

ЛУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ДРОБИШИНЕЦЬ СЕРГІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 624.012.24:539.43

**ВПЛИВ ПОВТОРНИХ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА
МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ ТА РОБОТУ
ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЙОГО ОСНОВІ**

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 – 2005

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1. СТАЛЕФІБРОБЕТОН, ЯК МАТЕРІАЛ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ, СТАН ЙОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1 Сталефібробетон, як матеріал для будівельних конструкцій.....	10
1.2 Міцнісні характеристики сталефібробетону.....	13
1.3 Деформативність і тріщиностійкість сталефібробетону.....	17
1.4 Застосування сталефібробетону в конструкціях.....	20
1.5 Навантаження, які можуть діяти на сталефібробетонні конструкції.....	24
1.6 Особливості роботи важкого бетону при повторних малоциклових навантаженнях.....	25
1.7 Експериментальні дані про роботу згинальних залізобетонних елементів при повторних малоциклових навантаженнях.....	29
1.8 Мета і задачі досліджень.....	32
Розділ 2. МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
2.1 Програма експериментальних досліджень.....	34
2.2 Експериментальні зразки.....	38
2.3 Матеріали і технологія виготовлення експериментальних зразків.....	39
2.3.1 Матеріали.....	39
2.3.2 Технологія виготовлення експериментальних зразків.....	41
2.4 Обладнання для випробовування зразків та вимірювальні засоби.....	45
2.5 Методика випробовувань експериментальних зразків.....	45
2.5.1 Короткочасний осьовий стиск і розтяг.....	45
2.5.2 Методика випробувань призми при малоциклових навантаженнях.....	48
2.5.3 Методика випробувань балок при одноразовому та малоцикловому навантаженнях.....	48
2.6 Режими малоциклових навантажень.....	55
Висновки до другого розділу.....	58

Розділ 3. ВПЛИВ ПОВТОРНОГО МАЛОЦИКЛОВОГО СТИСКУ ТА РОЗТЯГУ НА ЗМІНУ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ.....	59
3.1 Міцнісні та деформаційні характеристики сталевібробетону за короткочасного осьового стиску.....	59
3.1.1 Міцність і деформаційність сталевібробетону при осьовому короткочасному стиску.....	59
3.1.2 Деструктивні характеристики при осьовому короткочасному стиску...	63
3.2 Малоциклова втомленість сталевібробетону.....	64
3.3 Вплив малоциклового стиску на призмову міцність.....	69
3.4 Вплив малоциклових навантажень на деформаційні характеристики сталевібробетону.....	72
3.5 Вплив малоциклового розтягу на зміну міцності сталевібробетону та його модуля пружнопластичності.....	88
Висновки до третього розділу.....	96
Розділ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІД ДІЄЮ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	97
4.1 Напружено-деформаційний стан поперечних перерізів балок при однократному навантаженні.....	97
4.2 Міцність балок після малоциклових навантажень.....	106
4.3 Зміна деформацій бетону стиснутої зони та розтягнутої арматури в процесі малоциклового навантаження.....	111
4.3.1 Стиснутий бетон.....	111
4.3.2 Розтягнута арматура.....	123
4.4 Характер утворення та розвитку тріщин, нормальних до поздовжньої осі елемента.....	129
4.5 Вплив малоциклових навантажень на прогини дослідних балок.....	135
Висновки до четвертого розділу.....	140

Розділ 5. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ І МІЦНОСТІ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ І СТАЛЕФІБРОЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ.....	142
5.1 Теоретичне визначення міцності та напружено-деформаційного стану згинальних сталевібробетонних елементів	142
5.2 Теоретичне визначення міцності та напружено-деформаційного стану згинальних сталевіброзалізобетонних елементів.....	151
5.2.1 Визначення внутрішніх зусиль.....	153
5.2.2 Визначення руйнуючого моменту.....	154
5.2.3 Розрахунок поздовжньої робочої арматури.....	155
5.3 Збіжність теоретичних і експериментальних значень згинальних моментів в досліджених балках.....	157
Висновки до п'ятого розділу.....	159
Основні висновки.....	160
Використані джерела.....	162
Додаток А. Конструкція призм, що досліджувалися на розтягання. Схеми влаштування приладів та режими навантаження дослідних балок.	175
Додаток Б. Матриці планованого експерименту. Результати випробувань сталевібробетону при стисканні та розтяганні.....	178
Додаток В. Результати випробування балок.....	185
Додаток Д. Довідки про впровадження.....	191

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток капітального будівництва в нашій країні тісно пов'язаний із підвищенням ефективності будівельного виробництва, зниженням вартості і працемісткості технологічних процесів, економного використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Одним із перспективних конструкційних матеріалів є дисперсно армовані матеріали, зокрема сталеві фібробетон, для виготовлення якого використовують сталеві фібри. Починаючи з 80-х років минулого століття цікавість до використання фібробетону зростає, що можна пояснити прагненням суттєво підвищити міцність бетонних матеріалів і конструкцій на його основі на стиск, особливо розтяг, їх тріщиностійкість, отримати ефективні конструкції, які б відповідали більш високим експлуатаційним вимогам.

Раніше показано, що ефективність застосування сталеві фібробетону в будівельних конструкціях може досягатися за рахунок зниження трудовитрат на арматурні роботи, суміщення технологічних операцій на приготування, армування, укладання та ущільнення сталеві фібробетонної суміші, продовження терміну експлуатації конструкцій і зниження витрат на різні види поточного ремонту.

Не зважаючи на низку наведених переваг, сталеві фібробетон є ще порівняно новим та не повністю вивченим матеріалом. Так, практично не досліджена робота сталеві фібробетонних конструкцій при малоциклових повторних навантаженнях, які в більшості випадків в процесі експлуатації діють на них. З огляду на наведене, дослідження особливостей роботи сталеві фібробетонних конструкцій при повторних навантаженнях є завданням актуальним на даний час та перспективним на майбутнє.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з планом науково-дослідних робіт кафедри промислового та цивільного будівництва Луцького державного технічного університету. Окремі питання досліджувались за темою “Розробка теоретичних основ розрахунку статично-невизначених конструкцій з композиційних матеріалів при різних режимах навантажень” (0101 U 001892), яка включена в плани науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і виконувалась в Національному університеті водного господарства і природокористування. За цією темою автором досліджені особливості роботи сталевібробетону при повторному стисненні та розтяганні.

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є встановлення особливостей роботи сталевібробетонних елементів при повторному малоцикловому стисненні і розтяганні, їх оцінка та розробка методики розрахунку сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних згинальних елементів при повторних навантаженнях. Для досягнення мети в роботі до вирішення поставлені такі задачі:

- встановити залежності між напруженнями і деформаціями в сталевібробетоні при одноразовому та повторному стисканні і розтяганні;
- дослідити вплив повторних малоциклових навантажень на зміну міцнісних і деформаційних властивостей сталевібробетону та отримати відповідні аналітичні залежності;
- встановити особливості роботи сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних згинальних елементів при одноразових та повторних малоциклових навантаженнях;
- розробити методику розрахунку сталевіброзалізобетонних та сталевібробетонних елементів за двома групами граничних станів з урахуванням повторних навантажень, використовуючи сучасну розрахункову деформаційну модель.

Об'єктом досліджень є сталевібробетонні елементи, що працюють на стиск та розтяг, а також сталевібробетонні і сталевіброзалізобетонні елементи, що працюють на згин.

Предметом досліджень є міцність та деформативність сталевібробетонних елементів при одноразовому та повторному малоцикловому стисненні і розтяганні, напружено-деформаційний стан згинальних сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних елементів, їх міцність, деформативність та тріщиностійкість при повторних малоциклових навантаженнях.

Методи досліджень: аналіз опублікованих наукових праць; використання методу планованого експерименту при дослідженні зміни механічних характеристик сталевібробетону при повторних навантаженнях; експериментальні дослідження роботи згинальних елементів за спеціально розробленою програмою; використання деформаційної моделі перерізів при аналізі напружено-деформованого стану згинальних елементів; використання загальноприйнятих методів розрахунку згинальних елементів за деформаціями та тріщиностійкості; використання методів математичної статистики при обґрунтуванні запропонованих математичних моделей.

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

- отримані нові експериментальні дані роботи сталевібробетону при дії одноразових та повторних малоциклових навантаженнях стискання і розтягання та запропоновані математичні моделі для врахування впливу таких навантажень на його міцнісні і деформаційні характеристики;

- отримані нові експериментальні дані про роботу сталевібробетонних та сталевіброзалізобетонних згинальних елементів при повторних малоциклових навантаженнях;

- вперше запропонована методика розрахунку сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних згинальних елементів при одноразових та повторних навантаженнях з урахуванням дії на них повторних малоциклових навантажень.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані математичні моделі можуть бути використані при визначенні механічних характеристик сталевібробетону при дії повторних малоциклових навантажень, а розроблена методика розрахунку згинальних сталевіброзалізобетонних елементів – при

проектуванні балок і плит, які виготовляються на його основі і піддаються повторним малоцикловим навантаженням. Окремі питання дисертаційної роботи включені в програму спецкурсу “Сталефібробетонні конструкції”, який викладається на кафедрі промислового і цивільного будівництва Луцького державного технічного університету. Розроблені рекомендації до розрахунків сталефібробетонних і сталефіброзалізобетонних згинальних елементів за двома групами граничних станів при одноразових і повторних навантаженнях.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача в опублікованих працях в співавторстві складає:

- Бабич Є.М., Дробишинець С.Я. Дослідження деформування сталефібробетону при повторному розтяганні / Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Издательство “Техника”, 2002. – Выпуск 39. - С.7 – 11. – Результаты экспериментальных исследований та їх аналіз, порівняння експериментальних та теоретичних даних;

- Бабич Є.М., Дробишинець С.Я. Дослідження втомленості сталефібробетону при малоцикловому стисненні / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Видавництво УДУВГП, 2002.- Выпуск 8.- С. 55 – 64. – Результаты экспериментальных исследований та їх аналіз, порівняльні розрахунки;

- Бабич Є.М., Дробишинець С.Я. Експериментальні дослідження роботи сталефіброзалізобетонних балок при повторних навантаженнях // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Збірник наукових праць, Рівне: РДТУ, 2003.- Выпуск 28.- С. 44 – 52. – Описання процесів руйнування балок та аналіз деформацій сталефібробетону і розтягнутої арматури при повторних навантаженнях, формулювання висновків;

- Бабич Є.М., Дробишинець С.Я. Робота сталефібробетонних та сталефіброзалізобетонних балок при одноразовому та повторних малоциклових навантаженнях // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: Збірник наукових статей. – Кривий Ріг: КТУ, 2004.- Выпуск 6.- С. 65 – 71. – Аналіз деформацій сталефібробетону в стиснутій зоні балок другої серії дослідів, побудова графіків, формулювання висновків;

- Бабич Є.М., Крусь Ю.О., Дробишинець С.Я. Напружено-деформований стан і міцність згинальних сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних елементів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2005.- Випуск 12.- С.91 – 99. – Складання умов рівноваги внутрішніх зусиль в нормальних перерізах балок та їх розв’язок.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідались і найшли схвалення на міжнародній науково-технічній конференції “Строительство, реконструкция и восстановление зданий и сооружений городского хозяйства” (м. Харків, 2002), на міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми водного господарства та природокористування” (м. Рівне, 2002), на науково-технічних конференціях Луцького державного технічного університету (2001, 2002, 2003), на науково-технічних конференціях Українського державного університету водного господарства та природокористування (2002, 2003), на науково-технічній конференції творчої молоді “Перспективи розвитку будівельних конструкцій, будівель, споруд та їх основ” (м. Київ, НДІБК, 2003), на шостій науково-технічній конференції “Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація” (м. Кривий Ріг, 2004).

Публікації. Матеріали дисертації викладені у 9 статтях, які опубліковані у збірниках наукових праць, що визнані фаховими виданнями, в тому числі 4 статті опубліковано одноосібно.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Сталефібробетон є ефективним композиційним матеріалом для виготовлення будівельних конструкцій різноманітного призначення, але механічні характеристики та робота елементів на його основі досліджені недостатньо. Особливо це стосується роботи елементів під дією повторних малоциклових навантажень. В дисертації отримані нові експериментальні і теоретичні результати про роботу сталефібробетону при стиску і розтягу, роботу згинальних сталефіброзалізобетонних елементів при одноразових і повторних малоциклових навантаженнях та розроблені рекомендації щодо їхнього розрахунку.
2. Встановлено вплив повторних малоциклових навантажень на призмову міцність і модуль пружнопластичності сталефібробетону та запропоновані обґрунтовані математичні моделі для їх визначення. Показано, що при експлуатаційному рівні повторних малоциклових навантажень призмova міцність може збільшуватись до 10 %, а початковий модуль пружності – зменшуватись. Вперше досліджена малоциклова втомленість сталефібробетону та запропонована формула для її визначення.
3. Встановлені залежності між напруженнями і деформаціями в сталефібробетоні при одноразовому і повторному малоцикловому стисненні і розтяганні.
4. Отримані нові експериментальні дані про роботу сталефіброзалізобетонних згинальних елементів при повторних малоциклових навантаженнях. Встановлено, що при повторних навантаженнях експлуатаційних рівнів (60 ... 70 % від руйнівних) після п'яти – семи циклів відбувається стабілізація напружено-деформаційного стану елементів.
5. Повторні малоциклові навантаження спричиняють збільшення повних прогинів та ширини розкриття тріщин в згинальних елементах (до 15 %).
6. Вперше запропонована методика розрахунків напружено-деформаційного стану і міцності нормальних перерізів сталефібробетонних згинальних

елементів на основі сучасної деформаційної розрахункової моделі при дії одноразових і повторних малоциклових навантажень, яка має задовільну збіжність з експериментальними даними.

7. Запропоновані рекомендації до розрахунків сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних згинальних елементів з урахуванням зміни механічних характеристик матеріалу внаслідок дії повторних малоциклових навантажень, які доцільно використовувати в проектній практиці.