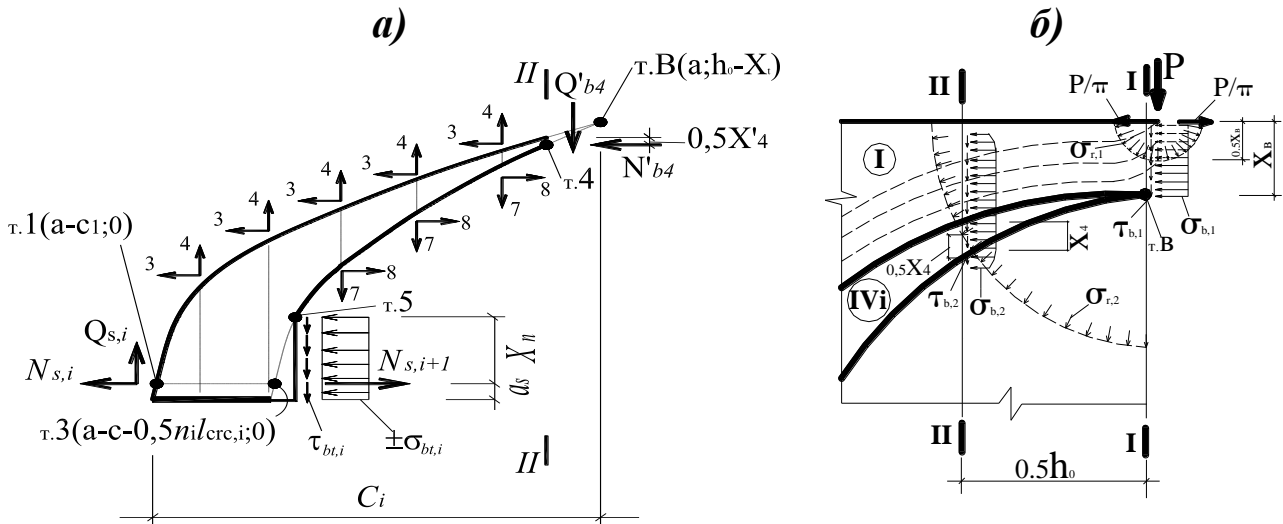


Рис. 1. Розрахункова схема арки, яка використовується для формування похилих тріщин у прольоті «зрізу» (а) і розташування перерізу II–II (б):
 3, 4 – поздовжні та поперечні зусилля в хомутах у небезпечній тріщині;
 7, 8 – те ж, у суміжній тріщині

розвиваються до джерела навантаження, а також похилі тріщини, що утворюються в околиці нейтральної осі, і розвиваються як у бік стиснутої, так і розтягнутої зон. Отримано групи рівнянь з урахуванням впливу місцевого напружено-деформованого стану, що дозволяють визначити невідомі параметри розрахункових арок.

Для граничних станів 2-ї групи параметр $N_{b,1}$ визначається за відомою $Q_{b,1}$, що знаходиться з умови рівноваги з використанням механічної моделі стиснутої зони над похилою тріщиною в околиці перерізу I–I.

«Нагельні» зусилля в подовжній і поперечній арматурі визначаються на основі розрахункової моделі, розробленої в науковій школі проф. Колчунова В. І.

Необхідним елементом також є вибір місця проведення перерізу II–II (рис. 1, б), адже кінці віяла похилих тріщин можуть проникати в зону місцевих напружень на різну глибину. Важливим є й визначення нормальних і дотичних напружень в стислом бетоні для цих арок. Аналіз показав, що такий переріз вдало розташувати на відстані $0,5h_0$ від перерізу I–I, тобто в зоні, де місцеві

напруження ще мають місце і сумарні поля напружень у цих перерізах не мають розривів. Це дозволяє для визначення нормальних $\sigma_{b,4}$ і дотичних $\tau_{b,4}$ напружень в стиснутій зоні арки використовувати наступні відношення:

$$K_1 = \frac{M_{ИЗГ,II} + M_{МЕС,II}}{M_{ИЗГ,I} + M_{МЕС,I}}; \quad (1)$$

$$K_2 = \frac{Q_{ИЗГ,II} + Q_{МЕС,II}}{Q_{ИЗГ,I} + Q_{МЕС,I}}. \quad (2)$$

Тут $M_{ИЗГ,II}$, $M_{МЕС,II}$, $Q_{ИЗГ,II}$, $Q_{МЕС,II}$, $M_{ИЗГ,I}$, $M_{МЕС,I}$, $Q_{ИЗГ,I}$, $Q_{МЕС,I}$ – стрижневі та місцеві згинальні моменти та поперечні сили (які визначаються за пропозиціями С. П. Тимошенко) в перерізі II–II і I–I, відповідно.

Тоді, знаючи $\sigma_{b,I}$ та $\tau_{b,I}$ у перерізі I–I, можна перейти до напружень $\sigma_{b,II}$ та $\tau_{b,II}$ в перерізі II–II:

$$\sigma_{b,II} = \sigma_{b,I} K_1, \quad (3)$$

$$\tau_{b,II} = \tau_{b,I} K_2. \quad (4)$$

При цьому координати точок 1, B, 2 та 3 в вибраній системі координат (рис. 1, a) дорівнюють: $(-c_1; 0)$, $(h_0 - 0,5X_1; 0)$, $(-c + l_{кр,1}; 0)$ та $(-c + 0,5n_l l_{кр,1}; 0)$, відповідно. Визначення координат других точок, не визиває труднощів, так як відомі рівняння параболи 3-B, відстань між перерізами I–I та II–II та висота x_n .

Із умов рівноваги блока, що розглядається (рис. 1, a), тут визначаються невідомі $\sigma_{b,n}$ $\sum X = 0$, $\tau_{b,n}$ $\sum Y = 0$ та $N_{S,i+1}$ $\sum M_{B1} = 0$. При цьому вводяться обмеження, які пов'язані з досягненням умови текучості в арматурі і т.д. Слід зауважити, що параметр $\sigma_{b,n}$ може приймати і від'ємне значення (в цьому випадку напруження в бетоні нижньої зони залізобетонного елемента будуть стискаючими).

Розрахункову схему, наведену на рис. 1, a, можна використовувати і для визначення напружено-деформованого стану не тільки стосовно до похилих тріщин 3-го типу, але й для похилих тріщин 1-го та 2-го типу при $x_n = 0$.

Послідовно переміщуючись від однієї тріщини до іншої, використана розрахункова схема дозволяє визначити зусилля в поздовжній і поперечній арматурі у будь-якій тріщині.

Утворення наступного рівня похилих тріщин відбувається після досягнення головними деформаціями подовження бетону, в точках, розташованих уздовж осі поперечної арматури своїх граничних значень $\varepsilon_{bt,ul}$, в процесі навантаження має місце кілька рівнів тріщиноутворення.

Відстані між тріщинами другого рівня вздовж осі поздовжньої арматури знаходяться зі співвідношення між згинальним моментом в перерізі I–I і в перерізі з небезпечною похилою тріщиною (за критерієм максимальної ширини її розкриття):

$$l_{кр,2} = \frac{a \cdot (M_I - M_{c,2})}{M_I}. \quad (5)$$

Поява наступного рівня тріщиноутворення відповідає навантаженню, при якому дотримується з нерівності

$$l_{erc,i} \leq \eta \cdot l_{erc,i-1}. \quad (6)$$

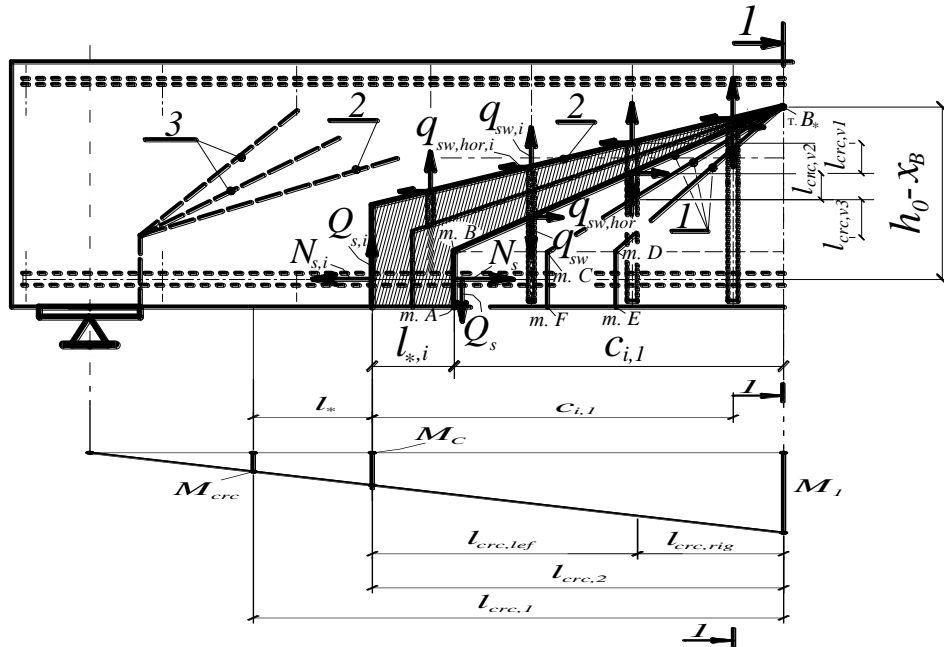


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення відстаней між тріщинами і зусиль в поздовжній і поперечній арматурі у суміжних тріщинах

Відстань між тріщинами наступного рівня вздовж осей поперечної арматури визначається з використанням розрахункових схем другого рівня, побудованих у ряді робіт під керівництвом доцента І. А. Яковенка, які вирізують представницький об'єм бетону між хомутами, від небезпечної косої тріщини до перерізу з $\varepsilon_{bt,maim} = \varepsilon_{bt,ul}$:

$$l_{erc} = \frac{2(B_4 - Bt_*)}{-B}, \quad (7)$$

де параметри B , B_2 , B_3 , B_4 виражені у вигляді функцій від граничних деформацій подовження бетону, параметрів, що враховують ефект порушення суцільності (через $\sigma_{bt,c}$ и ΔT), геометричних параметрів, параметрів зчеплення, арматури, бетону.

Маючи рівні тріщиноутворення уздовж поздовжньої і поперечної арматури в прольоті «зрізу», будується віяло тріщин (у вигляді ламаних ліній) першого, другого і третього типів, прилеглий до зосередженої сили і до опори. Ступінь реалізації похилих тріщин (перетинають ці тріщини поперечну арматуру) визначаються із розгляду напружено-деформованого стану бетону вздовж хомутів. При цьому:

$$\varepsilon_{bt} = \sigma_{sw} A_{sw} \cdot \frac{1}{D_{13}} - \sigma_{sw} A_{sw} \cdot \frac{1}{D_{13}} + \frac{D_{14}}{D_{13}} \cdot y + \frac{D_{15}}{D_{13}} =$$

$$= \varepsilon_{sw} \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D_{13}} - \varepsilon_{sw} \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D_{13}} + \frac{D_{14}}{D_{13}} \cdot y + \frac{D_{15}}{D_{13}}, \quad (8)$$

де параметри $D_1 \dots D_{12}$ виражені в вигляді функцій від зусиль в арках, параметрів бетону, армування і зчеплення.

З фізичних міркувань у формулі для визначення ширини розкриття тріщин логічно використовувати рівневе (дискретне) значення (відповідно до нерівності (6)). Під розкриттям тріщин тут розуміється накопичення відносних умовних зосереджених взаємних зміщень арматури і бетону на ділянках, розташованих по обидві сторони від тріщини; враховується додатковий деформаційний вплив в тріщині, пов'язаний з порушенням суцільності матеріалу. У результаті:

$$a_{crc} = -\frac{2\Delta T}{G} - \frac{2B_{a,2}}{B} - \frac{2B_2}{B} \ln \left(1 + \frac{B_{a,2} \cdot A_{sw} E_{sw}}{q_{sw} S + B_{a,1} A_{sw} E_{sw}} \right). \quad (9)$$

Проекція похилої тріщини, ширина розкриття якої має максимальне значення, визначається з умови екстремуму функцій багатьох змінних $F_{1,2} = f(q_{sw}, x_B, \sigma_s, x, \sigma_b, \sigma_{s,l}, \sigma_{b,1}, C_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7)$ та $F_3 = f(q_{sw}, x_{B,2}, \sigma_{s,3}, c_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, відповідно, і впливаючих з цієї умови рівності нулю частинних похідних.

У результаті, для тріщин першого, другого і третього типу, будемо мати, відповідно:

$$H_1 c_2^2 + H_2 c_2 + H_3 = 0, \quad (10)$$

$$(k_1 k_2 k_{21} + k_1 k_{21} + k_1 k_{23}) C_2^2 + C_2 + k_1 k_{22} - k_1 k_2 k_{21} = 0, \quad (11)$$

де $H_1 \dots H_3; k_1 \dots k_{23}$ — функції від узагальненого навантаження R_{sup} ; геометричних характеристик перерізів b, h, h_0 , характеристик бетону та арматури $A_s, A_{s,1}, A_{sw}, A_{s,3}, E_{sw}, S$; параметрів роботи розтягнутого бетону (ψ_s) у перерізі 1–1; напружень та зусиль в бетоні та арматурі в розрахункових перерізах параметрів зчеплення у зоні анкерування.

Фізична інтерпретація отриманих рішень полягає в тому, що вони дозволяють відшукувати проекції похилих тріщин першого, другого і третього типу з максимальною шириною розкриття.

Після відшукування найбільш небезпечних похилих тріщин перевіряється наявність тріщин наступних рівнів.

Стосовно до розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, вирізаються вертикальні поодинокі смужки (рис. 3), які розраховуються за схемою складеного стрижня з податливими швами-тріщинами (у місцях перетину смужки похила тріщина приймається горизонтальною).

Виділена двома поперечними перерізами вертикальна смужка довжиною Δx , сумірна з відстанню між хомутами, може розглядатися у вигляді консольного складеного стрижня. При цьому, квадратична форма

$A_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \Delta_{ik} T_i T_k$ за допомогою лінійного перетворення (з використанням

умови нормування і властивостей ортогональності власних векторів) змінних T_i приводиться до суми квадратів $A_1 = \sum_{l=1}^n \lambda_l^2 \bar{T}_l$.

$$\begin{aligned} \text{Лінійна форма } C = \sum_{i=1}^n \Delta_{io} T_i, \text{ перетворюється до вигляду: } C &= \sum_{i=1}^n \Delta_{io} \sqrt{\xi_i} \hat{T}_i = \\ &= \sum_{i=1}^n \Delta_{io} \sqrt{\xi_i} \sum_{k=1}^n u_{ik} \bar{T}_k = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \Delta_{io} \sqrt{\xi_i} u_{ik} \bar{T}_k = \sum_{k=1}^n R_k \bar{T}_k. \text{ Тут } R_k = \sum_{i=1}^n \Delta_{io} \sqrt{\xi_i} u_{ik}. \end{aligned}$$

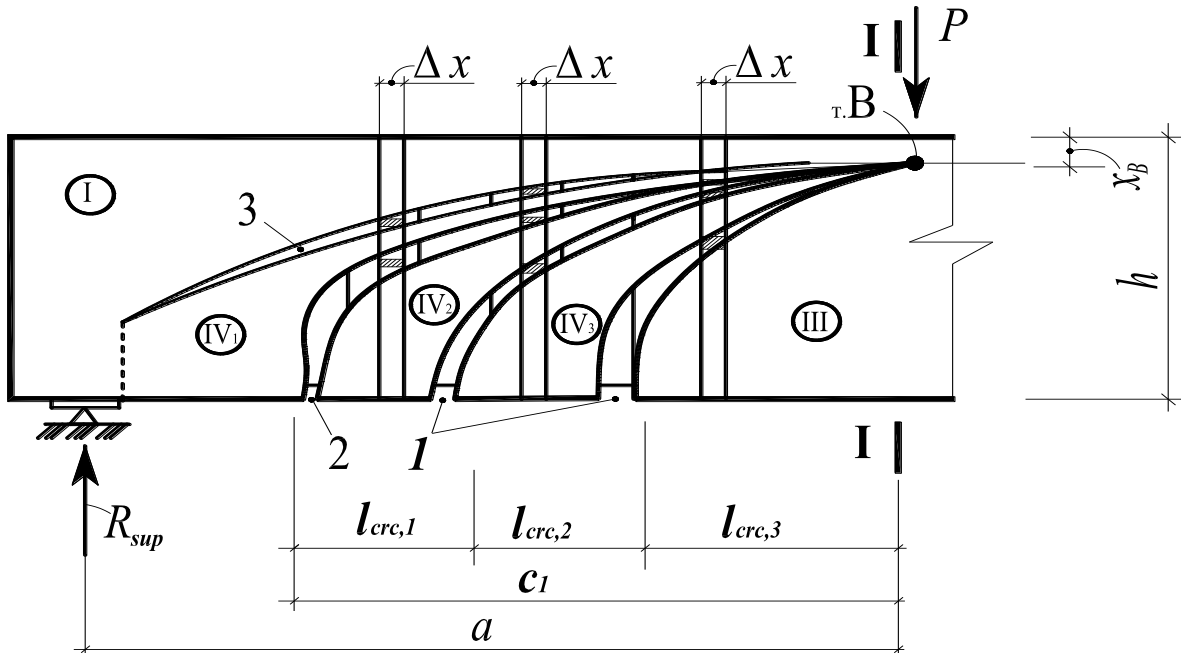


Рис. 3. Розрахункова схема одиничних смужок залізобетонного складеного стрижня на ділянках з похилими тріщинами

Умова мінімуму функціоналу підінтегрального виразу Φ сумарної роботи внутрішніх сил може бути записано у вигляді рівняння Ейлера-Пуассона.

$$\frac{\partial \Phi}{\partial T_i} - \frac{d}{dx} \frac{\partial \Phi}{\partial T_i'} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

яке розкривається у вигляді системи диференціальних рівнянь теорії складених стрижнів

$$\lambda_k^2 \bar{T}_k + R_k - \bar{T}_k = 0, \quad (k = 1, 2, \dots, n). \quad (13)$$

При використанні умов нормування та властивостей ортогональності власних векторів $u_{i,k}$ матриці система (13) розпадається на n незалежних диференціальних рівнянь другого порядку, і розрахунок складеного складеного стрижня з $n+1$ -го бруса зводиться до розрахунку n умовних простих складених стрижнів з двох брусів (рис. 4).

Значення \bar{T}_k , та R_k , що являють собою лінійні комбінації зусиль і узагальнені навантаження, можна розглядати як узагальнені внутрішні сили.

Рівняння (13), мають спільні інтеграли:

$$\bar{T}_k = A_k sh\lambda_k x + B_k ch\lambda_k x + \frac{1}{\lambda_k} \int_0^x R_k(t) sh\lambda_k(x-t) dt \quad (k=1,2,\dots,n), \quad (14)$$

де A_k та B_k – довільні постійні.

При позацентровому стиску задачу будемо розглядати в межах малих гнучкостей без врахування додаткових моментів, які виникають у результаті прогину стрижня.

Вирішення рівняння (14) стосовно до розглянутої консольної розрахункової схеми при впливі M , N , Q (рис. 4, б) має вигляд:

$$T = \frac{\Delta}{\gamma} \left(\frac{ch\lambda(-x)}{ch\lambda l} - 1 \right) + \frac{P \cdot c}{\lambda \gamma \sum EI} \left(\frac{sh\lambda x}{ch\lambda l} - \lambda x \right), \quad (15)$$

$$\tau = \frac{\xi \Delta sh\lambda(-x)}{\lambda ch\lambda l} + \frac{P \cdot c}{\gamma \sum EI} \left(\frac{ch\lambda x}{ch\lambda l} - 1 \right), \quad (16)$$

де $\lambda = \sqrt{\xi \cdot \gamma}$, γ , Δ , визначаються за формулами теорії складених стрижнів, а при наявності тріщин у розтягнутій зоні залізобетонної конструкції, – за формулами:

$$\Delta = -\frac{N_{0,1}}{(E_{b,1} A_{b,1})_{ekv}} + \frac{N_{0,2}}{(E_{b,2} A_{b,2})_{ekv}} - \frac{f(x_{crc})}{\rho}, \quad (17)$$

$$\lambda = \sqrt{\xi \gamma} = \sqrt{\xi \left[\frac{1}{(E_{b,1} A_{b,1})_{ekv}} + \frac{1}{(E_{b,2} A_{b,2})_{ekv}} + \frac{f^2(x_{crc})}{M \cdot \rho} \right]}. \quad (18)$$

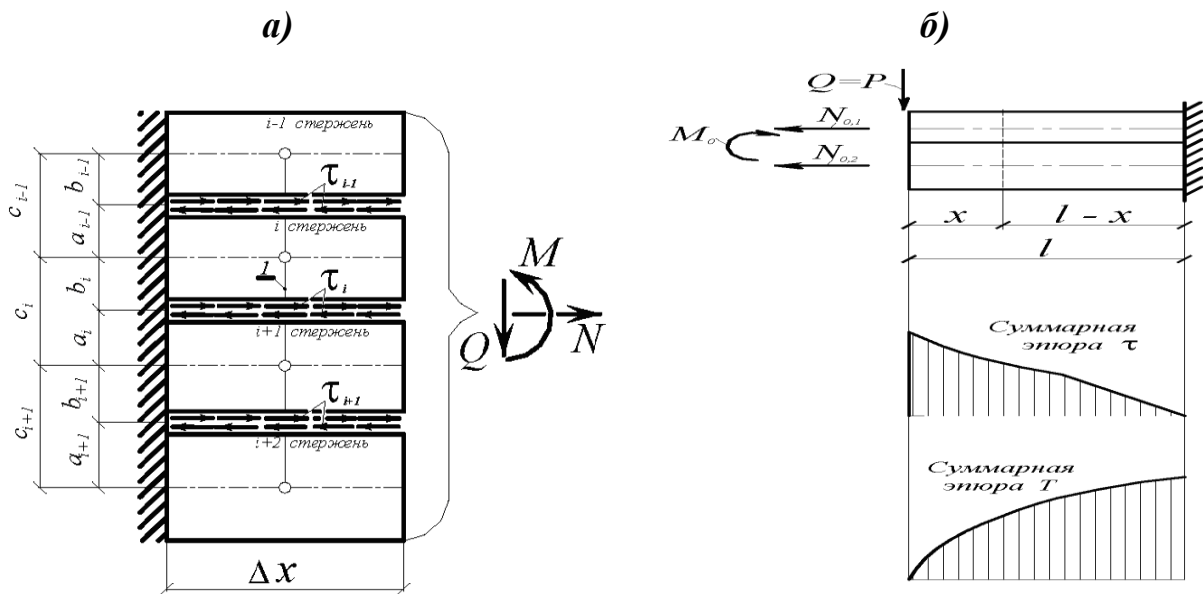


Рис. 4. Зведення задачі розрахунку консольного складеного стрижня із багатьох брусів (а), до задачі розрахунку консольного складеного стрижня із двох брусів за допомогою змінних \bar{T}_k і R_k (б)

Тут, $N_{0,1}$, $N_{0,2}$ – повздовжні сили від зовнішнього навантаження в 1-ому та 2-ому залізобетонному стрижні відповідно; $(E_{b,1}A_{b,1})_{ekv}$, $(E_{b,2}A_{b,2})_{ekv}$ – еквівалентні жорсткості поперечних перерізів окремих залізобетонних стрижнів; ρ – радіус кривизни для залізобетонного складеного стрижня; $\sum EI = M \cdot \rho$, $E_i I_i = M_i \cdot \rho$; M – повний момент у складеному стрижні; ξ – жорсткість шву, – визначається на основі експериментальних досліджень складених призм, в тому числі армованих; $(E_{b,1}A_{b,1})_{ekv} = N_i / \varepsilon_0$; $\varepsilon_0 = B_{12} M_i + B_{22} N_i$, B_{12} та B_{22} – визначаються у відповідності із пропозиціями М. І. Карпенка для нормативних документів.

Розрахункова схема одиничної смужки передбачає наявність таких параметрів, як відстані між похилими тріщинами і ширину їх розкриття .

Розрахунок по жорсткості і деформаціям залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами здійснюється з використанням кривизни в n обраних перетинах, яка визначається наступним чином.

В околицях зроблених перерізів виділяються поодинокі смужки (рис. 3 і 5). Переміщення від розкриття тріщин у межах такої смужки розкладаються на горизонтальні і вертикальні складові. Для виділених одиничних смужок складеного стержня визначається робота внутрішніх сил, яка складається з роботи внутрішніх зусиль у складених стрижнях, роботи податливих поперечних зв'язків і зв'язків зсуву.

Враховуючи внутрішні зусилля M та N в складених стрижнях у вигляді позацентрового стиску (розтягу), можна записати припадаючу на одиницю довжини роботу внутрішніх зусиль в i -ому стрижні у вигляді:

$$A_i = \frac{2M_i^2}{3E_i I_i} \quad (19)$$

Тут

$$M_i = M_{0i} + N_{0i} \cdot e_i - T_{i-1} \cdot a_{i-1} - T_i \cdot b_i + S_{i-1} \cdot 0,5 - S_i \cdot 0,5, \quad (20)$$

де M_{0i} та N_{0i} – згинаючий момент та повздовжня сила в i -му стрижні від дії навантаження без врахування зусиль в зв'язках; e_i – ексцентриситет сили N_{0i} відповідно до зогнутої вісі i -го стрижня; T_{i-1} , S_{i-1} , T_i , S_i – погонні зсувні та поперечні зусилля в $i-1$ -му та i -му швах відповідно; a_{i-1} , b_i – відстань від $i-1$ -го та i -го шва до нейтральної осі i -го стрижня.

Тут з метою спрощення обчислень і єдиного методичного підходу, який використовується у подальшому для розрахунку систем залізобетонних елементів, під жорсткістю стрижневого залізобетонного елемента розумітимемо коефіцієнт пропорційності між повним згинальним моментом та

кривизною:

$$-\frac{M_i}{\chi_i} = B_i. \quad (21)$$

Тоді, виразивши у формулі (19) жорсткість $E_i I_i$ через кривизну χ_i і сумуючи роботу внутрішніх зусиль по всім складеним стрижням в одиничній смужці, яка прилягає до перетину k , отримаємо:

$$A_k = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^{n+1} M_i \chi_i. \quad (22)$$

Робота податливих поперечних зв'язків і зв'язків зсуву одиничної смужки, прилеглої до перетину k , для розглянутої задачі матиме вигляд:

$$B_k = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^n q_{1sw,i} a_{crc,i} \sin \alpha_i + \frac{2}{3} \sum_{i=1}^n q_{sw,i} a_{crc,i} \cos \alpha_i \quad (23)$$

де $q_{1sw,i}$ та $q_{sw,i}$ – відповідно горизонтальна та вертикальна складові погонного зусилля в i -му шві в перетині k ; $a_{crc,i}$ – ширина розкриття i -ї тріщини в перетині k ; α_i – кут нахилу i -ї тріщини в перетині k .

У результаті сумарна робота внутрішніх сил для одиничної смужки, прилеглої до перетину k , дорівнює сумі виразів (22) і (23):

$$A_{k,\Sigma} = A_k + B_k. \quad (24)$$

Тепер, маючи величину $A_{k,\Sigma}$, можна замінити одиничну смужку складеного стрижня на еквівалентну одиничну смужку звичайного залізобетонного стрижня, внутрішня робота якої дорівнює $A_{k,\Sigma}$. При цьому для k -го перетину значення кривизни може бути визначене з виразу:

$$\chi_k = \frac{2A_{k,\Sigma}}{3M_{0,k} + N_{0,k} y_k}, \quad (25)$$

де $M_{0,k}$ – сумарний момент в перетині k , викликаний зовнішнім навантаженням; y_k – відстань від точки прикладення рівнодіючої сили $N_{0,k}$ до зогнутої вісі стрижня на ділянці з похилими тріщинами (уточнюється в процесі ітерацій як зовнішній вплив).

Після порушення суцільності залізобетонного елемента ширина розкриття цих тріщин повинна (див. роботи М. В. Корноухова) враховуватися у формулах переміщень як зосереджена деформація зсуву.

Переміщення вигнутої осі (або нижньої грані: у цілому ряді випадків вона є визначальною з перевірки технологічних вимог, – тоді підсумовування тріщин ведеться по всьому поперечному перерізу залізобетонного елемента), що визначає прогин залізобетонного елемента, включає також деформації зосередженого зсуву. Ці деформації, а також зосереджені кутові деформації безпосередньо включаються у рівняння прогинів і кутів повороту.

Розглянемо довільно завантажений залізобетонний стрижень (рис. 5, б). Розіб'ємо його на n ділянок. Тоді для i -ї ділянки з абсцисами граничних точок b_i та b_i+l_i можна записати:

$$\chi(z) = \chi_i + \frac{\chi_{i+1} - \chi_i}{l_i} (z - b_i). \quad (26)$$

Підставимо цей вираз в диференційне рівняння стиснуто-зогнутого стрижня ($y_i'' = \chi$) та вирішимо його відносно y . Потім, використовуючи рекурентні залежності в формі методу початкових параметрів, виражаємо постійні інтегрування для i -ї ділянки через постійні інтегрування першої ділянки. В результаті рівняння зогнутої осі стрижня матиме вигляд:

$$y_i = y_1 + \varphi_1 l \frac{i-1}{n} + \frac{l^2}{n^2} \left[\frac{(3i-4)\chi_1 + \chi_i}{6} + \sum_{j=2}^{i-1} \chi_j (i-j) \right] + \delta_i, \quad (27)$$

а рівняння кутів повороту –

$$\varphi_i = \varphi_1 + \frac{l}{n} \left[\frac{\chi_1 + \chi_i}{2} + \sum_{j=2}^{i-1} \chi_j \right] + \Theta_i. \quad (28)$$

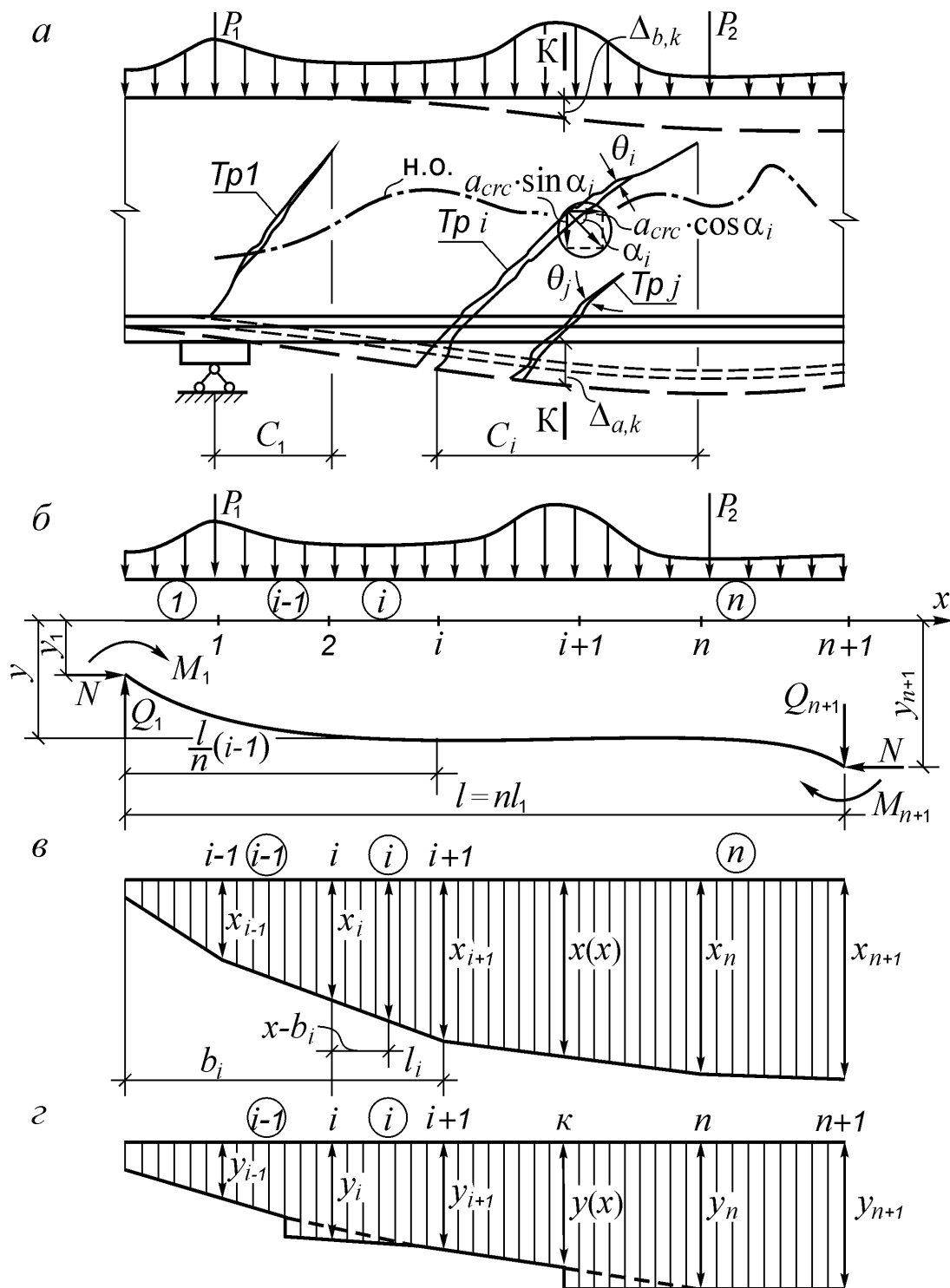


Рис. 5. До розрахунку залізобетонного елемента за деформаціями на ділянках з похилими тріщинами: а – схема тріщин і переміщення в перетині k ; б – розрахункова схема стрижня; в – епюра кривизни; г – епюра прогинів

Перша група електротензорезисторів встановлювалася у вигляді безперервного ланцюга в пази (розміром $3 \times 4 \times 300$ мм) робочих арматурних стрижнів з метою виміру дослідних деформацій арматури. *Друга* група електротензорезисторів встановлювалася на бетон на берегах тріщин (після їх утворення) на рівні осі арматури. Призначення цієї групи електротензорезисторів полягало в необхідності виміру дослідних деформацій бетону на рівні осі арматури в безпосередній близькості від тріщини – зоні, де проявляється деформаційний ефект порушення суцільності в залізобетоні. *Третя* група електротензорезисторів мала спеціальне розташування у вигляді "пастки" на шляху поширення нормальних і похилих тріщин з метою виміру дослідних характеристик зони попереднього руйнування. *Четверта* група електротензорезисторів встановлювалася в стиснутій зоні бетону з метою виміру дослідних деформацій укорочення бетону і визначення висоти цієї зони.

Показання електротензорезисторів дублювалися за допомогою механічних приладів – індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм і 0,002 мм.

Проведені експерименти значною мірою доповнюють накопичений експериментальний матеріал. Отримані детальні картини розвитку тріщин, (рис. 7) .

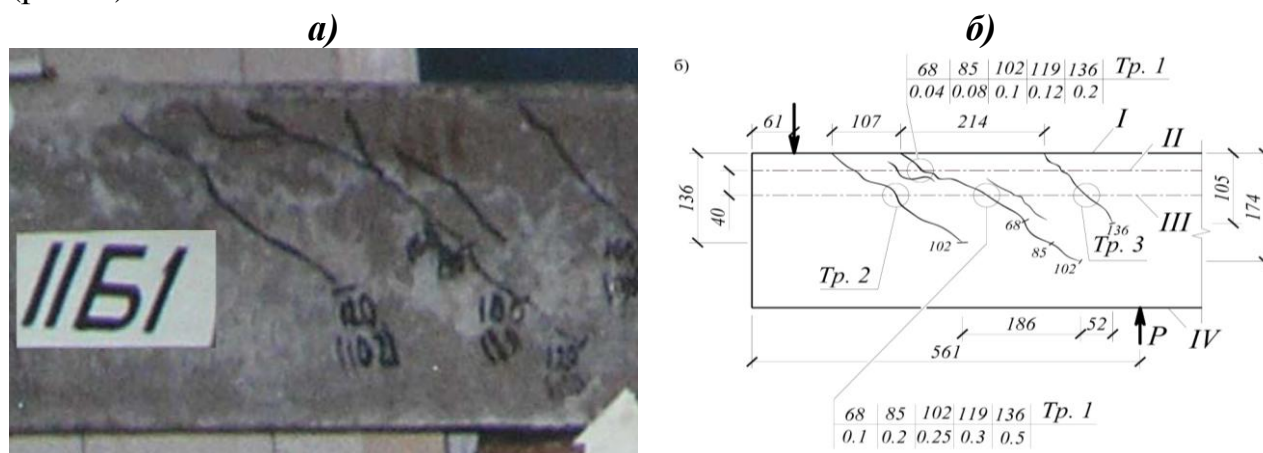


Рис. 7. Фото дослідної конструкції ПБ1 (а) та схема розвитку і розкриття тріщин (б)

Аналіз деформацій бетону вздовж осі розтягнутої арматури на берегах тріщин показує, що вони, мають деформації укорочення співмірні з деформаціями стиснутої зони бетону. Такий аналіз став можливим тільки при суміщенні картини деформацій зі схемою розташування тріщин по відношенню до електротензорезисторів.

Не менш важливою була інформація, отримана за допомогою електротензорезисторів, встановлених на бетон за схемою "пастка" – електротензорезистори, встановлені на шляху руху тріщини, мають деформації розтягування, які не перевищують граничного подовження бетону, що пов'язане з їх пластичним перерозподілом.

Експериментально встановлено, що ширина розкриття нормальних і похилих тріщин на рівні осі арматури в 1,5–3 рази менше, ніж на деякому (40мм) віддаленні від цієї осі. Таким чином, арматура стримує розкриття

тріщини, протидіючи розкриттю її берегів. Виникаючи при цьому реакції викликають місцевий стиск у бетоні в околиці тріщини в близько арматурної зоні – ефект порушення суцільності .

Експерименти підтвердили наявність не одного, а декількох рівнів появи тріщин, аж до руйнування залізобетонної конструкції. При цьому підтверджена правомірність використання гіпотези плоских перерізів для середніх деформацій бетону та арматури.

Четвертий розділ дисертації присвячений чисельним дослідженням.

Розроблено алгоритм і виконаний приклад розрахунку з аналізом перерозподілу зусиль у статично невизначених системах залізобетонних конструкцій, результати якого дозволяють побачити ті приховані можливості раціонального армування залізобетонних елементів, які були «невидимими» при використанні існуючих методів розрахунку.

Алгоритм розрахунку жорсткості (переміщень) залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами включає наступні основні операції:

1. На ділянках спільної дії M , N і Q з використанням рівнянь тріщиноутворення встановлюється кількість рівнів похилих тріщин, визначаються відстані між ними вздовж осі поздовжньої і поперечної робочої арматури і ширина їх розкриття та на бічну поверхню наноситься схема тріщин різних типів, у тому числі з максимальною шириною розкриття.

2. Виконується розрахунок утворених арок за відомими формулами будівельної механіки. При цьому в межах поперечного перерізу кожної арки перпендикулярно до її фізичної осі використовується гіпотеза плоских деформацій; зв'язок між напруженнями та деформаціями здійснюється за допомогою діаграми ; інтенсивність деформацій укорочення в арках ($\varepsilon_{b,i}$) не повинна перевищувати граничних (ε_{bu}), інакше відбувається руйнування стінки залізобетонного елемента. У поздовжній і поперечній арматурі визначається величина «нагельного ефекту».

Визначення напружено-деформованого стану здійснюється для їх n перерізів $n \geq 4$, на які розбивається для розрахунку розглянута ділянка з похилими тріщинами. Після цього внутрішні зусилля в утворених залізобетонних арках замінюються додатковими зовнішніми зусиллями відносно зігнутої осі, тобто в процесі ітерації уточнюється балочна розрахункова схема на цій ділянці.

3. З використанням розрахункової схеми одиничних смужок складеного залізобетонного стрижня з тріщинами, виконується розрахунок і визначаються кривизни (жорсткості) обраних n перетинів залізобетонного елемента на ділянках похилих тріщин відповідно до розробленої методики .

Відмінними рисами алгоритму запропонованої розрахункової методики є: 1) послідовна реалізація розрахунку по модулях "перетин", "стрижневий елемент", «система»; представляється можливим враховувати несумісність деформацій бетону та арматури і порушення суцільності бетону; 2) використання багаторівневої розрахункової схеми, що дає можливість отримати досить точне рішення з одночасним його баченням; 3) вибір певного порядку

вирішення завдань тріщиностійкості і жорсткості, що дозволяє при врахуванні податливості поздовжніх і поперечних зв'язків у складеному стрижні, виключити диференціальні рівняння високих порядків.

Для зручності обчислень (незважаючи на те, що запропонована методика орієнтована на нормативні документи і володіє інженерним баченням виконуваних етапів розрахунку), максимально використовувався прикладний пакет математичних програм MS Excel. Результати порівняльного аналізу прогинів показали що, якщо в середині дослідної конструкції вони розрізняються лише в межах 10%, то в зоні наявності похилих тріщин таке розходження може досягати 30% і більше (рис. 8).

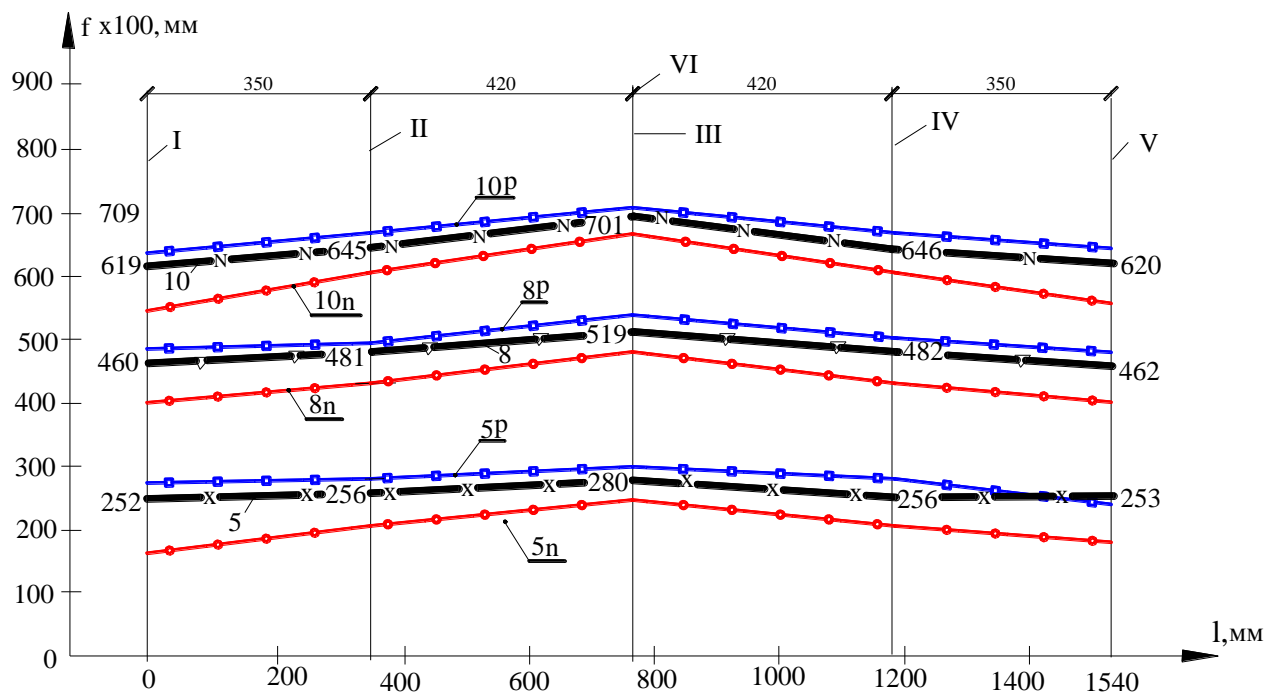


Рис. 8. Графік прогинів дослідного зразку ПБЗ:

5, 8, 10 – експериментальні криві при навантаженні (кН) 85; 110,5; 119; відповідно; 5n, 8n, 10n – розрахункові криві за нормативною методикою; 5p, 8p, 10p – те ж за запропонованою методикою; I, II, III, IV, V – вісі установки прогиномірів П1, П2, П3, П4, П5 відповідно; VI – вісі, що проходять через середину прольоту дослідного зразка

Результати порівняльного аналізу прогинів представницької статистичної вибірки з 148 дослідів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння даних розрахункових методик

Розрахункова методика	Кількість дослідів	Результати статичної обробки даних		
		\bar{X}	σ	C_V
Запропонована методика	148	1,0605	0,094	8,91%
Методика норм	148	0,890	0,2586	29,06%

Як видно з табл. 1, запропонована методика розрахунку має видимі переваги порівняно з нормативною, про що свідчить коефіцієнт варіації $C_V = 8,91\%$ і значення середнього \bar{X} , близького до одиниці.

Список робіт, опублікованих автором за темою дисертації

1. Вакулин Р. Н. Расчет железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности / Р. Н. Вакулин, Е. В. Омельченко, Т. В. Тугай, Н. В. Усенко // Мат. III міжн. наук.-практ. конф. "Аеропорти – вікно в майбутнє" 15–16 червня 2012р. / Проектування та будівництво об'єктів аеропортів : зб. тез. – К. : НАУ, 2012. – С. 22–23.

2. Колчунов В. И. Экспериментальные исследования жесткости железобетонных конструкций в зоне наклонных трещин / В. И. Колчунов, Е. В. Омельченко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2014. – №1. – С. 15–19.

3. Колчунов В. И. Расчетные модели для оценки второй группы предельных состояний железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами / В. И. Колчунов, К. В. Омельченко, О. В. Василишин // Будівництво України. – 2007. – №6. – С.43–47.

4. Колчунов В. И. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях / В. И. Колчунов, Н. Г. Марьенков, Е. В. Омельченко, Т. В. Тугай // Промышленное и гражданское строительство. – М. : 2014. – №2. – С. 25–28.

5. Колчунов В. И. Методика визначення жорсткості плосконапружених і стрижневих залізобетонних складених конструкцій при сейсмічних впливах / В. И. Колчунов, М. Г. Мар'єнков, К. В. Омельченко, Т. В. Тугай // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 50. – С. 286–291.

6. Колчунов В. И. Жесткость железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами / В. И. Колчунов, Е. В. Омельченко, Т. В. Тугай // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. - Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 212–218.

7. Колчунов В. И. Деформирование железобетонных конструкций при наличии наклонных трещин / В.И. Колчунов, К. В. Омельченко // Будівництво України. – Вип. 2. – К.: 2008. – С. 40–43.

8. Омельченко К. В. Экспериментальні дослідження жорсткості залізобетонних конструкцій по похилим перерізам / К. В. Омельченко // // Мат. I міжн. наук.-практ. конгресу "Міське середовище – XXI сторіччя" 10–14 лютого 2014р. / Інноваційні засоби та методи посилення будівельних конструкцій : зб. тез. – К. : НАУ, 2014. – С. 21–24.

9. Численный анализ экспериментальных исследований фрагмента железобетонного каркасного здания при сейсмическом воздействии / [Марьенков Н.Г., Недзведская О.Г., Колчунов В.И., Яковенко И.А. и др.] // Будівельні конструкції : будівництво в сейсмічних районах : зб. наук. праць.– К.: НДІБК, 2008. – Вип. 69. – С. 712–723.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основний результат дисертаційної роботи – вирішення важливої науково-технічної задачі побудови розрахункової моделі жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами на основі проведених експериментально-теоретичних досліджень .

Основні висновки та результати роботи зводяться до наступного.

1. У зв'язку із збільшенням прольотів сучасних конструкцій, переходом до тонкостінних перерізів з обмеженою висотою і прискоренням термінів введення конструкцій в експлуатацію, розробка методики розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій в зоні похилих тріщин стає нагальною необхідністю. Не тільки при розрахунку по одному з граничних станів другої групи, але і для визначення внутрішніх зусиль у статично невизначених системах, де вони безпосередньо залежать від жорсткості.

2. Побудована нова розрахункова модель жорсткості залізобетонних конструкцій, що об'єднує формування різних типів похилих тріщин (в тому числі, що мають максимальне розкриття), що включає розрахункову схему у вигляді арок і її вирішуючі рівняння; розрахункову схему у вигляді одиначної смужки (і отримане стосовно неї рішення залізобетонного складеного стрижня з тріщинами; розрахункову методику, при врахуванні умовних зосереджених зсувів у швах-тріщинах і роботи внутрішніх сил, параметрів зчеплення і несумісності деформацій бетону та арматури, розвитку тріщин і ефекту порушення суцільності бетону.

3. Розроблено методику та одержані експериментальні дані, значною мірою доповнюють накопичений експериментальний матеріал і забезпечують перевірку пропонованої розрахункової моделі при різних схемах навантаження, характері армування, класах бетону, розкриваючи істотну відмінність (понад 30%) теоретичних і дослідних значень прогинів в зоні похилих тріщин; наявність не одного, а декількох рівнів появи тріщин, аж до руйнування (відстань між тріщинами в два і більше разів впливає на жорсткість); істотне (в 1,5 - 3 рази) збільшення ширини розкриття тріщин на деякій (порядку 40мм) віддаленні від осі арматури; при цьому електротензорезистори, встановлені на березі тріщин уздовж осі арматури, випробовували деформації укорочення, співмірні з деформаціями стиснутої зони бетону (що підтверджує наявність ефекту порушення суцільності в залізобетоні).

4. Розроблено алгоритм розрахунку, що дозволяє зберегти фізичний зміст і інженерне бачення обчислюваних параметрів напружено-деформованого стану і жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами і виключити трудомістку алгебраїзацію формул (як правило, приводить до безлічі помилок).

Результати порівняльного аналізу жорсткості і переміщень з використанням накопиченого банку дослідних даних залізобетонних конструкцій в широкому діапазоні зміни класу і виду бетонів, при різних схемах армування, наявності попереднього напруження і поздовжньої сили, які показують істотне розходження теоретичних прогинів, розрахованих за

нормативною методикою і дослідних значень в зоні наявності похилих тріщин. Так, якщо в середині дослідної конструкції вони розрізняються лише в межах 10%, то в зоні наявності похилих тріщин таке розходження може досягати 30% і більше, що дозволяє побачити ті приховані можливості раціонального армування статично невизначених системах залізобетонних конструкцій, які були «невидимими» при використанні існуючих методів розрахунку і підтверджує ефективність запропонованої розрахункової моделі ($C_v = 8,92\%$, $\bar{X} = 1,025$).

АНОТАЦІЯ

Омельченко К.В. Жорсткість залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2014.

Дисертаційна робота присвячена розробці способу розрахунку жорсткості залізобетонних конструкцій на ділянках з похилими тріщинами, що базується на традиційних передумовах теорії залізобетону, механіки твердого деформівного тіла, який дозволяє істотно відредагувати жорсткість залізобетонних конструкцій.

Проведені експериментальні дослідження та отримані нові дані основних параметрів: прогинів (переміщень), ширини розкриття тріщин на рівні осі поздовжньої розтягнутої арматури і вздовж всього профілю тріщини; зміни відстані між тріщинами та довжини тріщин за мірою збільшення навантаження, деформацій робочої арматури і бетону вздовж осі робочої арматури між тріщинами, які надають можливість перевірки запропонованого розрахункового апарату й основних передумов і допущень.

Виконані чисельний і порівняльний аналізи в широкому діапазоні зміни прольотів «зрізу» при різноманітних схемах армування, класу бетонів, форми та розмірів поперечного перерізу, поперечної сили, величини попереднього напруження та зміни відстані від вісі армування та розтягнутої грані елемента, які показали достатню точність результатів, одержаних за розробленою методикою, а також покладених в її основу передумов і допущень.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, жорсткість, похилі тріщини, порушення суцільності.

АННОТАЦИЯ

Омельченко Е. В. Жесткость железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения.

– ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», Киев, 2014.

Диссертационная работа посвящена разработке способа расчета жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами, основанного на традиционных предпосылках теории железобетона, механики твердого деформируемого тела, который позволяет существенно откорректировать параметры жесткости.

Во введении обоснована актуальность темы, научная новизна и практическая значимость, приведена общая характеристика работы.

В первом разделе проанализировано большое количество научно-исследовательских работ, выполненных в рамках разработки жесткости, трещиностойкости железобетонных конструкций по наклонным сечениям, систематизировано их в основные группы, на основании которых обоснованы задачи дальнейших исследований.

Второй раздел посвящается построению расчетной модели жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами. Представлены расчетные схемы в виде арок, образующихся по наклонным трещинам различных типов и разрешающие уравнения для определения усилий в этих арках, а также расчетная схема единичной полосы железобетонного составного стержня и разрешающие уравнения составного стержня при наличии трещин. Приведены зависимости для определения расстояний между наклонными трещинами и ширины раскрытия трещин, проекций опасной наклонной трещины, методика определения жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами.

Для проверки предлагаемого способа расчета и положенных в его основу рабочих гипотез были выполнены экспериментальные исследования жесткости железобетонных конструкций, приведенные **в третьем разделе**, с отысканием плоско-напряженного деформирования бетона, продольной и поперечной арматуры при различных схемах нагружения, характере армирования и классах бетона. Выполнен анализ картин трещинообразования, подтверждающий наличие вееров наклонных трещин, прилегающих к грузу и к опоре. Построены графики зависимостей прогибов от нагрузки, подтверждающие наличие деформационного эффекта, связанного с нарушением сплошности железобетона.

Четвертый раздел диссертации посвящен численным исследованиям. Разработан алгоритм и выполнен пример расчета. Для реализации алгоритма использовался прикладной пакет математических программ MS Excel. Приведено сопоставление данных по предлагаемой и нормативной методике расчета с использованием опытных данных автора и собранного банка опытов в широком диапазоне изменения основных параметров, которые подтверждают заметные преимущества предлагаемой методики и обоснованность положенных в основу этой методики предпосылок и формул.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, жесткость, наклонные трещины, нарушение сплошности.

ABSTRACT

Omelchenko E.V. The rigidity of reinforced concrete constructions in areas with inclined cracks. – Manuscript.

The thesis for obtained the scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.23.01 – Building constructions, buildings and structures.

– State Enterprise "State Scientific-Research Institute of Building Constructions ". – Kiev, 2014.

The thesis is devoted to developing the method of calculating the rigidity of reinforced concrete constructions in areas with inclined cracks based on traditional assumptions of the theory of reinforced concrete, mechanics of solid deformable body, which can significantly edit the rigidity of concrete constructions.

Experimental studies and new data parameters: deflections (displacements), the width of the crack opening at the level of the longitudinal axis of the armature and stretched along the crack profile, changing the distance between the cracks and crack length per degree increase in load, working strain reinforcement and concrete along the axis of the working reinforcement between cracks that enable verification of the proposed settlement apparatus and basic premises and assumptions.

Numerical and comparative analysis of the changes in a wide range spans “cut” with various schemes of reinforcement, concrete class , shape and size of the cross section, transverse strength values prestressing and changing the distance from the axis of the reinforcement and stretched verge of items that showed sufficient accuracy of results, obtained by the method developed and used as the basis of prerequisites and assumptions.

Keywords: reinforced concrete constructions, rigidity, inclined cracks, discontinuity.