

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ЧАПЮК ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 624.012.25:539.43

**ЗЧЕПЛЕННЯ БЕТОНУ З АРМАТУРНИМ ПРОКАТОМ
СЕРПОВИДНОГО ПРОФІЛЮ ПРИ КОРОТКОЧАСНИХ
ОДНОРАЗОВИХ І ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

Спеціальність 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Дисертація

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник

Бабич Євгеній Михайлович,
доктор технічних наук, професор

Луцьк – 2009

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ.	
МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Зчеплення арматури з бетоном, як основний фактор їхньої спільної роботи.....	9
1.2 Огляд експериментально-теоретичних досліджень зчеплення арматури з бетоном.....	13
1.3 Зчеплення арматури з бетоном при короткочасному циклічному навантаженні.....	20
1.4 Експериментально-технічні дослідження зчеплення арматури з бетоном при довготривалих навантаженнях.....	24
1.5 Характеристика арматурного прокату серповидного профілю по ДСТУ 3760:2006.....	28
1.6 Мета й задачі досліджень.....	33
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
2.1 Програма експериментальних досліджень.....	34
2.2 Матеріали та технологія виготовлення експериментальних зразків.....	41
2.2.1 Матеріали.....	41
2.2.2 Технологія виготовлення експериментальних зразків.....	45
2.3 Обладнання для випробовування зразків та вимірювальні засоби.....	46
2.4 Методика випробовувань експериментальних зразків.....	48
Висновки до другого розділу.....	52
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ БЕТОНУ З АРМАТУРНИМ ПРОКАТОМ СЕРПОВИДНОГО ПРОФІЛЮ....	53
3.1 Визначення оптимальної довжини анкерування при одноразових навантаженнях.....	53
3.2 Визначення оптимальної довжини анкерування при повторних навантаженнях.....	56
3.3 Дослідження впливу повторних навантажень різних рівнів на межу зчеплення бетону з арматурою.....	60
3.4 Дослідження межі зчеплення бетону з арматурним прокатом залежно від класу бетону при одноразових навантаженнях.....	69
3.5 Дослідження межі зчеплення бетону з арматурним прокатом залежно від класу бетону при повторних навантаженнях.....	71

3.6	Дослідження межі зчеплення бетону з арматурним прокатом залежно від діаметра арматури при одноразових навантаженнях.....	77
3.7	Дослідження межі зчеплення бетону з арматурним прокатом залежно від діаметра арматури при повторних навантаженнях.....	78
3.8	Дослідження малоциклової втомленості зчеплення арматури з бетоном.....	80
3.9	Порівняння зчеплення арматури класів А500С і А-III з бетоном при одноразових навантаженнях.....	91
3.10	Порівняння зчеплення арматури класів А500С і А-III з бетоном при повторних навантаженнях.....	92
	Висновки до третього розділу.....	94
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЧЕПЛЕННЯ БЕТОНУ З АРМАТУРНИМ ПРОКАТОМ.....		96
4.1	Застосування логарифмічного закону до визначення напружень зчеплення бетону з арматурою	96
4.2	Аналітичне визначення малоциклової втомленості зчеплення арматури серповидного профілю з бетоном	101
4.3	Вплив міцності бетону на межу зчеплення його з арматурою	105
4.4	Аналіз зчеплення бетону з арматурними стержнями різного діаметру...	107
4.6	Визначення довжини анкерування за умови рівномірності сил зчеплення арматурних стержнів	110
	Висновки до четвертого розділу.....	113
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....		114
ДОДАТОК А. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ СЕРПОВИДНОГО ПРОФІЛЮ З БЕТОНОМ.....		115
ДОДАТОК Б. ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ.....		154
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		157

В С Т У П

Актуальність теми. З 01.01.2007 в Україні введено в дію ДСТУ 3760:2006 „Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови”. В основу ДСТУ 3760:2006 покладені вимоги до арматурного прокату, встановлені в закордонних нормативних документах – ISO 6934, ISO 6935, DIN 488, ENV 10080, BS 4449 та ін., що в значній мірі сприяло виходу продукції металургійних підприємств на світовий ринок і процесам інтеграції України в світове співтовариство. Існують відмінності до вимог арматурного прокату вітчизняних і закордонних нормативних документів по геометрії профілю, хімічного складу та ін., а також включено в стандарт прокат класу А500С, що широко застосовується за кордоном, але відсутній в діючих нормативних документах України.

Зчеплення арматури з бетоном є визначальним фактором у забезпеченні їхньої спільної роботи в складі залізобетонних конструкцій. Теорія зчеплення арматури з бетоном розроблена в достатній мірі при дії короточасних навантажень, виконано велику кількість експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурою класів А-II, А-III, А-IV та іншою, яка зараз вже практично не випускається й не застосовується при виготовленні залізобетонних конструкцій. Відомо, що переважна більшість конструкцій піддається дії повторних навантажень. Повторні змінні навантаження не тільки кількісно, але й якісно змінюють напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій. У процесі повторних навантажень виникають суттєві зміни фізико-механічних властивостей бетону, що безпосередньо відображаються на міцності зчеплення й деформативності арматури в бетоні, процесі тріщиноутворення. Дослідження, що присвячені спільній роботі арматури з бетоном при повторних навантаженнях в науковій літературі, аналізуються дуже рідко. Зчеплення арматурного прокату серповидного профілю по ДСТУ 3760:2006 досліджено мало, а при дії повторних малоциклових навантажень взагалі не розглядалося.

З наведеного випливає актуальність проведення досліджень зчеплення нового прокату з бетоном при одноразових короткочасних і повторних навантаженнях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з планом науково-дослідних робіт кафедри промислового та цивільного будівництва Луцького національного технічного університету.

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є встановлення особливостей зчеплення арматурного прокату серповидного профілю з бетоном при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях, оцінка та удосконалення методики розрахунку зчеплення при повторних навантаженнях. Для досягнення мети в роботі поставлені такі задачі:

- дослідити вплив повторних навантажень різних рівнів на зчеплення арматурного прокату з бетоном;
- дослідити зчеплення арматури і бетону залежно від класу бетону і діаметра арматури при одноразових і повторних навантаженнях;
- дослідити малоциклову втомленість зчеплення арматурного прокату з бетоном та встановити залежність між кількістю циклів і рівнем малоциклової витривалості зчеплення бетону з арматурним прокатом;
- порівняти зчеплення арматури класів А-III і А500С з бетоном при одноразових і повторних навантаженнях;

Об'єктом досліджень є центрально анкеровані в бетонних призмах арматурні стержні, що працюють на розтяг.

Предметом досліджень є зчеплення з бетоном арматурного прокату серповидного профілю, граничні напруження зчеплення, малоциклова втомленість, анкерування стержнів, методика розрахунку.

Методи досліджень: аналіз опублікованих наукових праць; експериментальні дослідження зчеплення арматурного прокату з бетоном, статистичний аналіз результатів досліджень, порівняння теоретичних і дослідних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна виконаної дисертаційної роботи полягає в наступному:

- отримані нові експериментальні дані зчеплення арматурного прокату з бетоном при дії короткочасних одноразових та повторних навантажень;
- отримані експериментальні дані щодо малоциклової втомленості зчеплення арматури й бетону, запропоновано визначення малоциклової втомленості зчеплення арматури з бетоном та запропонована формула для її визначення;
- встановлені залишкові деформації проковзування арматурного стержня відносно бетонної призми та запропонована їхня залежність відносно довжини анкерування, рівнів навантаження, діаметра арматури й міцності бетону.
- удосконалена методика розрахунку зчеплення арматурного прокату з бетоном із урахуванням дії на них повторних навантажень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- отримані результати дозволяють врахувати вплив повторних навантажень при розрахунку довжини анкерування арматурного прокату серповидного профілю;
- визначати межу малоциклової витривалості зчеплення арматурного прокату з бетоном залежно від кількості циклів і рівня повторного навантаження, що дозволяє проектувати конструкції з більшою надійністю;
- встановлювати мінімальну довжину анкерування стержнів, виходячи з умов рівноміцності зчеплення і міцності стержнів.

Особистий внесок здобувача. Експериментальні дослідження та їхній аналіз автором виконано особисто. Внесок здобувача в опублікованих працях в співавторстві складає:

- Бабич Є.М. Дослідження малоциклової втомленості зчеплення бетону з арматурою серповидного профілю / Є.М. Бабич, О.С. Чапук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2008. - Випуск 17. - С. 105 – 113. Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень п'ятої серії, обробка даних, побудова графіків деформацій та залежності малоциклової втомленості зчеплення арматурного прокату з бетоном від рівнів навантаження;
- Бабич Є.М. Визначення мінімальної довжини анкерування арматури класу А500С / Є.М. Бабич, О.С. Чапук // Будівельні конструкції: Збірник наукових статей. – Київ: НДІБК, 2008. – Випуск 70. - С. 124 – 131. Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень першої серії, обробка даних, побудова графіків проковзувань стержнів від напружень;

- Бабич Є.М. Дослідження зчеплення арматурного прокату серповидного профілю з бетоном при одноразовому і повторному витяганні / Є.М. Бабич, Б.А. Вавринюк, О.С. Чапюк // Вісник ОДАБА. - Одеса, 2009. - Випуск 35. - С. 18-24. Особистий внесок здобувача: обробка даних результатів експериментальних досліджень зчеплення арматурних стержнів класу А500С, зароблених в бетонні призми різних розмірів;

- Бабич Є.М. Зчеплення арматури класу А500С з бетоном різної міцності / Є.М. Бабич, О.С. Чапюк // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: збірник наукових праць. – Львів: Каменярь, 2009. – Вип. 8. - С. 132-139. Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень третьої і четвертої серій, обробка даних, побудова графіків деформацій та залежностей напружень в стержнях від міцності бетону та діаметра арматури;

- Бабич Є.М. Напружено-деформований стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Є.М. Бабич, Б.А. Вавринюк, О.С. Чапюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2009. - Випуск 19. - С. 74-82. Особистий внесок здобувача: обробка даних результатів експериментальних досліджень напружено-деформаційного стану контакту з бетоном арматури серповидного профілю, побудова графіків розподілу по довжині напружень зчеплення з бетоном залежно від зусилля витягання.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях: на Восьмій науково-технічній конференції “Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація” (м. Кривий Ріг, 2008); на П’ятій науково-технічній конференції „Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди” (м. Рівне, 2007 р.); на Восьмому міжнародному симпозіумі “Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій” (м. Івано-Франківськ, 2009); на науково-технічних конференціях Луцького національного технічного університету (2007, 2008, 2009 рр.); на науково-технічних конференціях Українського національного університету водного господарства та природокористування (2007, 2008 рр.).

Публікації. Матеріали дисертації викладені у семи статтях, які опубліковані у збірниках наукових праць, що визнані фаховими виданнями, в тому числі дві статті опубліковані одноосібно.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Досліджень роботи залізобетонних конструкцій із використанням арматурного прокату серповидного профілю виконано недостатньо, особливо це стосується зчеплення його з бетоном. У дисертації отримані нові експериментальні дані зчеплення арматурного прокату з бетоном при дії короточасних одноразових та повторних навантажень, запропонована методика розрахунку зчеплення арматурного прокату з бетоном при одноразових та повторних навантаженнях, яку доцільно використовувати в проектній практиці.

2. Експериментально встановлено, що повторні навантаження, рівень яких не перевищує 0,60 від руйнівного, спричиняють збільшення повного проковзування та виникнення залишкового проковзування стержнів, стабілізація яких відбувається на 5 - 7 циклах. Збільшення повного проковзування стержнів може складати до 15 %.

3. Для забезпечення рівномірності стержнів і їхнього зчеплення з бетоном мінімальна довжина анкерування повинна складати не менше $20d$, а для забезпечення розрахункового опору в арматурі – $15d$.

4. Отримані нові експериментальні дані щодо зчеплення арматури серповидного профілю залежно від її діаметру та міцності бетону, й визначено залежності між дотичними максимальними напруженнями в стержнях і діаметром арматури та міцністю бетону.

5. Встановлено, що зі збільшенням міцності бетону зчеплення арматури серповидного профілю з бетоном збільшується пропорційно росту міцності.

6. Напруження в стержнях, які виникають в граничному стані зчеплення, лінійно залежать від довжини анкерування й можуть бути визначені за емпіричною формулою, запропонованою в дисертації.

7. Запропоновано значення коефіцієнтів для знаходження дотичних напружень зчеплення бетону з арматурним прокатом через переміщення вільного кінця стержня відносно торця призми.

8. Наведено визначення поняття малоциклової втомленості зчеплення бетону з арматурними стержнями й експериментально встановлено, що малоциклова втомленість зчеплення арматури з бетоном при повторних навантаженнях високих рівнів настає при пружно-пластичному проковзуванні в ньому арматурних стержнів. Запропонована формула для її описання, яка має добру збіжність з експериментальними даними. Встановлено, що малоциклова втомленість настає при рівні навантаження, який перевищує 0,85 від руйнівного.