

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

ПОЛЯНОВСЬКА ОЛЕНА ЄВГЕНІВНА

УДК 624.012

**ЗЧЕПЛЕННЯ З БЕТОНОМ АРМАТУРИ СЕРПОПОДІБНОГО
ПРОФІЛЮ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЇЇ АНКЕРУВАННЯ
В ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2015

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Борисюк Олександр Павлович,
Національний університет водного господарства
та природокористування,
професор кафедри промислового, цивільного
будівництва та інженерних споруд.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Азізов Галят Нуредінович,
Уманський державний педагогічний університет
імені Павла Тичини, завідувач кафедри техніко-
технологічних дисциплін, охорони праці та безпеки
життєдіяльності;

кандидат технічних наук, доцент
Шмиг Роман Андрійович,
Львівський національний аграрний університет,
доцент кафедри будівельних конструкцій.

Захист відбудеться «.....» _____ 2015 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 в національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів -13, вул. Карпінського, 6, навчальний корпус 2, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



П. Ф. Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зчеплення арматури з бетоном є важливою якістю залізобетону, яка забезпечує його надійність і залежить від великої кількості факторів: міцності бетону, виду та діаметра арматури, довжини зароблення стержнів у бетон, характеру навантаження, гранулометричного складу суміші, умов твердіння, розташування стержнів при бетонуванні тощо. Дослідженням зчеплення арматури з бетоном постійно надавалася велика увага, але до цього часу в практиці проектування залізобетонних конструкцій немає достатньо узагальнених і добре обґрунтованих методів розрахунку зчеплення і анкерування арматури.

На сучасному етапі актуальність і необхідність досконалих досліджень зчеплення арматури з бетоном і удосконалення методики розрахунку її анкерування обумовлені такими основними обставинами:

- повсюдним використанням для виготовлення залізобетонних конструкцій нової арматури серпоподібного профілю, зчеплення якої з бетоном вивчено недостатньо;

- набрали чинності нові нормативні документи, які гармонізовані з європейськими і в яких використовуються емпіричні формули і коефіцієнти, що потребують уточнень на підставі результатів експериментальних досліджень в національних умовах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи виконувалася відповідно до держбюджетних тем : «Дослідити зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та удосконалити методику розрахунку її анкерування» (державний реєстраційний номер 0113U004053); «Розробити нові та удосконалити існуючі методики розрахунку будівельних конструкцій, включаючи підсилені, при дії одноразових і повторних навантажень» (державний реєстраційний номер 0112U001122).

Дослідження проводилися також на виконання рішення Шостої Всеукраїнської науково-технічної конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (24 – 27 травня 2011 р.), яка рекомендувала продовжувати докладні дослідження зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є: теоретично та експериментально обґрунтувати розрахункові значення граничних напружень зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю; встановити вплив довжини анкерування стержнів на вільних опорах та стержнів, що обриваються в прольотах, на напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів; удосконалити методику розрахунку анкерування арматури, гармонізованою з європейськими стандартами (Єврокод – 2).

Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- отримати нові експериментальні дані щодо зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю;

- на основі планованого експерименту побудувати математичні моделі для визначення напружень зчеплення арматури з бетоном залежно від діаметра арматури, міцності бетону, довжини анкерування, кількості повторних навантажень;

- встановити вплив товщини захисного шару бетону на напруження зчеплення арматури з бетоном та дослідити вплив довжини анкерування стержнів на вільних опорах та стержнів, що обриваються в прольотах, на напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів;

- встановити розрахункові значення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном;

- розробити пропозиції щодо удосконалення методики розрахунку анкерування арматури серпоподібного профілю в згинальних залізобетонних елементах, гармонізовану з європейськими стандартами.

Об'єкт дослідження: зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та її анкерування в згинальних залізобетонних елементах.

Предмет дослідження: математичні моделі для визначення напружень зчеплення арматури з бетоном, фактори, які впливають на напруження зчеплення, напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів залежно від довжини анкерування стержнів, удосконалення методики розрахунку анкерування арматури в згинальних залізобетонних елементах.

Методи дослідження: аналіз експериментальних і теоретичних досліджень зчеплення арматури з бетоном; експериментальні дослідження з використанням методів планованих експериментів та однофакторних експериментів; використання закономірностей опору матеріалів; побудова математичних моделей; статистичний аналіз експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- одержані нові експериментальні дані опору витяганню з бетону стержнів серпоподібного профілю, впливу довжини анкерування стержнів на несучу здатність та напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів;

- вперше на основі планованих експериментів отримані математичні моделі для визначення граничних напружень зчеплення з бетоном стержнів з серповидним профілем;

- встановлений характер впливу класу бетону, діаметра і довжини заробки стержнів в бетон, товщини захисного шару та повторної дії навантажень на характер опору арматури витяганню з бетону;

- запропоновані теоретично і експериментально обґрунтовані розрахункові значення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном та удосконалена методика розрахунку анкерування арматури.

Достовірність одержаних результатів забезпечена використанням в експериментах методу планованого експерименту, досконало розробленою методикою виконання експериментальних досліджень та застосуванням сучасних приладів і апаратури, використанням перевірених практикою теоретичних положень, використанням положень національних та європейських нормативних документів, статистичною оцінкою збіжності розрахункових формул з експериментальними даними.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована удосконалена методика розрахунку довжини анкерування арматури може використовуватися при проектуванні згинальних залізобетонних елементів, що підвищить їхню надійність в

процесі експлуатації. Основні положення удосконаленої методики надані Державному підприємству «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» для використання при розробці настанови з проектування монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд в частині вимог до розрахунку зони анкерування арматури. Методика використана при розрахунку і конструюванні монолітних залізобетонних балок і плит в проектах трьох об'єктів в м. Рівне.

Результати досліджень запроваджені в навчальний процес шляхом введення в навчальний план нової лабораторної роботи та виконання магістерських кваліфікаційних робіт (виконано сім робіт), а також включенням матеріалів досліджень в лекції з дисципліни «Будівельні конструкції».

Упровадження результатів досліджень засвідчені відповідними довідками.

Особистий внесок здобувача. Формулювання теми дисертації, мети і основних задач виконано спільно з науковим керівником. Основні результати експериментальних досліджень, їх аналіз, розробка удосконаленої методики визначення довжини анкерування арматури в згинальних залізобетонних елементах належать особисто автору. В опублікованих у співавторстві роботах здобувачеві належать:

- обґрунтування використання планованого експерименту та складання планів експерименту [6, 9];

- побудова математичних моделей для визначення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном та аналіз впливу основних факторів на граничні напруження зчеплення арматури з бетоном [4, 5, 6];

- обробка і аналіз результатів експериментальних досліджень опору арматури повторному витяганню з бетону [10];

- аналіз впливу товщини захисного шару бетону на граничні напруження зчеплення [3,8, 9, 14];

- пропозиції щодо удосконалення методики розрахунку анкерування арматури в згинальних залізобетонних елементах [1, 2, 7, 9].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень оприлюднювалися на: Міжнародних конференціях молодих учених «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (18 – 19 листопада 2010 р., Білорусь, м. Могильов та 17 – 18 листопада 2011 р., Білорусь, м. Могильов); III Міжнародному симпозіумі «Проблемы современного бетона и железобетона» (9 – 11 листопада 2011 р., м. Мінськ); шостій та сьомій Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (24 – 27 травня 2011р., м. Одеса та 27 – 31 травня 2013 р., м. Рівне); восьмій Міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (12 – 16 жовтня 2014 р., м. Рівне); одинадцятій Міжнародній науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (11 – 14 листопада 2014 р., м. Полтава).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 17 наукових праць, з них 12 у фахових вітчизняних виданнях, 4 у закордонних виданнях, одна у закордонному фаховому періодичному виданні. Одноосібно опубліковано 6 праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Роботу викладено на

161 сторінці в текстовому редакторі Word, з яких 113 сторінок основного тексту, 8 повних сторінок з рисунками та таблицями, 18 сторінок списку використаних джерел (149 найменувань), 39 таблиць та 61 рисунок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, наведена загальна характеристика дисертації.

У першому розділі відмічено про значення зчеплення арматури з бетоном для забезпечення надійності залізобетонних конструкцій, наведені особливості стержнів серпоподібного профілю, виконано огляд експериментально-теоретичних досліджень зчеплення арматури з бетоном, а також наведено аналіз методик розрахунків анкерування арматури в залізобетонних конструкціях.

Проблемі зчеплення арматури з бетоном присвячували свої роботи багато як вітчизняних, так іноземних вчених, серед яких Астрова Т. І., Ахвердов І. М., Веселов О. О., Гараї Т., Гвоздев О. О., Карпенко М. І., Кольнер В. М., Лучко Й. Й., Оатул О. О., Прокопович І. Є., Скоробогатов С. М., Холмянський М. М., Цейтлін С. Ю., Broun R. Y., Rehm G. та інші. Завдяки цим дослідженням до кінця сімдесятих років була розроблена теорія зчеплення арматури з бетоном та методика розрахунку її анкерування, яка стала основою будівельних норм з проектування залізобетонних конструкцій, що набули чинності в 1984 році і діяли в нашій країні до 2011 року.

В останні роки повсюдного застосування набула арматура нового профілю відповідно до ДСТУ 3760:2006, яка має геометричні параметри, що суттєво відрізняються від стержнів гвинтового профілю (бувша арматура класів А-II, А-III). Досліджень зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю на даний час виконано дуже мало. В нашій країні такі дослідження виконували Клімов Ю. А., Бабич Є. М., Демчина Б. Г., Верба В. Б., Чапюк О. С., Вавринюк Б. А. Також можна відмітити дослідження Хотько О. О. (Білорусь), Семченкова О. С. (Росія). Зазначимо, що ці дослідження в повній мірі не виявили особливостей зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю.

З 2011 року в нашій країні набрали чинності нові нормативні документи з проектування залізобетонних конструкцій, які гармонізовані з європейськими нормами, а окремі положення розрахунку анкерування арматури повністю використані. Правомірність такого використання положень і емпіричних коефіцієнтів потребує уточнень на підставі результатів експериментальних досліджень в національних умовах.

Для подальшого вивчення особливостей арматури серпоподібного профілю та удосконалення розрахунку її анкерування в дисертаційній роботі виконано комплекс експериментальних досліджень, який містить в собі сім серій дослідів: в першій і другій серіях методом планованих експериментів досліджувався опір арматури витяганню; в третій, четвертій і п'ятій серіях досліджувався вплив товщини захисного шару на напруження зчеплення стержнів з бетоном; шоста і сьома серії дослідів присвячені встановленню впливу довжини анкерування поздовжніх стержнів на вільних опорах та обірваних стержнів в прольотах на напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів.

У другому розділі обґрунтовано використання планованого експерименту для побудови математичних моделей напружень зчеплення арматури з бетоном, розроблені плани Бокса - Бенкіна для першої і другої серій дослідів, описана конструкція дослідних зразків та методика їх випробовувань.

Стосовно зчеплення арматури з бетоном систему «бетон – арматура» можна розглядати як дифузну систему, для якої особливо ефективним є статистичний метод дослідження, що дозволяє представляти експериментальний матеріал у формі аналітичного виразу – рівняння регресії (математичної моделі). Отримання рівняння регресії здійснюється на основі математичного планування експерименту, за результатами якого математична модель представляється у вигляді поліному

$$\hat{y} = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_1^k b_{ij} x_{ij} + \sum_1^k b_{ii} x_{ii}^2 + \dots, \quad (1)$$

де \hat{y} – розрахункове значення параметра оптимізації;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії, які визначаються статистичним шляхом на підставі експериментів;

x_1, x_2, \dots, x_k – незалежні змінні, які можна варіювати при виконанні експерименту.

В дисертаційній роботі за параметр оптимізації прийняті граничні напруження зчеплення f_b (У), які виникають на поверхні контакту арматури з бетоном, а незалежними змінними (факторами впливу) – діаметр арматури x_1 , міцність (клас) бетону x_2 , довжина заробки (анкерування) стержнів в бетон x_3 , кількість повторних навантажень x_4 . Оскільки бетон є пружно-пластичним матеріалом і йому притаманні криволінійні залежності механічного стану, в двох перших серіях дослідів використаний трьохфакторний план Бокса-Бенкіна (таблиця 1).

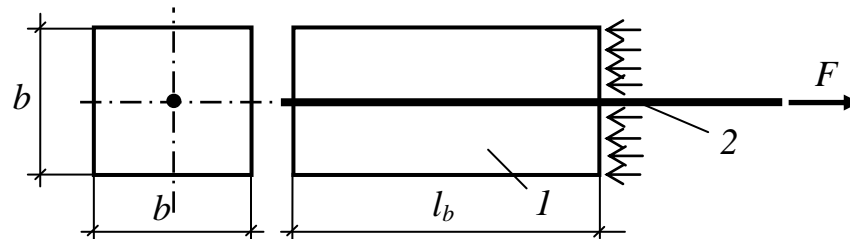
Таблиця 1 - Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Перша серія дослідів					
Діаметр стержнів, d , мм	x_1	12	16	20	4
Призмova міцність, $f_{cm, prism}$, МПа	x_2	21,1	26,1	30,8	4,85
Довжина анкеровки, l_b	x_3	$5d$	$10d$	$15d$	$5d$
Друга серія дослідів					
Діаметр стержнів, d , мм	x_1	12	16	20	4
Довжина анкеровки, l_b	x_3	$5d$	$7,5d$	$10d$	$2,5d$
Кількість циклів, n	x_4	1	6	11	5

Перший, третій та четвертий фактори мають високий ступінь управління, що дає можливість вибирати заданий рівень варіювання. Другий фактор – міцність бетону важко керований, тому, щоб досягти однакових інтервалів варіювання попередньо робилися пробні замиси і випробування бетонних призм у віці 28 діб. В результаті в досліді було отримано міцність на основному рівні $f_{cm, prism} = 26,1$ МПа,

на нижньому – 21,1 та на верхньому – 30,8 МПа. В другій серії всі зразки виготовляли з бетону, середня призмova міцність якого у віці 28 діб складала $f_{cm,prism} = 28,3$ МПа. Арматурv використана класу А500С.

Основні дослідні зразки виготовляли у вигляді бетонних призм квадратного перерізу, сторони якого дорівнювали 15 см, а висота - запланованій довжині анкерування. Арматурні стержні розташовували в призмах таким чином, щоб їхні поздовжні осі співпадали, а виступаючі з призм частини стержнів дозволяли з одного боку закріплювати в захватах гідравлічного преса, а з другого (вільного) кінця стержнів – вимірювати їхні переміщення відносно торця призм (рисунок 1). Всі параметри зразків приймалися відповідно до матриці плану Бокса-Бенкіна. В кожній точці плану (12 рядків) виготовляли по три зразки-близнюки, а на основному рівні (13-й рядок) – шість зразків (в кожній серії по 42 основних зразків).



1 – бетонна призма; 2 – арматурний стержень

Рисунок 1 -Конструктивна схема дослідних зразків та схема їх випробовувань

Дослідження зчеплення арматури з бетоном здійснювали шляхом витягування стержнів із бетонних призм з використанням спеціального реверсного пристрою в розривній гідравлічній машині УИМ–50. Під час навантаження ступенями, рівними $\Delta F = (0,5 - 1,0)$ кН, вимірювали проковзування вільного кінця стержня відносно торця призми індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, які кріпили до торця призм спеціальними держачками (рисунок 2).



Рисунок 2 -Загальний вигляд випробування зразків у силевій установці та вигляд зразка після руйнування

За граничний стан зчеплення арматури з бетоном приймали зусилля в стержні F_u , коли зміщення його вільного кінця відносно торця призми складало $\delta_u = 0,1$ мм або відбувалося руйнування призми при $\delta < 0,1$ мм (рисунок 2). За отриманими для кожного зразка значеннями F_{ui} визначали максимальні середні дотичні напруження (напруження зчеплення) по поверхні контакту стержня з бетоном в кожній точці

плану f_{bi} , а також їхні середні значення f_{bm} в кожному рядку плану (13 рядків). На основному рівні граничні напруження зчеплення для першої і другої серії дослідів відповідно склали $f_{bm} = 7,11$ і $7,35$ МПа.

Коефіцієнти рівняння регресії (1) b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} для трирівневого плану Бокса-Бенкіна визначали статистичним шляхом за відомими методиками, розробленими для планованих експериментів, а їх значимість встановили за допомогою t -критерія Стьюдента для рівня значимості 0,05. Коефіцієнти, які не задовільнили вимоги t -критерія до уваги не приймалися, після чого рівняння регресії (1) набули вигляду: для першої серії дослідів

$$f_b = 7,11 + 1,24x_2 + 1,40x_3 - 0,15x_1^2 - 0,19x_2^2 - 0,96x_3^2 - 0,52x_1x_2, \quad (2)$$

для другої серії дослідів

$$f_b = 7,35 + 0,61x_3 + 0,74x_4 - 0,15x_1^2 + 0,48x_2^2 + 0,40x_3^2. \quad (3)$$

За значенням F -критерію Фішера отримані рівняння регресії (2) і (3) адекватно описують результати експериментальних досліджень.

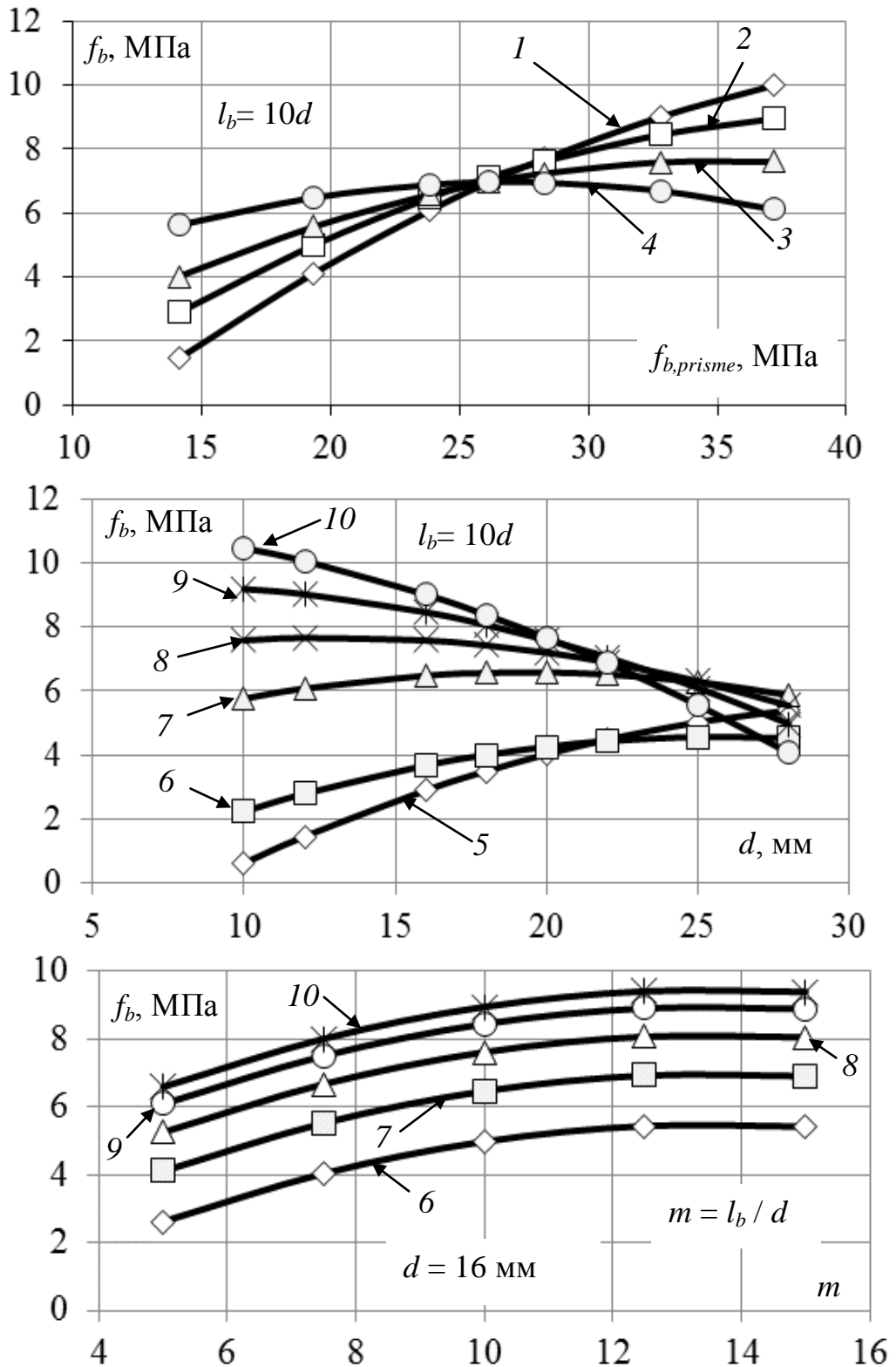
За рівняннями регресії (2) і (3) побудовані графіки впливу на граничні напруження зчеплення: міцності бетону для різних діаметрів і довжини анкерування стержнів; діаметра арматури для різних класів бетону; довжини анкерування для різних класів бетону і діаметрів стержнів; кількості циклів повторних навантажень при різних діаметрах стержнів і класах бетону. Як приклад, на рисунку 3 вибірково наведені окремі графіки впливу названих факторів на граничні напруження зчеплення.

Математична модель (2) свідчить про те, що міцність бетону $f_{cm,prism}$ впливає на граничні напруження зчеплення f_b як лінійний і квадратичний фактор, так і фактор взаємодії з діаметром стержнів. Відповідно до математичної моделі (2) характер впливу діаметрів стержнів на граничні напруження зчеплення їх з бетоном f_b за довжини анкерування $l_b = 5d, 10d$ і $15d$ практично однаковий, але за значеннями є відмінності. Характер впливу довжини анкерування стержнів практично однаковий для різних діаметрів та різних класів бетону. При цьому, зі збільшенням класу бетону і збільшенням діаметра стержнів значення граничних напружень зчеплення зближаються між собою. Спостерігається стабілізація цих значень при $l_b = 10d$ і більше.

Аналіз рівняння регресії (3) показує, що після шестикратного навантаження до умовного експлуатаційного рівня (60...65% від руйнівного) в усіх зразках спостерігається незначне збільшення граничних напружень, але малоциклове витягання призводить до збільшення повного проковзування стержнів в бетоні.

Третій розділ дисертації присвячений вивченню впливу товщини захисного шару на граничні напруження зчеплення арматури з бетоном. Третя і четверта серії дослідів містили в собі по 30 основних зразків у вигляді бетонних призм з заробленими в них арматурними стержнями, які розташовувалися паралельно поздовжній осі на різній віддалі від зовнішньої поверхні бетону (рисунок 4). Призми мали поперечний переріз 100×100 і 150×150 мм, в яких розташовувалися стержні діаметром відповідно $d = 12$ і 20 мм. Довжина призм (довжина анкерування стержнів) приймалася рівною $l_b = 10d$, тобто 120 і 200 мм.

Виготовляли по три зразки-близнюки. Прийняте наступне позначення зразків: перша цифра – номер серії; буква «П» - оболонка у вигляді призми; наступна цифра



1 - діаметр стержнів 12 мм; 2 - те саме 16 мм; 3 - те саме 20 мм; 4 - те саме 25 мм; 5 - клас бетону C12/15; 6 - те саме C16/20; 7 - те саме C20/25; 8 - те саме C25/30; 9 - те саме C30/35; 10 - те саме C35/40

Рисунок 3 – Вплив окремих факторів на граничні напруження зчеплення f_b

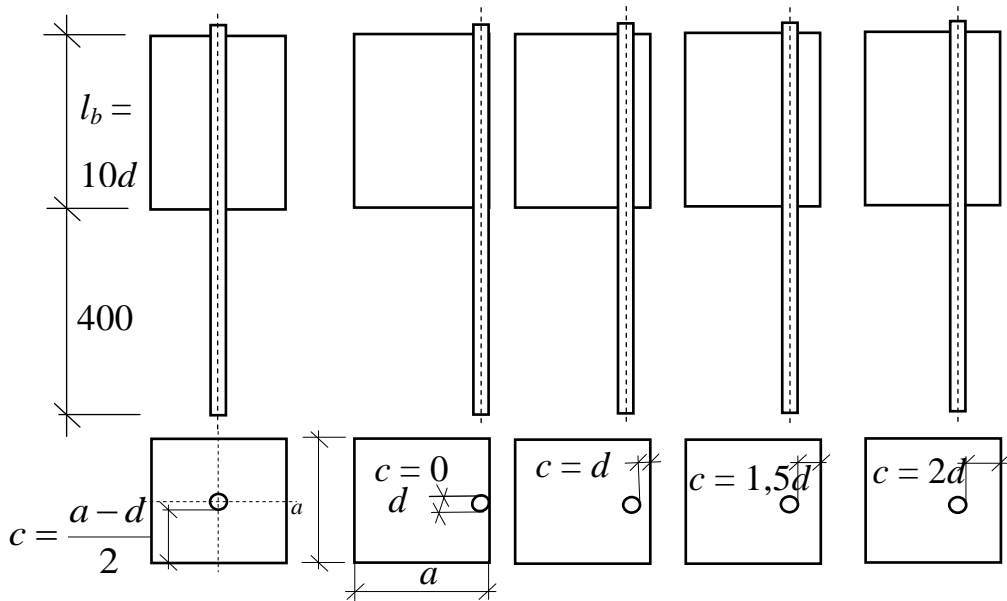


Рисунок 4 - Конструктивні схеми дослідних зразків ($a = 100$ і 150 мм)

– діаметр стержня в мм; після дефіса – товщина захисного шару в мм; наступна цифра – номер зразка - близнюка.

Зразки п'ятої серії, які випробовувалися за балковою методикою, виготовляли у вигляді спеціальних бетонних пів-балок, з'єднаних між собою в розтягнутій зоні арматурним стержнем, а в стиснутій – металевим циліндром. Арматурний стержень діаметром 12 мм в середині пів-балок мав зчеплення з бетоном довжиною $l_b = 10d$, а на інших ділянках пів-балок був розміщений в спеціальних пластикових трубках. В балках 5Б-1...5Б-6 захисний шар складав $c = d = 12$ мм, а в балках 5Б-7 і 5Б-8 - $c = 2d = 24$ мм.

Аналіз результатів експериментальних досліджень засвідчив, що товщина захисного шару суттєво впливає на граничні напруження зчеплення (таблиця 2).

Таблиця 2 - Значення напружень в стержнях та максимальні напруження зчеплення в граничному стані (третья і четверта серії дослідів)

Марка зразків	Напруження в арматурі, σ_s , МПа	Напружен. зчеплення, f_b , МПа	Марка зразків	Напруження в арматурі, σ_s , МПа	Напруження зчеплення, f_b , МПа
3П12-44	230,1	5,75	3П20-65	227,1	5,68
3П12-24	207,9	5,20	3П20-40	208,0	5,20
3П12-18	203,5	5,09	3П20-30	197,3	4,93
3П12-12	177,0	4,43	3П20-20	187,3	4,68
3П12-00	119,5	2,99	3П20-00	127,3	3,18
4П12-00	171,1	4,54	4П20-00	97,7	2,44
4П12-12	283,2	7,52	4П20-20	267,5	6,69
4П12-18	300,9	7,99	4П20-30	286,6	7,17
4П12-24	318,6	8,45	4П20-40	306,5	7,66
4П12-44	347,8	9,23	4П20-65	310,5	7,76

Примітка. Результати наведені як середні по трьом зразкам-близнюкам.

Оцінити вплив товщини захисного шару на максимальні напруження зчеплення з арматурою можна шляхом аналізу зміни відношення f_{bc}/f_{b0} , де f_{bc} – напруження зчеплення для конкретного захисного шару бетону c , f_{b0} – напруження зчеплення для захисного шару $c > 3d$ (стержні розташовані по осі бетонних призм). Статистичний аналіз отриманих даних дає можливість описати відношення f_{bc}/f_{b0} наступною аналітичною формулою:

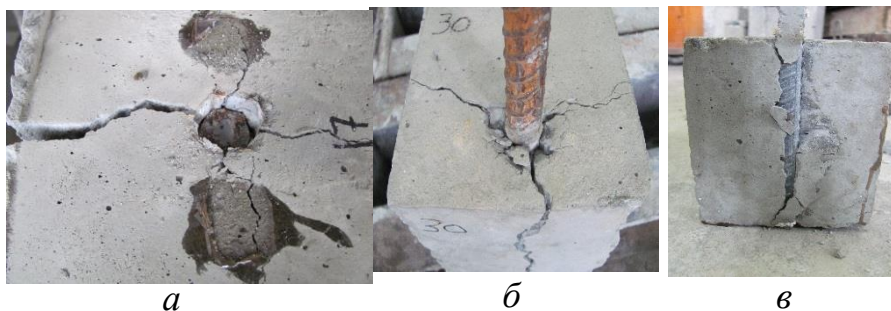
$$\frac{f_{bc}}{f_{b0}} = 0,45 - 0,07m^2 + 0,41m \quad (4)$$

де $m = c/d$ – відносна товщина захисного шару бетону.

Формула (4) має задовільну збіжність з експериментальними даними, середнє відношення теоретичних значень до дослідних складає 0,991 при середньоквадратичному відхиленні 0,043 та коефіцієнті мінливості 4,4%. Формула справедлива при $m \leq 4,0$.

В дослідах п'ятої серії, де вплив захисного шару на зчеплення арматури з бетоном досліджувався за балочною методикою, підтвердили результати отримані в третій і четвертій серіях. Напруження зчеплення при захисному шарі $c = 2d$, виявилися на 10,3% більшими, ніж при

Характер руйнування зразків також залежить від товщини захисного шару. При $c > 3d$ спостерігалось висмикування стержня з утворенням поздовжніх тріщин в напрямку до всіх граней (рисунок 5а). При $c = 1,5d$ тріщини розвивалися в межах захисного шару, а безпосередньо перед повним руйнуванням – в напрямку до бічних граней (рисунок 5б). За відсутності захисного шару відбувалося руйнування бетону в межах половини товщини захисного шару (рисунок 5в).



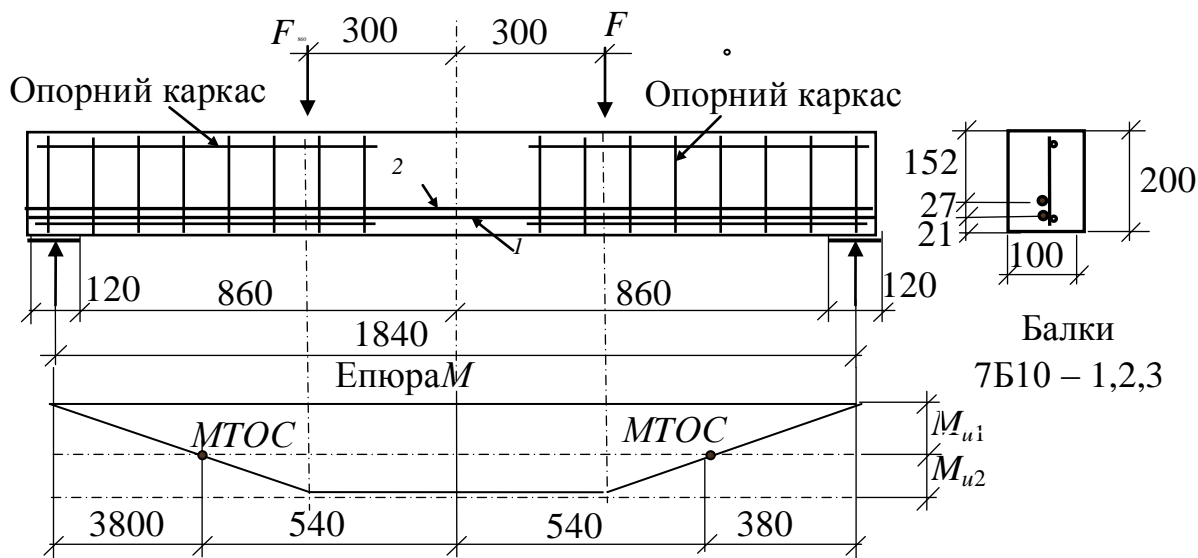
а - $c > 3d$; б - $c = 1,5d$; в - $c = 0$

Рисунок 5 - Характер руйнування зразків третьої серії з діаметром стержнів 20 мм

В четвертому розділі наведені результати дослідження впливу довжини анкерування стержнів на вільних опорах та в прольотах на напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів. На зразках шостої серії (6 балок) перевірялася розроблена методика експериментальних досліджень. Основу цієї серії склали зразки залізобетонних балок, які були виготовлені прямокутного перерізу розміром 100×200 мм та довжиною 1500 мм і армовані двома стержнями діаметром 12 мм, розташованими в два ряди по висоті. На опорах в усіх балках довжина анкерування стержнів приймалася рівною $l_b = 10d$, а в частині балок верхній

стержень обривався в прольоті і мав різну довжину анкерування ($5d$, $10d$). Отримані експериментальні дані свідчать про те, що довжина анкерування обірваних стержнів впливає на несучу здатність нормальних перерізів та на характер руйнування балок, а також на величину проковзування стержнів в бетоні та прогини балок.

При виготовленні зразків балок сьомої серії був врахований досвід досліджень шостої, особливо це стосується конструкції каркасів. Дослідні зразки представляли собою залізобетонні балки з номінальними розмірами поперечного перерізу 200×100 мм та довжиною 200 см. Армування зразків здійснювали наступним чином. В крайні ділянки балок встановлювали по одному плоскому каркасу довжиною 750 мм, в яких була зосереджена монтажна та поперечна арматура із стержнів діаметром 6 мм. Поздовжні робочі стержні діаметром 12 мм прикріплювалися до каркасів в'язальним дротом (рисунок 6). Таке влаштування поздовжньої арматури унеможливило вплив приварювання поперечних стержнів на зчеплення арматури з бетоном. Ділянки стержнів, які мали зчеплення з бетоном, формувалися шляхом ізоляції на інших ділянках за допомогою поліхлорвінілових трубок. Торці всіх поздовжніх стержнів виходили за торцеву грань балок, що давало можливість вимірювати їх переміщення за допомогою індикаторів годинникового типу.



1, 2 – поздовжні робочі стержні діаметром 12 мм класу А500С; МТОС – точка можливого теоретичного обривання стержня 2; M_{u1} – граничний момент, який може прийняти переріз зі стержнем 1; M_{u2} – те саме, зі стержнем 2.

Рисунок 6 - Конструктивна схема армування дослідних балок 7Б10-1,2,3

Маркування балок сьомої серії має такі позначення: буква Б – балка; перша цифра – довжина заведення нижнього стержня за внутрішню грань опори балки; друга цифра – довжина наявності зчеплення з бетоном на ділянці за межами МТОС (довжина анкерування верхнього стержня), треті цифри – номери окремих балок-близнюків; і – наявність ділянки відсутності зчеплення між МТОС; п – балки піддавалися повторним навантаженням.

На час початку випробування балок кубикова міцність бетону склала $f_{cm,cube} = 43,0$, а середня призмочна міцність - $f_{cm,prism} = 31,8$ МПа. Визначена за стандартною методикою межа текучості арматури виявилася рівною $f_{ym} = 594,7$ МПа.

Випробування балок здійснювали в рамних металевих установках з навантаженням двома зосередженими силами за допомогою гідравлічного домкрата (рисунок 7а). В процесі навантаження ступенями вимірювали деформації бетону стиснутої зони, деформації арматури, прогини балок та зміщення торців стержнів відносно торцевої поверхні балок. Всі балки навантажувалися ступенями, величина яких складала (0,07...0,10) від руйнівного, до втрати несучої здатності (таблиця 3).

Таблиця 3–Несуча здатність дослідних балок (сьома серія)

Марка балок	Руйнуюче навантаження, F_u , кН		Руйнуючий згинальний момент. M_u , кН×м	Характер руйнування
	балки	середнє		
7Б10-1	31,90	31,20	17,47 (1,00)	по нормальним перерізам
7Б10-2	31,50			
7Б10-3	30,30			
7Б10/10-1	30,25	30,88	17,29 (0,99)	по нормальним перерізам
7Б10/10-2	31,50			
7Б10/7,5-1	29,25	29,62	16,59 (0,95)	по похилим перерізам біля МТОС
7Б10/7,5-2	30,00			
7Б10/5-1	24,50	25,75	14,52 (0,83)	по похилим перерізам біля МТОС
7Б10/5-2	27,00			
7Б10/0-1	24,00	24,00	13,44 (0,77)	по похилим перерізам біля МТОС
7Б10/0-2	24,00			
7Б5/10-1	26,80	26,90	15,06 (0,86)	по похилим перерізам біля опор
7Б5/10-2	27,00			
7Б10/10i-1	27,00	28,50	15,96 (0,91)	по похилим перерізам біля МТОС
7Б10/10i-2	30,00			
7Б10/5i-1	24,50	24,25	13,58 (0,78)	по похилим перерізам біля МТОС
7Б10/5i-2	24,00			
7Б10/10п-1	32,50	31,75	17,78 (1,02)	по нормальним перерізам
7Б10/10п-2	31,00			
7Б10/5п-1	26,40	26,20	14,67 (0,84)	по похилим перерізам біля МТОС
7Б10/5п-2	26,00			

Контрольні балки 7Б10-1,2,3, в яких обидва стержні по всій довжині мали зчеплення з бетоном, зруйнувалися по нормальному перерізу внаслідок досягнення напруженнями в нижніх стержнях межі текучості з наступним роздробленням бетону стиснутої зони (рисунок 7б). В приопорних ділянках суттєвого розкриття похилих тріщин не відбувалося. Характер руйнування балок свідчить про те, що довжина анкерування стержнів на опорах, рівна $10d$, забезпечує повне використання в роботі арматури.

Такий же характер руйнування мали балки 7Б10/10, а їхня несуча здатність практично така ж, як балок 7Б10 (в середньому менше на 1%). Це підкреслює, що довжина анкерування обірваних в прольоті стержнів, рівна $10d$, також не вплинула на несучу здатність балок. Інший характер руйнування мали балках 7Б5/10, в яких

порівняно з балками 7Б10/10 довжина анкерування нижнього стержня на вільній опорі зменшена з $10d$ до $5d$. Руйнування цих балок відбулося по похилим перерізам біля опор



а - Б10-1 (довипробувань)



б - Б10-1



в - Б5/10-1



г - Б10/5-1



д - Б10/10i-1



е - Б10/5i-1

Рисунок 7 - Характер руйнування окремих балок сьомої серії

В балках 7Б10/5 була зменшена довжина анкерування верхнього стержня з $10d$ до $5d$, внаслідок чого несуча здатність зменшилася на 17%, а руйнування відбулося по похилим перерізам біля місця теоретичного обривання (рисунок 7г). Такий же характер руйнування мали балки 7Б10/7,5, але їхня несуча здатність зменшилася тільки на 5%. В балках 7Б10/10i і 7Б10/5i було усунуто зчеплення верхніх стержнів з бетоном на ділянках між МТОС. Як наслідок, несуча здатність цих балок відповідно зменшилася на 9 і 12%. При цьому балки 7Б10/10i зруйнувалися по похилим перерізам біля МТОС (рисунок 7д), а балки 7Б10/5i після порушення зчеплення на ділянці анкерування зруйнувалися і по нормальним перерізам (рисунок 7е).

Як показали досліди з балками 7Б10/10п і 7Б10/5п, повторні навантаження практично не змінили характер руйнування та їхню несучу здатність. Вони збільшували прогини балок та ширину розкриття тріщин.

П'ятий розділ присвячений розробці пропозицій щодо удосконалення розрахунку анкерування арматури з урахуванням отриманих результатів експериментальних досліджень, яке полягає в установленні розрахункових значень граничних напружень зчеплення, уточненні коефіцієнтів які враховують діаметр арматури та товщину захисного шару бетону.

В правилах проектування ДСТУ Б В.2.6-156:2010 розрахункове значення граничного напруження зчеплення f_{bd} пропонується визначати за формулою

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd} \quad (5)$$

де η_1 – коефіцієнт, пов'язаний із якістю умов зчеплення і розміщенням стержнів під час бетонування;

η_2 – коефіцієнт, що враховує діаметр стержнів (при $d \leq 32$ мм $\eta_2 = 1,0$);

f_{ctd} – розрахункове значення міцності бетону на розтяг відповідно до ДБН.

Як недолік формули (5) можна зазначити, що визначення граничних напружень зчеплення f_{bd} здійснюється опосередковано, а саме, залежно від міцності бетону на розтяг f_{ctd} , яка має найменшу достовірність. Якщо взяти до уваги, що здебільшого коефіцієнти η_1 і η_2 дорівнюють одиниці, то $f_{bd} = 2,25f_{ctd}$, що не відповідає експериментальним даним, оскільки граничні напруження зчеплення залежать не тільки від опору бетону зрізу, а і від опору бетону зминанню виступами стержнів. Також експериментально не підтверджуються значення коефіцієнта η_2 .

М. М. Холмянський запропонував середні значення граничних напружень зчеплення f_{bm} визначати за формулою

$$f_{bm} = \beta \frac{\ln(1 + \alpha\delta)}{1 + \alpha\delta}, \quad (6)$$

де α і β – сталі параметри, які визначаються за експериментальними даними і залежать від міцності бетону і профілю стержнів;

δ – переміщення навантаженого торця стержня відносно торця бетонної призми.

Для визначення коефіцієнтів α і β Холмянським М. М. отримані формули на підставі експериментів з арматурою гвинтового профілю діаметром від 10 до 20 мм за міцності бетону від 10 до 40 МПа. Певно, що для арматури серпоподібного профілю такі формули не придатні, тому для цієї арматури уточнені формули з урахуванням того, що в останній час в дослідженнях зчеплення арматури з бетоном вимірюють переміщення незавантаженого кінця стержня відносно торця призми, а за граничний стан приймають стан руйнування зразка або коли переміщення торця стержня досягає $\delta = 0,1$ мм. На підставі виконаних нами експериментів та експериментів інших авторів рекомендується для визначення коефіцієнтів α і β для арматури серпоподібного профілю використовувати формули:

$$\alpha = 0,78\lambda f_{cm,prism}^{1,5}; \quad (7)$$

$$\beta = 5,71\lambda f_{cm,prism}, \quad (8)$$

де $f_{cm,prism}$ – середня призмове міцність бетону (МПа).

λ - відношення глибини профілювання стержня до кроку ребер.

Розрахунки за математичними моделями (2) і (3) підтверджують достовірність розрахунків за формулою (6) з урахуванням формул (7) і (8). В подальшому для встановлення середніх значень граничного напруження зчеплення f_{bm} використана формула (6). Характеристичні та розрахункові значення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном визначені за методикою ДБН В.2.6-98:2009. Характеристичні значення f_{bk} знайдені з урахуванням коефіцієнта варіації де $V_c = 0,135$, а розрахункові f_{bd} з використанням коефіцієнта надійності за матеріалом, рівним $\gamma_{ct} = 1,5$ (прийнято як для розтягнутого бетону). Розрахункові значення граничних напружень зчеплення наведені в таблиці 6, в якій діаметр враховує тільки характеристики профілю стержнів, а не безпосередньо його розмір.

Для врахування впливу діаметра арматури на напруження зчеплення можна використати уточнену формулу, яка має вигляд

$$\eta_2 = 0,26d - 0,008d^2 - 1,10 \quad (9)$$

де η_2 – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра арматури на граничні напруження зчеплення арматури з бетоном.

Таблиця 6 – Розрахункові значення граничних напружень зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю f_{bd}

Діаметр стержнів, d , мм	Розрахункові значення граничного напруження зчеплення f_{bd} , МПа, для класів важкого бетону							
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/35	32/40	C35/45	C40/50
10 ... 18	0,94	1,63	2,27	2,89	3,47	4,01	4,44	4,95
20 ... 40	0,84	1,47	2,05	2,64	3,20	3,71	4,12	4,62

Однофакторні експериментальні дослідження засвідчили, що стержні діаметром 16...18 мм мають найбільші граничні напруження зчеплення не залежно від міцності бетону. Це підтверджується і результатами експериментальних досліджень методом планованого експерименту (формули 2 і 3). Криві залежностей, побудовані за формулами (2) і (9), практично збігаються. Це підтверджує наявність впливу діаметра арматури на граничні напруження зчеплення. На підставі формул (2) і (9), які отримані за результатами експериментальних досліджень різними методиками, при використанні в розрахунках формули (5) необхідно приймати значення коефіцієнта η_2 , які наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 - Значення коефіцієнта η_2

Діаметр	10	12	14	16	18	20	22
Значення η_2	0,70	0,85	0,95	1,00	1,00	0,90	0,75

В таблиці 7 наведені значення коефіцієнтів η_2 для діаметрів, які досліджувалися, для діаметрів арматури $d \geq 25$ мм необхідно визначати коефіцієнти експериментальним шляхом, а до цього для них можна приймати $\eta_2 = 0,75$.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що товщина захисного шару суттєво впливає на граничні напруження зчеплення (таблиця 2). На основі експериментальних даних отримана залежність (4), яка кількісно оцінює вплив товщини захисного шару на граничні напруження зчеплення. Досліди та залежність (4) свідчать, що повне зчеплення арматури з бетоном відбувається при $c_d \geq 3d$. В нормах проектування передбачається, що повне зчеплення арматури з бетоном забезпечується при $c_d = 1,0d$, але це не підтверджується виконаними експериментами, а тому формула норм для визначення коефіцієнта α_2

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15(c_d - d)}{d}, \quad (10)$$

не враховує достовірно товщину захисного шару і не відображає дійсне фізичне явище зчеплення арматури з бетоном. Для визначення коефіцієнта α_2 на підставі виконаних експериментів пропонується використовувати формулу у вигляді

$$\alpha_2 = 1 + \frac{0,3(c_d - 3d)}{3d}. \quad (11)$$

Формула (11) добре збігається з експериментальними даними і формулою (4) та передбачає, що повне зчеплення арматури з бетоном забезпечується при $c_d \geq 3,0d$ ($\alpha_2 = 1,0$), а при $c_d = 1,0d$ воно складає близько 80% ($\alpha_2 = 0,8$). За формулою (11) слід приймати $\alpha_2 \leq 1,0$.

З урахуванням розроблених пропозицій розрахункову довжину анкерування арматури серпоподібного профілю рекомендується визначати за формулою

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}, \quad (12)$$

де α_1 – коефіцієнт, що враховує форму стержня (для прямих стержнів $\alpha_1 = 1,0$);

α_2 – коефіцієнт, який враховує товщину захисного шару бетону, знаходиться за формулою (11) і приймається в межах $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$;

α_3 , α_4 і α_5 – коефіцієнти, які приймаються згідно таблиці 7.2 ДСТУ;

α_6 – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра стержнів на довжину анкерування і за умови використання значень f_{bd} за таблицею 6 приймається, рівним $\alpha_6 = 1 / \eta_2$ (значення коефіцієнта η_2 приймається за таблицею 7);

$l_{b,rqd}$ – базова довжина анкерування стержня, що визначається за формулою (7.3) ДСТУ Б В.2.6-156:2010, в якій розрахункове значення граничного напруження зчеплення f_{bd} приймається за таблицею 6;

$l_{b,min}$ – мінімальна довжина анкерування стержня в бетоні, приймається не менше $l_{b,min} \geq 10d$.

Для розрахунку довжини анкерування арматури в дисертації розроблений відповідний алгоритм.

ВИСНОВКИ

1. Надійність залізобетонних конструкцій в переважній мірі забезпечується зчепленням стержнів з бетоном та достатнім анкеруванням арматури. Але до цього часу в практиці проектування залізобетонних конструкцій немає достатньо загальних і добре обґрунтованих методів розрахунку зчеплення та анкерування арматури. Рішення цих задач додатково обумовлюється повсюдним використанням для виготовлення залізобетонних конструкцій нової арматури серпоподібного профілю, зчеплення якої з бетоном вивчено недостатньо, та введенням в дію нових гармонізованих з європейськими нормативних документів, в яких використовуються емпіричні формули та коефіцієнти, що потребують уточнень на підставі результатів експериментальних і теоретичних досліджень в національних умовах. Окремі важливі питання цієї проблеми вирішені в даній дисертаційній роботі.

2. Вперше на підставі експериментальних досліджень з використанням планованого експерименту отримані математичні моделі для визначення граничних дотичних напружень зчеплення арматури з бетоном. Адекватність математичних моделей зчеплення експериментальним даним доведена статистичними методами.

3. Отримані математичні моделі дозволяють визначати вплив на граничні напруження зчеплення таких факторів, як міцність бетону, діаметр стержнів, довжина анкерування (заробки) стержнів у бетоні, дія малоциклового витягання стержнів з бетону, а також взаємодії названих факторів. Запропоновані математичні

моделі можуть використовуватися для призначення розрахункових значень граничних напружень зчеплення арматури з бетоном.

4. Експериментально доведено, що товщина захисного шару суттєво впливає на максимальні напруження зчеплення арматури з бетоном та на характер руйнування оточуючої бетонної оболонки. При мінімальному захисному шарі бетону згідно з нормативними вимогами ($c = d$) фактичні максимальні напруження зчеплення виявилися на 18...23% менші за визначені експериментально на загальноприйнятих зразках у вигляді призм (при $c > 3d$), що необхідно враховувати в розрахунках довжини анкерування арматури, вводячи в розрахункові формули додатковий коефіцієнт умов роботи.

5. Довжина анкерування поздовжніх робочих стержнів на вільних опорах, яка не менша $10d$, в повній мірі забезпечує використання міцності арматури по всій довжині балок.

6. Стержні, що обриваються в прольоті, суттєво впливають на характер руйнування балок та їхню жорсткість. Для забезпечення повного використання арматурних стержнів, що обриваються в прольотах, необхідно заводити їх за переріз, де вони за розрахунками не потрібні, на довжину, не меншу $10d$.

7. Довжина анкерування стержнів на вільних опорах та стержнів, що обриваються в прольотах, суттєво впливає на прогини балок, збільшення яких може досягати 25 %. Довжина анкерування стержнів на опорах і в прольотах, величина якої не менша за $10d$, практично не впливає на зміну прогинів балок.

8. Удосконалено методику розрахунку довжини анкерування арматури, яка базується на національних та європейських правилах проектування залізобетонних конструкцій та враховує нові результати експериментальних досліджень.

9. Встановлені теоретично і експериментально обґрунтовані розрахункові значення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном та уточнені коефіцієнти, які враховують вплив на напруження зчеплення арматури з бетоном діаметра арматури та товщини захисного шару бетону.

10. Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі, при практичному проектуванні монолітних залізобетонних перекриттів, видані рекомендації та прийняті Державним науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій для використання при розробці настанов з проектування залізобетонних конструкцій.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Бабич Е.М. Анкерівка в бетоне арматури серповидного профіля / Е.М. Бабич, Е.Е. Поляновская, А. С. Чапюк // Проблеми сучасного бетону і залізобетону: Матеріали Трет'єго міжнародного симпозиума. – Минск: «Минсктиппроект», 2011. – Том 1.- С.37 – 45.
2. Бабич Є.М. Визначення напружень зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю / Є.М. Бабич, О.Є. Бабіч (Поляновська), О.С. Чапюк // Будівельні конструкції: Збірник наукових праць. – Київ: ДП НДІБК, 2011.– Випуск 74.– Книга 1.– С. 285 – 292.

3. Бабич В.Є. Вплив товщини захисного шару на зчеплення арматури з бетоном / Бабич В.Є., Поляновська О.Є., Онопрійчук П.М. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2012. – Випуск 23. – С. 88 – 93.
4. Бабич Є.М. Математична модель напруження зчеплення арматури з бетоном / Є.М. Бабич, О.Є. Поляновська // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. – Випуск № 47. – Частина 1. – С. 28 – 33.
5. Бабич Є.М. Математичні моделі для визначення напружень зчеплення арматури з бетоном / Є.М. Бабич, О.Є. Поляновська // Будівельні конструкції: Збірник наукових праць. – Київ: ДП НДІБК, 2013. – Випуск 78. – Книга 2. – С. 3 – 9.
6. Бабич Е.М. Исследование сцепления арматуры с бетоном методом математического планирования эксперимента / Е.М. Бабич, В.Е. Бабич, Е.Е. Поляновская // Вестник Белорусско-Российского университета: Научно – методический журнал, - Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет, 2014. - № 4. – С. 136 – 146.
7. Бабич Є.М. До розрахунку анкерування арматури в згинальних залізобетонних елементах / Є.М. Бабич, В.Є. Бабич, О.Є. Поляновська // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Випуск 3 (42). – Том I. – С. 12 – 19.
8. Бабич Є.М. Опір арматури витяганню залежно від товщини захисного шару бетону / Є.М. Бабич, В.Є. Бабич, О.Є. Поляновська // Механіка і фізика руйнування матеріалів і будівельних конструкцій. – Львів: Каменяр, 2014. – Випуск 10. - С. 310 – 317.
9. Бабич Є.М. Удосконалена методика розрахунку анкерування арматури в згинальних залізобетонних елементах: Рекомендації / Бабич Є.М., Бабич В.Є., Поляновська О. Є. – Рівне: НУВГП, 2015. – 78 с.
10. Кундрат М.М. Опір арматурних стержнів мало цикловому витяганню з бетону / М.М. Кундрат, О.П. Борисюк, О.Є. Поляновська, Т.П. Мейта / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2013. – Випуск 27. – С. 120 – 126.
11. Поляновська О.Є. Використання математичної моделі для аналізу зчеплення арматури з бетоном / О.Є. Поляновська // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2013. – Випуск 25. – С. 399 – 404.
12. Поляновська О.Є. Дослідження несучої здатності згинальних залізобетонних елементів з частково обірваною в прольотах арматурою / О.Є. Поляновська // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2014. – Випуск 29. – С. 315 – 322.
13. Поляновська О.Є. Вплив довжини анкерування поздовжньої арматури на прогини згинальних залізобетонних елементів / О.Є. Поляновська // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2015. – Випуск 30. – С. 233 – 240.

14. Бабич В. Є. Дослідження зчеплення арматури з бетоном залежно від товщини захисного шару / В. Є. Бабич, О. Є. Поляновська, П. В. Демчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2014. – Випуск 28. – С. 105 - 111.

Опубліковані праці апробаційного характеру

15. Бабич Е.Е. Исследование анкеровки стержней, обрываемых в пролете изгибаемых железобетонных элементов /Бабич Е.Е. (Поляновская Е.Е.) //Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы международной конференции молодых ученых. – Могилев, 18 – 19 ноября 2010 г. – Могилев, 2010. – С. 99.
16. Поляновская Е.Е. Определение базовой длины анкеровки в бетоне арматуры серповидного профиля / Е.Е. Поляновская // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы международной конференции молодых ученых. – Могилев, 17 – 18 ноября 2011 г. – Могилев, 2011. – С. 198.
17. Бабіч О.Є. Особливості роботи залізобетонних балок з робочою арматурою, частина якої обривається в прольоті з різною довжиною її анкерування / О.Є. Бабіч (О.Є. Поляновська) // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 21. – С. 121 – 128.

АНОТАЦІЯ

Поляновська О.Є. Зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та удосконалення розрахунку її анкерування в згинальних залізобетонних елементах. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Львів, 2015.

В роботі отримані нові експериментальні дані щодо опору витягання з бетону арматури серпоподібного профілю та на підставі планованих експериментів вперше побудовані математичні моделі для визначення напружень зчеплення арматури з бетоном залежно від окремих факторів (міцність бетону, діаметр стержнів, довжина анкерування, повторюваність навантажень) та їхньої взаємодії. Доведено, що товщина захисного шару бетону, менша за три діаметра стержнів, суттєво впливає на граничні напруження зчеплення, які можуть зменшуватися до 40%.

Встановлений вплив довжини анкерування поздовжніх стержнів на вільних опорах та стержнів, які обриваються в прольотах, на напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів. Встановлено, що мінімальна довжина анкерування стержнів повинна бути не меншою десяти діаметрів. За меншої довжини анкерування несуча здатність та жорсткість елементів можуть зменшуватися до 20%.

За результатами експериментальних досліджень удосконалена методика розрахунку анкерування арматури, яка полягає в безпосередньому використанні запропонованих розрахункових значень граничних напружень зчеплення, уточнені коефіцієнтів, які враховують діаметр арматури та товщину захисного шару бетону.

Ключові слова: бетон, арматура, напруження зчеплення, математичні моделі, напружено-деформований стан елементів, розрахунок анкерування арматури.

АННОТАЦИЯ

Поляновская Е.Е. Сцепление с бетоном арматуры серповидного профиля и усовершенствование расчета ее анкеровки в железобетонных изгибаемых элементах. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный университет «Львовская политехника» МОН Украины, Львов, 2015.

В работе исследовано сопротивление вытягиванию з бетона арматуры серповидного профиля, определено влияние отдельных факторов на напряжения сцепления, предложена усовершенствованная методика расчета анкеровки арматуры, которая гармонизирована з европейскими кодексами.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, определена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведена общая характеристика диссертации.

В первом разделе отмечено значение сцепления арматуры с бетоном для обеспечения надежности железобетонных конструкций, приведены особенности стержней серповидного профиля, выполнен обзор экспериментально-теоретических исследований сцепления арматуры с бетоном, сделан анализ методик расчета анкеровки арматуры в железобетонных конструкциях.

Во втором разделе приведены результаты исследований сопротивления вытягиванию стержней с бетона методом математически планированных экспериментов с использованием плана Бокса-Бенкина. Результаты исследований позволили впервые получить математические модели и с их помощью выполнить детальный анализ влияния перечисленных факторов и их взаимодействия на предельные напряжения сцепления арматуры с бетоном.

Третий раздел посвящен исследованиям влияния толщины защитного слоя на напряжения сцепления арматуры с бетоном. Варьировались прочность бетона, диаметр стержней, толщина защитного слоя, которая в призмных образцах принималась от $c = 0$ до $c=3d$ (d – диаметр стержней). Исследования показали, что толщина защитного слоя существенно влияет на предельные напряжения сцепления и характер разрушения окружающего бетона. При защитном слое бетона, равном $c = d$, действительные предельные напряжения сцепления на 18...23% меньше, чем при защитном слое $c = 3d$.

В четвертом разделе исследовано влияние длины анкеровки арматуры на свободных опорах и в пролетах на несущую способность и жесткость изгибаемых железобетонных элементов. Испытано две серии балок (8 и 21 балка), в которых на свободных опорах длина анкеровки продольной арматуры принималась, равной $l_b= 5d$ и $10d$, а стержней, которые обрывались в пролетах в соответствии с эпюрой материалов, - $l_b= 0; 5d; 7,5d$ и $10d$.

Исследования показали: длина анкеровки на свободных опорах должна быть не менее $l_b > 10d$; для обеспечения полного использования в работе стержней, которые обрываются в пролетах, необходимо заводить их за сечение, где они не требуются по расчету, на длину не менее $l_b > 10d$; в зависимости

от длины анкеровки стержней, которые обрываются в пролетах, жесткость элементов может уменьшиться до 25%.

Пятый раздел посвящен усовершенствованию расчета анкеровки стержней в изгибаемых железобетонных элементах, состоящее в том, что в расчет вводятся непосредственно расчетные значения предельных напряжений сцепления и уточнении коэффициентов, учитывающих диаметр стержней и толщину защитного слоя бетона.

Ключевые слова: бетон, арматура, напряжения сцепления, математические модели, напряженно-деформированное состояние, расчет анкеровки арматуры.

SUMMARY

Polianovska O.Ye. The concrete cohesion with crescent-shaped steel reinforcement and improvement of calculation of anchoring in bending reinforced concrete elements. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.23.01 - building units, constructions and buildings.- National University "Lviv Polytechnic" Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

We obtain new experimental data on the resistance of concrete reinforcement extracting sickle profile and on the basis of planned experiments first mathematical models to determine the traction stress reinforcement with concrete, depending on individual factors (strength concrete, rods diameter, anchoring length, repetition loads) and their interaction. It is proved that the thickness of the concrete cover is less than three rods diameter substantially affects the maximum adhesion tension which can be reduced to 40%.

It was fixed the influence of the length of the longitudinal rods anchoring for free bearings and rods, which are cut off in flight, the stress-strain state of bending concrete elements. It was established that the minimum length of anchoring rods should be at least ten diameters. According to experimental results was improved calculation method of anchoring reinforcement, which consists in immediate use of the proposed tension-cohesion limit values, revised coefficients that take into account the diameter of the steel reinforcement and the protective layer of concrete.

Keywords: concrete, steel reinforcement, tension-cohesion, mathematical models, elements stress-strain state, calculation of steel reinforcement anchoring.