

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ЯСЮК Іван Миколайович

УДК 624.012.45

**РОБОТА ТА НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ
СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЛОТКІВ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

РІВНЕ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Луцькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
АНДРІЙЧУК Олександр Валентинович,
Луцький національний технічний університет,
доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
ЛАПЕНКО Олександр Іванович,
Національний авіаційний університет, завідувач
кафедри комп'ютерних технологій будівництва;

кандидат технічних наук, доцент,
ХМІЛЬ Роман Євгенович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів.

Захист відбудеться «4» липня 2019 р. о 14:00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 47.104.06 в Національному університеті водного господарства та природокористування за адресою: 33028, м. Рівне, вул. Чорновола, 49, ауд. 673.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету водного господарства та природокористування за адресою: 33028, м. Рівне, вул. О. Новака, 75 та на сайті університету www.nuwm.edu.ua.

Автореферат розісланий «31» травня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої
ради К 47.104.06
к.т.н., доцент



О.М. Бордюженко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Лотки водовідведення відносяться до інженерних конструкцій дорожньо-транспортних споруд на автомобільних дорогах. Вони можуть бути як типовими, так і індивідуального проектування, залежно від реальних ґрунтово-геологічних, гідрологічних та топографічних даних, з врахуванням особливостей місцевості та інфраструктури. Від якості водовідведення на автомобільних дорогах залежить стан земляного полотна і дорожнього одягу. Лотки систем водовідведення виготовляються з бетону, фібробетону, залізобетону, пластику та ін. Важкі, але дуже надійні й недорогі бетонні лотки чудово справляються з відведенням води навіть у великих обсягах. Інертність бетону до агресивних впливів дозволяє відводити сольові та інші хімічні сполуки від дорожніх покриттів і фундаментів будівель. Це найбільш надійні з усіх видів подібних виробів, що здатні витримувати значні навантаження.

Під впливом погодно-кліматичних факторів та вібраційних коливань від руху транспортних засобів на поверхні лотків, в процесі експлуатації, відбуваються локальні руйнування, що призводять до утворення тріщин, вибоїн, вилущування бетону, руйнування захисного шару бетону, тощо. Лотки водовідведення сприймають ударні, динамічні та температурні впливи. Тому використання лотків та умови їх роботи в конструкціях водовідводу (дренажу) ставить завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, морозостійкості та інших характеристик, які у свою чергу, залежать від міцності матеріалу на розтяг.

Одним з варіантів розв'язання даної проблеми є застосування дисперсно-армованого бетону в конструкції водовідвідних лотків.

Ефективність застосування сталевібробетону (СФБ) в будівельних конструкціях може досягатися шляхом зниження трудовитрат на арматурні роботи, суміщення технологічних операцій на приготування, армування, укладання та ущільнення сталевібробетонної суміші, продовження терміну експлуатації конструкцій і зниження витрат на різні види поточного ремонту.

Не зважаючи на ряд якісних переваг, СФБ є ще порівняно новим та не повністю вивченим матеріалом. Так, практично не досліджена робота водовідвідних лотків зі СФБ. Відомо, що переважна більшість конструкцій автомобільних доріг піддаються дії повторних навантажень – це також стосується лотків водовідведення. Повторні змінні навантаження не тільки кількісно, але і якісно змінюють напружено-деформований стан конструкцій, що безпосередньо відображаються на міцності, деформативності та процесах тріщиноутворення.

Експериментальні дослідження лотків систем водовідведення виготовлених зі сталевібробетону, порівняння отриманих даних із результатами випробувань типових лотків і виявлення переваг та недоліків при застосуванні дисперсно-армованого бетону в конструкції лотків є актуальною та доцільною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в рамках науково-дослідної держбюджетної теми Луцького національного технічного університету «Дослідження напружено-

деформованого стану сталевібробетонних конструкцій, удосконалення методики оцінки надійності та технології їх виготовлення» (державний реєстраційний номер 0115U002205), а також виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету.

Мета і задачі дослідження. Метою є встановлення особливостей роботи та несучої здатності сталевібробетонних лотків при короткочасних одноразових і повторних «бічних силових» навантаженнях.

Для досягнення мети в роботі поставлені такі задачі:

- обґрунтувати можливість та доцільність використання лотків зі СФБ;
- провести експериментальні дослідження роботи та несучої здатності лотків із бетону, залізобетону, сталевібробетону та сталевіброзалізобетону, встановити дійсний напружено-деформований стан лотків зі СФБ при дії одноразових та повторних навантажень;
- провести розрахунок згинальних моментів та напружень лотків зі СФБ за одноразових навантажень методом скінченних елементів (МСЕ);
- встановити залежності жорсткості прямокутного поперечного перерізу елементів зі СФБ за повторних навантажень від відсотка армування фібрами;
- виконати теоретичне дослідження напружено-деформованого стану лотків зі СФБ методом уточненої теорії тонких оболонок за одноразових навантажень;
- розробити інженерну методику розрахунку несучої здатності лотків зі сталевібробетону за одноразових навантажень.

Об'єкт досліджень – сталевібробетонні лотки в умовах короткочасного навантаження.

Предмет досліджень – напружено-деформований стан, прогини, тріщиностійкість, несуча здатність лотків зі СФБ при одноразових і повторних навантаженнях.

Методи досліджень: аналіз опублікованих наукових праць; експериментальні дослідження роботи лотків зі сталевібробетону за спеціально розробленою програмою, статистичний аналіз результатів досліджень, комп'ютерне моделювання за допомогою методу скінченних елементів, порівняння теоретичних і дослідних даних.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- отримано експериментальні дані (несуча здатність, жорсткість, деформативність та тріщиностійкість) роботи лотків зі сталевібробетону під час дії короткочасних одноразових та повторних навантажень, які підтверджують підвищення міцності та зниження деформативності шляхом сумісної роботи бетону та сталевіброфібри;

- доведено, що лотки у формі напів-труби виготовленні зі СФБ з 2 % армування при одноразових та повторних навантаженнях за показниками деформативності, тріщиностійкості та несучої здатності перевищують відповідні показники типових залізобетонних лотків і при цьому зменшуються витрати матеріалів на їх виготовлення;

- встановлено, що за руйнівне зусилля при одноразових та повторних навантаженнях в лотках зі сталевібробетону необхідно приймати момент утворення тріщин;

- розроблено інженерну методику розрахунку несучої здатності лотків зі сталевібробетону.

Дістало подальший розвиток:

- вплив відсотка армування на жорсткість прямокутного поперечного перерізу за повторних навантажень елементів зі СФБ при згині.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- запропонована та запатентована конструкція водовідвідного лотка, що виготовлений зі СФБ, може використовуватися в будівельній практиці;

- методику розрахунку лотка зі сталевібробетону типу напів-труба рекомендується використовувати у проектній практиці;

- результати дослідження лотків зі сталевібробетону впроваджені в навчальний процес у Луцькому НТУ.

- результати досліджень сталевібробетонних лотків використанні при проектуванні об'єктів: «Капітальний ремонт вулиці Липинського в м. Луцьку», «Будівництво супермаркету в с. Рованці, вул. Калинова, 39, Луцького району Волинської області, км 1+300 (ліворуч) автодороги О030849 Луцьк-Рованці».

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні експериментальних досліджень, обробці одержаних результатів та впровадженні розроблених матеріалів у виробництво та навчальний процес. Основні результати дисертаційної роботи були одержані самостійно. Особистий науковий внесок автора у наукових працях, написаних у співавторстві вказаний у списку публікацій здобувача. Формулювання мети, завдання, програми досліджень, планування роботи, обговорення статей і тез доповідей на конференціях здійснювалося під керівництвом наукового керівника – к.т.н., доцента Андрійчука О.В.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідались і були схвалені на:

1. Міжнародних науково-практичних виставках-конференціях "Інновації у будівництві" (м. Луцьк, 2014, 2016, 2018);

2. Міжнародній конференції "Структурообразование, прочность и механика разрушения композиционных строительных материалов и конструкций" (м. Одеса, 2015);

3. Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (м. Харків, 2015);

4. Науково-технічних конференціях Луцького національного технічного університету (м. Луцьк, 2014, 2015, 2016, 2017);

5. Науково-технічному семінарі Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне, 2015);

6. Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» Трансбуд-2017, 2018 – м. Харків, Український державний університет залізничного транспорту – 19-21 квітня 2017 р., 14-16 листопада 2018 р.

Публікації. Матеріали дисертації викладені у 10 статтях, які опубліковані у збірниках наукових праць, що визнані фаховими виданнями, в тому числі 2 статті опубліковані одноосібно, 1 стаття у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus та 1 монографія. Отриманий патент на корисну модель «Сталефібробетонний лоток для притрасового водовідведення» № 121029 / бюлетень №22 - від 27.11.2017 року.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 175 сторінках (основна частина – 124 ст.). Дисертація містить 25 таблиць і 81 рисунок, 172 найменувань використаних джерел, а також 4 додатки на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження, вказано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, впровадження та апробацію результатів роботи, зазначено структуру та об'єм дисертації.

У **першому розділі** розглянуто матеріал для будівельних конструкцій – сталефібробетон (СФБ). Проаналізовано застосування фібри в бетоні. Описано дослідження міцнісних характеристик СФБ і розрахунок його складу. Наведено загальні відомості про застосування СФБ в практиці будівництва сталефібробетонних конструкцій, їх переваги та недоліки, відомі методи їх розрахунку та особливості роботи під навантаженням.

Проведено аналіз експериментальних досліджень особливостей роботи сталефібробетонних елементів при одноразових і повторних навантаженнях.

На основі проведеного порівняльного аналізу дослідження СФБ в будівельних конструкціях сформульовано задачі та розроблено схему стендових випробувань особливостей роботи та несучої здатності лотків зі СФБ.

Другий розділ присвячений методиці експериментальних досліджень міцнісних та деформаційних характеристик, напружено-деформованого стану (НДС) лотків з бетону, залізобетону, СФБ та сталефіброзалізобетону, а також роботі цих елементів при дії одноразових та повторних навантаженнях.

Дослідні лотки водовідведення для трьох серій мали наступні параметри: товщина стінки $t = 40$ мм; внутрішній діаметр $d_{вн} = 300$ мм; зовнішній – $d_з = 380$ мм і довжина $l = 300$ мм. Всі вони виготовлялися із дрібнозернистого бетону класу С12/15. Арматурний каркас для ЗБ та СФЗБ лотків складається з поздовжніх стержнів $\text{Ø}6\text{A}240\text{C}$ та поперечного арматурного дроту $\text{Ø}4\text{B}_p\text{I}$.

Для отримання СФБ в якості дисперсного армування лотків застосовувалась сталеві хвиляста анкерна фібра $\text{Ø}0,8$ мм і довжиною 50 мм, що вводилась в матрицю-бетон. Загальний план експериментальної частини дисертаційного дослідження подано в табл. 1.

Таблиця 1 – План експериментальних досліджень лотків водовідведення зі сталевібробетону

№ серії	Навантаження	Досліджувані фактори	Особливості зразків	Маркування зразків								
I	Одноразові, до руйнування. Ступінь навантаження – 10 % від руйнівного	Несуча здатність, деформативність, тріщиностійкість при дії короткочасних одноразових навантажень	Бетонні, С12/15	1Б-1; 1Б-2; 1Б-3								
			Залізобетонні, С12/15, $\rho \approx 2\%$	1ЗБ-1; 1ЗБ-2; 1ЗБ-3								
			Сталевібробетонні, С12/15, $\mu \approx 2\%$	1СФБ-1; 1СФБ-2; 1СФБ-3								
			Сталевіброзалізобетонні С12/15, $\mu \approx 1\%$; $\rho \approx 1\%$	1СФЗБ-1; 1СФЗБ-2; 1СФЗБ-3								
II	Повторні з рівнем $\eta = 0,6$ при 10 циклах. Ступінь навантаження – 10 % від руйнівного	Несуча здатність, деформативність, тріщиностійкість при дії короткочасних повторних навантажень з $\eta = 0,6$	Залізобетонні, С12/15, $\rho \approx 2\%$	2ЗБп-1; 2ЗБп-2; 2ЗБп-3								
			Сталевібробетонні, С12/15, $\mu \approx 2\%$	2СФБп-1; 2СФБп-2; 2СФБп-3								
			Сталевіброзалізобетонні С12/15, $\mu \approx 1\%$; $\rho \approx 1\%$	2СФЗБп-1; 2СФЗБп-2; 2СФЗБп-3								
III	Матриця планованого експерименту	Сталевібробетонні, С12/15, $\mu \approx 1\%$; $\mu \approx 2\%$; $\mu \approx 3\%$	3СФБп _{+1;+1} -1; 3СФБп _{+1;+1} -2; 3СФБп _{+1;+1} -3; 3СФБп _{+1;-1} -1; 3СФБп _{+1;-1} -2; 3СФБп _{+1;-1} -3; 3СФБп _{-1;+1} -1; 3СФБп _{-1;+1} -2; 3СФБп _{-1;+1} -3; 3СФБп _{-1;-1} -1; 3СФБп _{-1;-1} -2; 3СФБп _{-1;-1} -3; 3СФБп _{0;0} -1									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>+1</td> </tr> <tr> <td>ρ, μ</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>η</td> <td>0,3</td> <td>0,5</td> <td>0,70</td> </tr> </table>				-1	0	+1	ρ, μ	1	2	3	η	0,3
	-1	0	+1									
ρ, μ	1	2	3									
η	0,3	0,5	0,70									

В загальному лотки розраховують, як балку на пружній основі. Але оскільки навантаження від води, ґрунту та транспорту (динамічне) на лоток незначні, то для визначення параметрів згинального елемента прийнята була

наступна схема випробування. Для дослідних зразків (лотків) діюче зусилля створювалося шляхом прикладання за допомогою металевої траверси зосередженого навантаження (рис. 1).

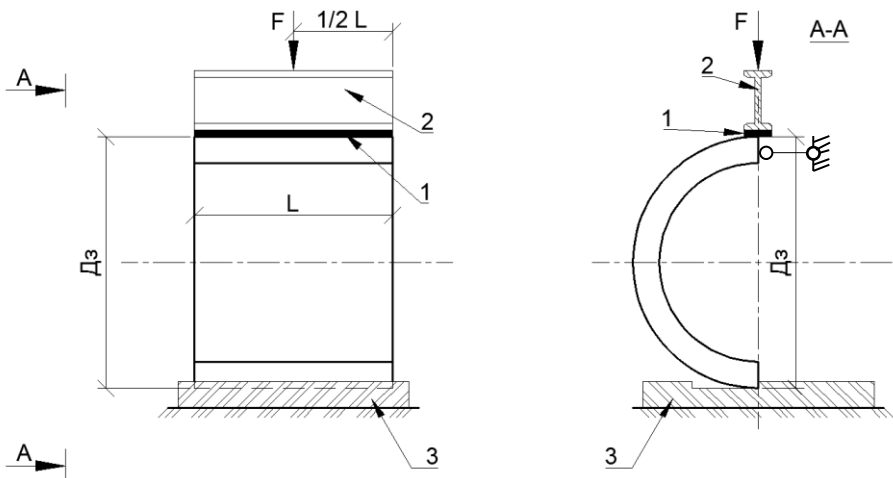


Рисунок 1 – Схема випробування лотка водовідведення: 1 – гумовий килим або цементний розчин; 2 – металева траверса; 3 – нерухома основа

Для підвищення точності вимірювання діючого зусилля використовувався зразковий протестований динамометр, що дав можливість виміряти навантаження з точністю 50 Н. У цьому випадку навантаження створювалось гідравлічним домкратом. Нижня частина елемента спиралась на жорстку основу через гумову підкладку. Для цього було застосовано гідравлічний прес ПСУ - 125. Загальний вигляд випробування водовідвідних лотків подано на рис. 2.

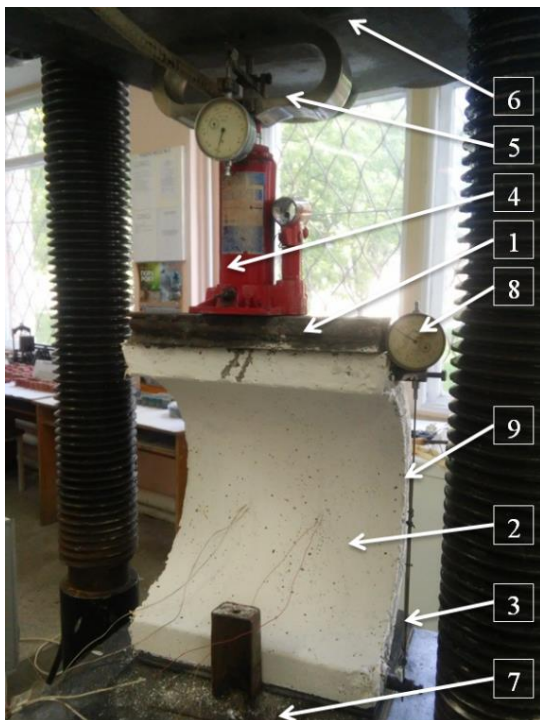


Рисунок 2 – Загальний вигляд випробування водовідвідних лотків: 1 – металева траверса; 2 – дослідний водовідвідний лоток; 3 – нерухома основа; 4 – гідравлічний домкрат; 5 – зразковий динамометр; 6 – верхня плита пресу ПСУ-125; 7 – нижня плита пресу ПСУ-125; 8 – датчик визначення переміщення; 9 – штанга переміщення

Під час проведення дослідження лотків навантаження прикладалося ступенями через 8 – 12 % від руйнівного зусилля, що визначено теоретичним методом під час проведення розрахунку. Після кожного ступеня навантаження робилась витримка на протязі 5 – 7 хв., під час якої знімалися покази індикаторів, показники тензометричного комплексу та вимірювалась ширина розкриття тріщин (w_k). Для вимірювання переміщень стінки дослідних зразків, що виникали внаслідок відповідного завантаження лотка, використовували індикатори годинникового типу ИЧ-10 НМ з ціною поділки 0,01 мм. Ширину розкриття тріщин визначали за допомогою мікроскопа МПБ-2 з ціною поділки 0,05 мм. Для вимірювання

деформацій бетону та СФБ на внутрішні та зовнішні поверхні лотка наклеювали тензорезистори з базою 50 мм, показники яких фіксували тензометричним вимірювальним комплексом. Їх наклеювали по два в двох зонах (зсередини та ззовні).

Навантаження до зразків I-ої серії 1Б–1...3, 1ЗБ–1...3, 1СФБ–1...3 та 1СФБЗ–1...3 прикладалось ступенями через 0,83 кН, що становило 8 – 12 % від руйнівного. Для зразків II-ої серії 2ЗБп–1...3, 2СФБп–1...3 і 2СФБЗп–1...3 навантаження прикладалось ступенями через 1,56 кН протягом десяти циклів до рівня $\eta = 0,6$ від руйнівного зусилля, а на одинадцятому циклі вони були довантажені до руйнування. Розвантаження зразків на циклах виконувалось такими ж ступенями, як і при навантаженні (рис. 3).

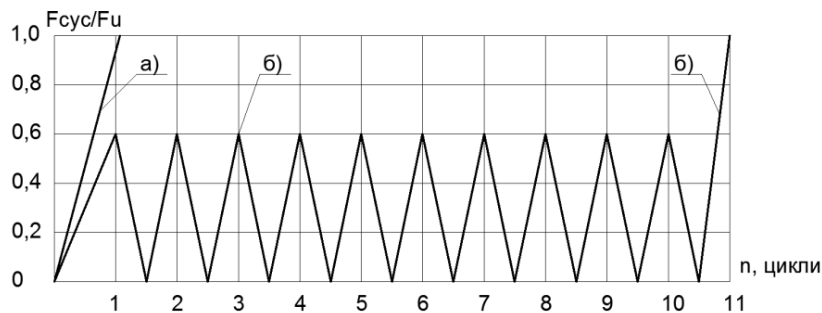


Рисунок 3 – Режим навантажень дослідних лотків I-ої та II-ої серії:

а) 1Б–1...3, 1ЗБ–1...3, 1СФБ–1...3; б) 2ЗБп–1...3, 2СФБп–1...3 і 2СФБЗп–1...3

Навантаження до зразків III-ої серії 3СФБп_{-1;-1}–1...3, 3СФБп_{+1;-1}–1...3, 3СФБп_{+1;-1}–1...3, 3СФБп_{-1;-1}–1...3, 3СФБп_{0;0}–1 прикладалось ступенями через 1,43 кН, що становило 8 – 12 % від руйнівного. Режим навантаження-розвантаження зразків III-ої серії подано на рис. 4.

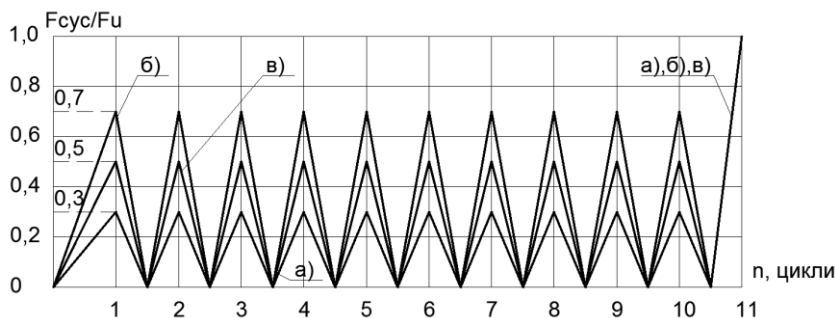


Рисунок 4 – Режим навантажень дослідних лотків III-ої серії: а) 3СФБп_{+1;-1}–1...3, 3СФБп_{-1;-1}–1...3; б) 3СФБп_{-1;-1}–1...3, 3СФБп_{+1;-1}–1...3; в) 3СФБп_{0;0}–1

Третій розділ присвячений ґрунтовному аналізу одержаних результатів експериментальних досліджень роботи лотків водовідведення при дії короткочасних одноразових і повторних навантажень. Детально висвітлено процеси тріщиноутворення в бетонних, залізобетонних, сталевібробетонних та сталевіброзалізобетонних лотках.

I серія дослідження проводилась на лотках: 1Б–1, 1Б–2, 1Б–3 без армування; 1ЗБ–1, 1ЗБ–2, 1ЗБ–3 з армуванням сталевими каркасами $\rho = 2\%$; 1СФБ–1, 1СФБ–2 і 1СФБ–3, виготовлених зі СФБ із відсотком армування сталевими анкерними фібрами $\mu = 2\%$ та 1СФЗБ–1, 1СФЗБ–2 і 1СФЗБ–3 із відсотками

армування сталевим каркасом $\rho = 1 \%$ і сталевими анкерними фібрами $\mu = 1 \%$ (загальний відсоток армування 2%) згідно плану табл. 1.

Для зразків 1Б–1...3 середнє руйнівнє навантаження склало $F_u = 6,67$ кН, а саме для зразка 1Б–1 воно становило $F = 5,84$ кН, для зразка 1Б–2 $F = 6,67$ кН і для зразка 1Б–3 $F = 7,5$ кН. Перші видимі тріщини в елементах 1Б–1...3 не були зафіксовані до прикладання руйнівного навантаження $F = 6,67$ кН. Після руйнування зразок просто розпадався на дві частини по зоні з максимальним згинальним моментом (рис. 5в). Ширина розкриття тріщин в такому випадку не фіксувалася.

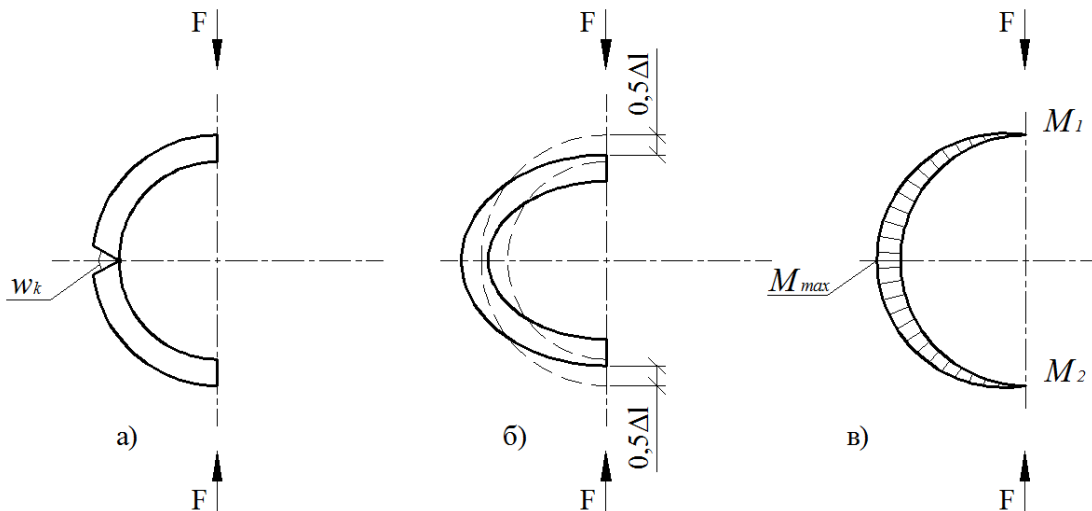


Рисунок 5 – Схема розміщення тріщин (а), переміщення перерізу (б) та епюри згинальних моментів (в) у Б, ЗБ, СФБ та СФЗБ зразках під час проведення випробування

Для зразків 13Б–1...3 середнє руйнівнє навантаження склало $F_u = 19,17$ кН, а саме, для зразка 13Б–1 воно становило $F = 15,83$ кН, для зразка 13Б–2 $F = 20,0$ кН, а для зразка 13Б–3 $F = 19,17$ кН. У зразках 13Б–1...3 перші видимі тріщини виникли при навантаженні $F = 8,33$ кН з шириною $w_k = 0,05$ мм, а саме одна прямолінійна тріщина в перерізі із максимальним згинаючим моментом згідно рис. 5в. Згідно з ДБН В.2.6-98:2009 під час експлуатації конструкцій, що зазнають кліматичних впливів при ширині розкриття тріщини $w_k > 0,4$ мм вважається порушена нормальна їх експлуатація.

Для зразків 1СФБ–1...3 середнє руйнівнє навантаження склало $F_u = 15,83$ кН. Для 1СФБ–1 воно становило $F = 15,00$ кН, для зразка 1СФБ–2 $F = 16,67$ кН, а для 1СФБ–3 $F = 15,83$ кН. Перші видимі тріщини в елементах 1СФБ–1...3 почали виникати раптово в зоні максимального згинального моменту при навантаженні близькому до руйнівного ($F = 14,17$ кН) з шириною розкриття $w_k = 0,2$ мм, а при завантаженні $F = 15$ кН вони розкривалися до $w_k = 0,28$ мм. Тріщини не були прямолінійні, у порівнянні зі зразками 13Б–1...3. Подальшого збільшення навантаження до $F = 15,83$ кН дослідні елементи не сприймали та відбувався процес їхнього руйнування.

Для зразків 1СФЗБ–1...3 середнє руйнівнє навантаження склало $F_u = 24,17$ кН, а саме, для зразка 1СФЗБ–1 воно становило $F = 24,17$ кН, для зразка 1СФЗБ–2 $F = 23,33$ кН, а для зразка 1СФЗБ–3 $F = 25,00$ кН. Видимі тріщини

виникли при $F = 9,17$ кН, при цьому виникала одна тріщина в перерізі із максимальним згинальним моментом ($w_k = 0,05$ мм). Результати по тріщиностійкості отримані під час дослідження зразків I-ої серії при короткочасних одноразових навантаженнях подані на рис. 6. Графіки усереднених переміщень перерізу дослідних елементів представлено на рис. 7.

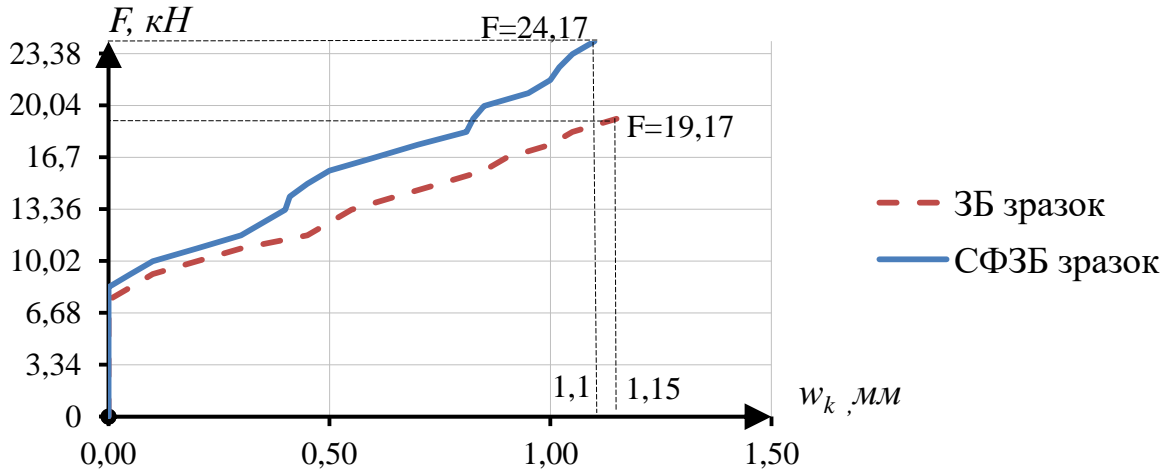


Рисунок 6 – Залежність ширини розкриття тріщин від навантаження

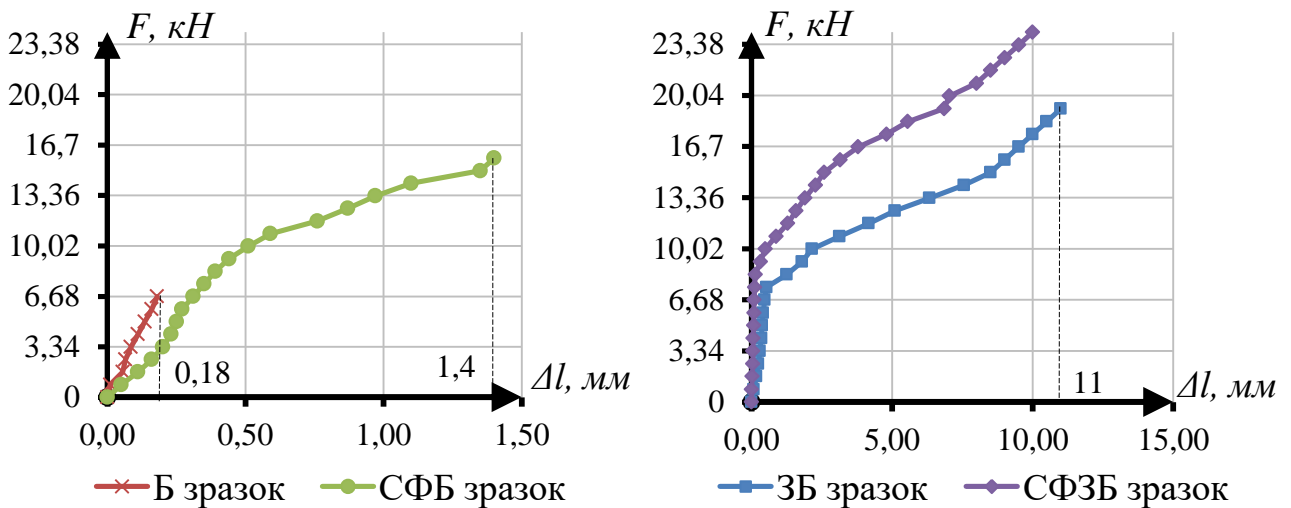


Рисунок 7 – Усереднені переміщення перерізу дослідних елементів

II серія дослідження проводилась на лотках: 2ЗБп-1, 2ЗБп-2 і 2ЗБп-3 із відсотком армування сталевими каркасами $\rho = 2$ %; 2СФБп-1, 2СФБп-2 і 2СФБп-3 із відсотком армування СФБ $\mu = 2$ % та 2СФЗБп-1, 2СФЗБп-2 і 2СФЗБп-3 із відсотками армування сталевим каркасом $\rho = 1$ % і сталевими анкерними фібрами $\mu = 1$ %, а загальний 2 % згідно плану табл. 1.

Під час дослідження зразків 2ЗБп-1...3 деформування перерізу (Δl) на ділянці $F = 0...6,33$ кН відбувалося лінійно та становило при максимальному завантаженні на даній ділянці ($F = 6,33$ кН) значення $\Delta l = 0,94$ мм. На ділянці $F = 6,33...9,33$ кН деформування зразків збільшилося нелінійно до значення $\Delta l = 0,94...2,78$ мм (через процес тріщиноутворення). У подальшому деформування зразків набуло певної лінійної закономірності, але з більшим приростом. Експериментальна середня несуча здатність для зразків 2ЗБп становила $F_u = 20,0$ кН. Перші видимі тріщини в зразках 2ЗБп-1...3 виникли на

першому циклі при навантаженні $F = 7,67$ кН з шириною розкриття $w_k = 0,23$ мм. При максимальному завантаженні в першому циклі ($F = 9,33$ кН) тріщини розкрилися до $w_k = 0,38$ мм. При повному розвантаженні зразків (до $F = 0$ кН) залишкова ширина розкриття тріщин становила в межах $w_k = 0,28 \dots 0,43$ мм.

На 1-му циклі при навантаженні $F = 9,33$ кН, значення повних та залишкових деформацій залізобетону в зонах стиску та розтягу становили: $\mathcal{E}_{c,max} = 81 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,max} = 107 \times 10^{-5}$, $\mathcal{E}_{c,pl} = 29 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,pl} = 57 \times 10^{-5}$. Протягом наступних 9-ти циклів до 10-го включно, в зонах стиску та розтягу відбувалося помірне зростання повних деформацій до $\mathcal{E}_{c,max} = 101 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,max} = 131 \times 10^{-5}$. На наступному 11-му циклі (руйнівному), внаслідок підвищення навантаження вище рівня $\eta = 0,6$, спостерігалось зростання повних деформацій до $\mathcal{E}_{c,max} = 271 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,max} = 190 \times 10^{-5}$ (при $F = 20$ кН).

Під час дослідження лотків 2СФБп–1...3 при навантаженні максимального зусилля ($F = 9,33$ кН) з кожним циклом деформування зразків постійно збільшувалися в проміжку $\Delta l = 0,47 \dots 1,07$ мм. Експериментальна несуча здатність для зразків 2СФБп становить $F_u = 10,83$ кН. В елементах 2СФБп–1...3 перші видимі тріщини виникли на 10 циклі при $F = 9,33$ кН з шириною розкриття $w_k = 0,05$ мм. На 11 циклі при $F = 9,33$ кН ширина розкриття тріщин вже була $w_k = 0,1$ мм. При середньому $F = 10,83$ кН зразки переставали чинити опір навантаженню та відбувалося їхнє руйнування.

Варто відмітити, що на 1-му циклі навантаження, значення повних та залишкових деформацій СФБ становили: $\mathcal{E}_{c,max} = 12 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,max} = 10 \times 10^{-5}$, $\mathcal{E}_{c,pl} = 2 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,pl} = 2 \times 10^{-5}$. Протягом наступних 9-ти циклів до 10-го включно, в зонах стиску та розтягу зростання повних та залишкових деформацій на 10-му циклі становило $\mathcal{E}_{c,max} = 19 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,max} = 21 \times 10^{-5}$, $\mathcal{E}_{c,pl} = 10 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,pl} = 9 \times 10^{-5}$. На наступному 11-му руйнівному циклі, внаслідок підвищення навантаження вище рівня $\eta = 0,6$, спостерігалось зростання повних деформацій до: $\mathcal{E}_{c,max} = 26 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{ct,max} = 61 \times 10^{-5}$ (при $F = 10,83$ кН).

Під час дослідження лотків 2СФЗБп–1...3 при навантаженні максимального зусилля ($F = 9,33$ кН) з кожним циклом деформування зразків постійно збільшувалися в проміжку $\Delta l = 2,18 \dots 3,15$ мм. Експериментальне середнє руйнівне навантаження для зразків 2СФЗБп становить $F_u = 16,67$ кН. Перші видимі тріщини в зразках 2СФЗБп–1...3 зафіксовані на 1-му циклі при $F = 6,33$ кН з шириною розкриття $w_k = 0,03$ мм, а при завантаженні $F = 9,33$ кН ширина розкриття тріщин становила $w_k = 0,2$ мм. При розвантаженні зразків до $F = 0$ кН залишкова ширина розкриття тріщин становила $w_k = 0,1$ мм. Під час прикладання зусилля $F = 6,33$ кН в розтягнутих зонах елементів 2СФЗБп–1...3 почали розкриватися тріщини. Утворення тріщин призвело до виходу з ладу тензорезисторів, що були розміщені в даній зоні. Через це крива $F - \mathcal{E}_s$ в зоні розтягу закінчується при $F = 6,33$ кН.

На 1-му циклі навантаження, значення повних та залишкових деформацій залізобетону в зонах стиску становили: $\mathcal{E}_{c,max} = 65 \times 10^{-5}$ та $\mathcal{E}_{c,pl} = 25 \times 10^{-5}$. Протягом наступних 9-ти циклів до 10-го включно, в зонах стиску відбувалося помірне зростання повних деформацій до $\mathcal{E}_{c,max} = 88 \times 10^{-5}$. Залишкові деформації практично не збільшувалися і на 10-му циклі становили $\mathcal{E}_{c,pl} = 28 \times 10^{-5}$. На наступному 11-му

руйнівному циклі, внаслідок підвищення навантаження вище рівня $\eta = 0,6$, спостерігалось зростання повних деформацій до $\mathcal{E}_{c,max}=276 \times 10^{-5}$ (при $F=15,83$ кН).

Результати по тріщиностійкості отримані під час дослідження зразків II-ої серії при короткочасних повторних навантаженнях подані на рис. 8.

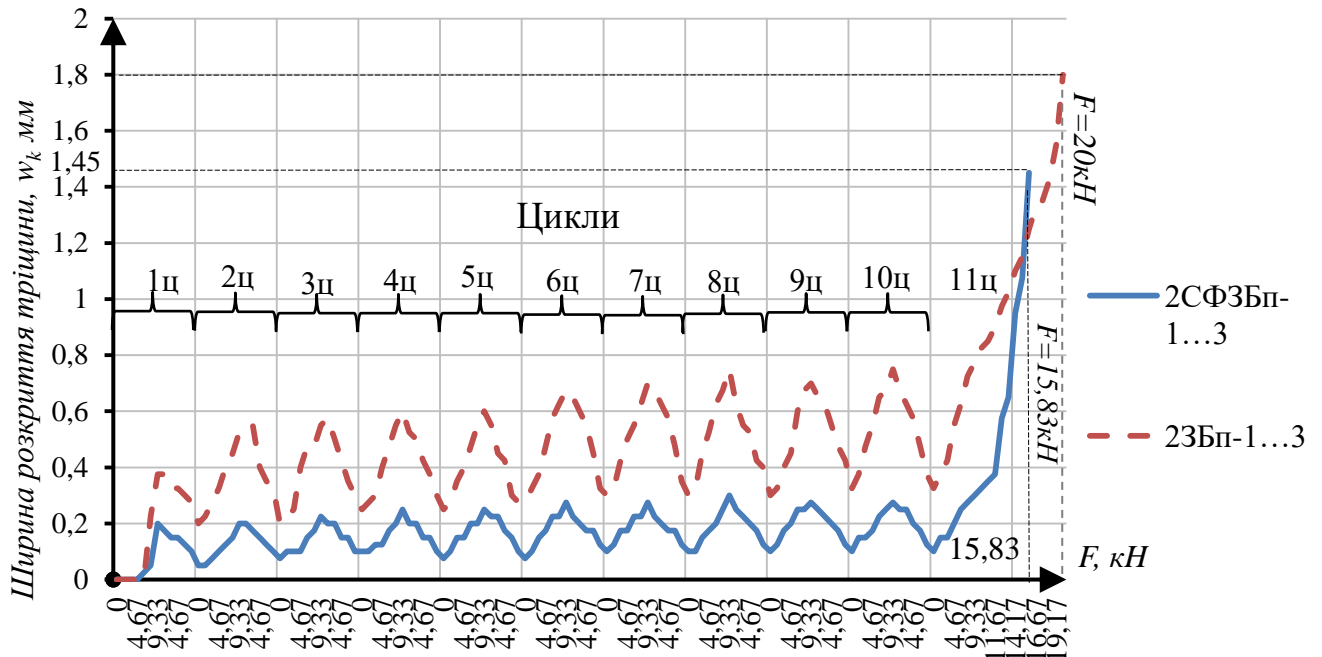


Рисунок 8 – Залежність розкриття тріщин від навантаження лотків II-ої серії

III серія дослідження проводилась на лотках: 3СФБп_{+1,+1}-1...3 при $\eta = 0,7$ та $\mu = 3\%$; 3СФБп_{+1,-1}-1...3 при $\eta = 0,3$ та $\mu = 3\%$; 3СФБп_{-1,+1}-1...3 при $\eta = 0,7$ та $\mu = 1\%$; 3СФБп_{-1,-1}-1...3 при $\eta = 0,3$ та $\mu = 1\%$, а також контрольний зразок 3СФБп_{0,0}-1 при $\eta = 0,5$ та $\mu = 2\%$ згідно плану табл. 1.

Значення переміщення перерізу дослідних елементів 3СФБп на 1 та 10 циклі були усереднені та подані відповідно на рис. 9 і рис. 10.

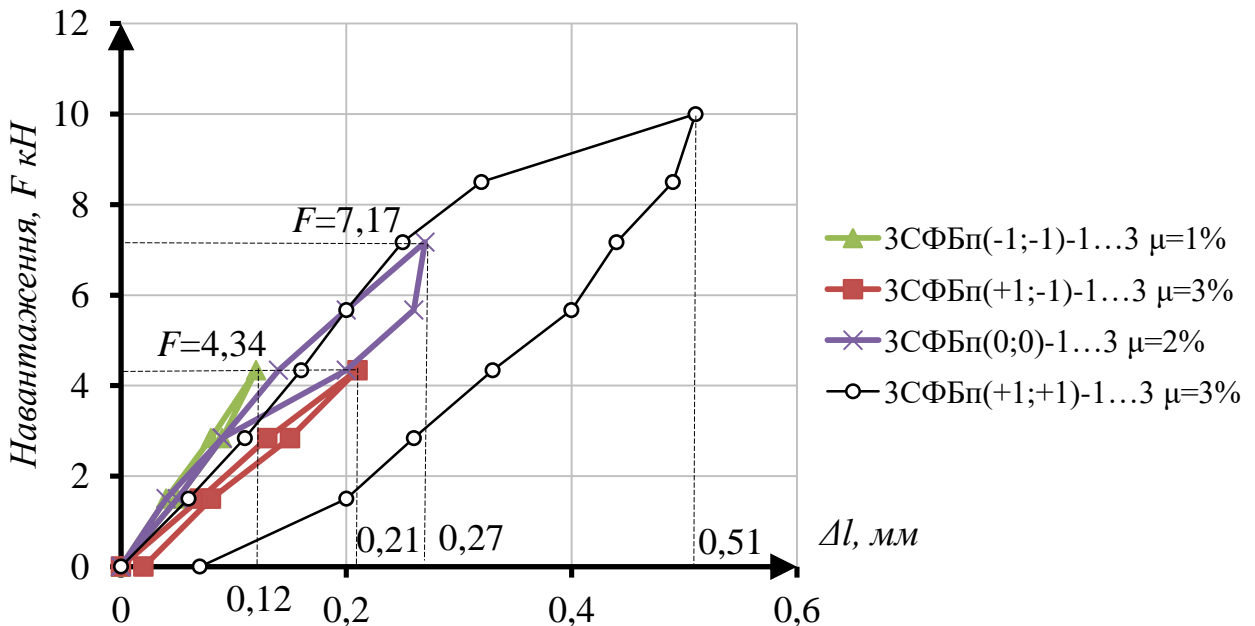


Рисунок 9 – Усереднені переміщення перерізу 3СФБп на 1 циклі

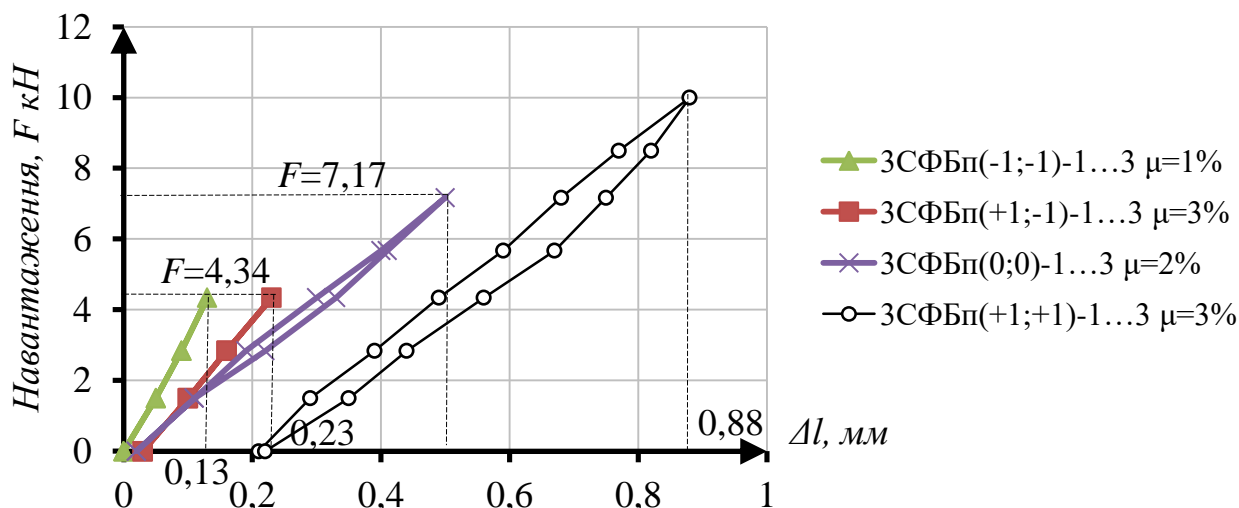


Рисунок 10 – Усреднені переміщення перерізу ЗСФБп на 10 циклі

Перші тріщини в зразках ЗСФБп_{-+1;+1-1...3}; ЗСФБп_{+1;-1-1...3}; ЗСФБп_{-1;-1-1...3}; ЗСФБп_{-1;-1-1...3}; ЗСФБп_{-0;0-1} зафіксовані на 11-му циклі при навантаженні близькому до руйнування з середнім значенням розкриття – $w_k = 0,02$ мм.

Встановлено, що водовідвідні лотки з СФБ при повторних навантаженнях мають значно вищу жорсткість і тріщиностійкість порівняно із аналогічними елементами зі звичайного ЗБ чи комбіновано армованими елементами (СФЗБ).

При повторних навантаженнях в зразках ЗСФБп-1...3 протягом десятикратного завантаження деформування перерізів становили при максимальному завантаженні циклу $\Delta l = 0,47...0,98$ мм, в той час, як в типових залізобетонних елементах (ЗБп-1...3) ці величини були (від 1-го до 10-го циклу) більшими в кілька разів $\Delta l = 2,59...2,78$ мм відповідно та в ЗСФЗБп-1...3 $\Delta l = 2,18...3,15$ мм відповідно.

Тріщини в дослідних зразках ЗБп-1...3 і ЗСФЗБп-1...3 виникали на 1-му циклі, а в зразках зі СФБ лише на 11-му. Вони у всіх зразках були зафіксовані тільки в зоні з максимальним згинальним моментом. У типових ЗБ елементах тріщини були практично прямолінійними, з чіткими берегами, а в зразках зі СФБ та СФЗБ вони були з вираженою плетінчастістю.

У **четвертому розділі** проведено моделювання роботи сталевібробетонного лотка методом скінченних елементів (МСЕ), визначено числові значення напружень, згинальних моментів та переміщень, що виникають в лотках зі СФБ при дії на них наперед відомих навантажень.

За допомогою ПК «Ліра» було змодельовано та прораховано лоток напівтрубу зі сталевібробетону з параметрами, що відповідає зразкам типу ЗСФБ-1...3. Сталевібробетон, як матеріал з якого виготовляється лотки, задавали за допомогою експериментально одержаного графіка, що описує залежність напруження – деформації даного сталевібробетону ($\sigma - \varepsilon$). Перед запуском розрахункового процесу для лотка задавали 14-ий закон нелінійного деформування («кусочно-линейный закон деформирования»). Модель лотків змодельованих в ПК «Ліра» зображено на рис. 11.

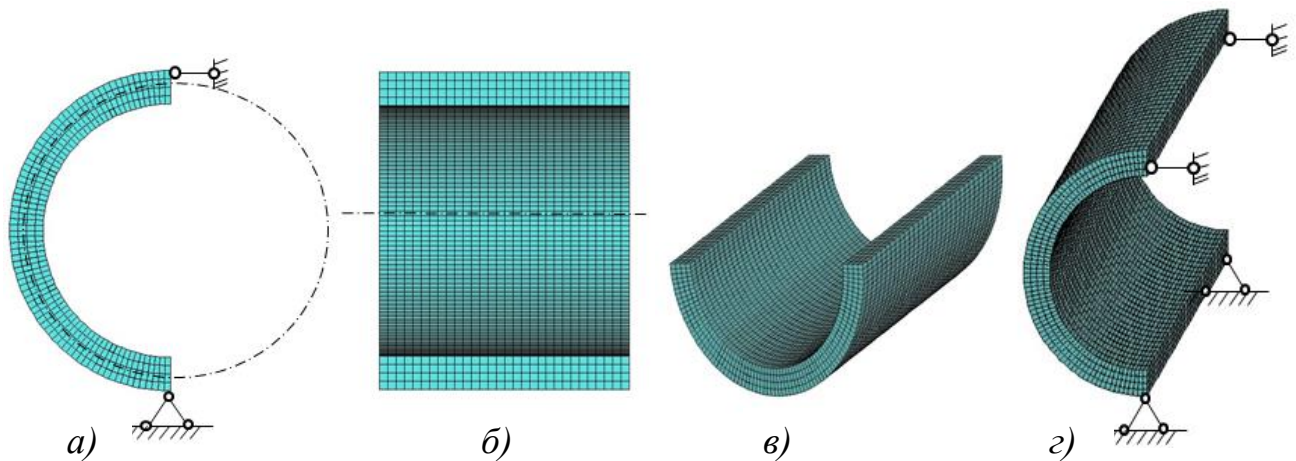


Рисунок 11 – Моделювання лотків I-ої, II-ої та III-ої серій:

a) – проєкція YOZ (вигляд спереду); *б)* – проєкція XOY (вигляд збоку);
в, г) – ізометричні проєкції (положення при роботі та під час випробування)

Значення моментів по середині перерізу, що отримані в наслідок даного розрахунку подано в табл. 2. Для порівняння також в табл. 2 представлено значення визначених згинальних моментів та напружень в лотках.

Таблиця 2 – Значення згинальних моментів та напружень в лотку зі СФБ (1СФБ-1...3)

№	Зусилля, F		Теоретично розраховані в бічному перерізі		ПК Ліра-САПР, σ , МПа	Похибка, %
	кН	кН/м	Момент, $(M, \text{кН}\cdot\text{м})$	Напруження $(\sigma, \text{МПа})$		
1	0,83	2,77	0,16	1,97	2,00	1,52
2	1,67	5,57	0,32	3,97	4,00	0,75
3	2,50	8,33	0,48	5,94	7,00	17,84
4	3,33	11,10	0,63	7,91	9,00	13,78
5	4,17	13,90	0,79	9,90	11,00	11,11
6	5,00	16,67	0,95	11,88	13,00	9,42
7	5,83	19,43	1,11	13,85	16,00	15,52
8	6,67	22,23	1,27	15,84	18,00	13,63
9	7,50	25,00	1,43	17,81	20,00	12,29
10	8,33	27,77	1,58	19,78	22,00	11,22
11	9,17	30,57	1,74	21,78	24,00	10,19
12	10,00	33,33	1,90	23,75	26,00	9,47
13	10,83	36,10	2,06	25,72	29,00	12,75
14	11,67	38,90	2,22	27,72	30,00	8,22
15	12,50	41,67	2,38	29,69	33,00	11,14
16	13,33	44,43	2,53	31,66	35,00	10,54
17	14,17	47,23	2,69	33,65	37,00	9,95
18	15,00	50,00	2,85	35,63	40,00	12,26
19	15,83	52,77	3,01	37,60	41,00	9,04

Згідно даних табл. 2 похибка значень згинальних моментів та напружень отриманих за допомогою ПК «Ліра» та теоретичного розрахунку знаходиться в межах 8 ... 13 % із середнім арифметичним значенням похибки $\bar{X}=10,56$, середнім квадратичним відхиленням $\sigma = 3,96$ та коефіцієнтом варіації $v = 37\%$.

В роботі встановлено вплив відсотка армування на жорсткість елементів зі сталевібробетону при згині. Отримано залежність граничних напружень від відсотка армування для перерізу СФБ лотків із проміжними значеннями представлено графічно на рис. 12 при $\eta = 0,5$ і $\eta = 0,7$.

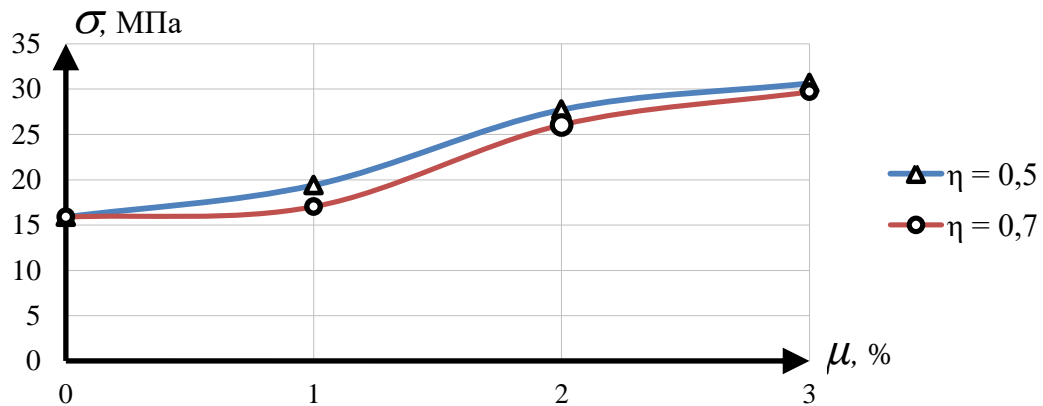


Рисунок 12 – Залежності граничних напружень від відсотку армування сталевібробетонного перерізу лотків

Апроксимовано отримані криві при рівнях навантажень сталевібробетонних лотків III серії при $\eta = 0,5$ і $\eta = 0,7$ за допомогою трьох функцій (логарифмічної $y = \log_a x$, експоненціальної $y = e^x$ і поліноміальної $y = c_0 + c_1x + \dots + c_nx^n$). Визначено відхилення – коефіцієнти кореляції (R^2) по кожній з отриманих апроксимацією функцій при $\eta = 0,5$: $R^2_{\text{логарифм}} = 0,9214$; $R^2_{\text{експоненц}} = 0,9608$; $R^2_{\text{поліном}} = 0,9638$ та $\eta = 0,7$: $R^2_{\text{логарифм}} = 0,8332$; $R^2_{\text{експоненц}} = 0,9233$; $R^2_{\text{поліном}} = 0,9362$. Проаналізувавши отримані коефіцієнти кореляції можна стверджувати, що найбільша збіжність між істинними значеннями та апроксимованими є при застосуванні поліноміальної функції.

Проведено теоретичне дослідження напружено-деформованого стану лотків зі СФБ. Із урахуванням умов закріплення лотків (оболонки) зі СФБ при випробуваннях, системи рівнянь рівноваги в зусиллях та моментах має вигляд:

$$\frac{dQ_\varphi}{d\varphi} - N_\varphi = 0; \quad \frac{dM_\varphi}{d\varphi} - RQ_\varphi = 0; \quad \frac{dN_\varphi}{d\varphi} = -Q_\varphi(\varphi). \quad (1)$$

Вирази для внутрішніх зусиль N_φ , Q_φ , M_φ запишемо наступним чином:

$$N_\varphi(\varphi) = 2\tilde{E}_2 \frac{h}{R} \left(\frac{dv}{d\varphi} + w \right); \quad M_\varphi(\varphi) = -\frac{D'_2}{R^2} \left(\frac{d^2\bar{w}}{d\varphi^2} + w \right); \quad Q_\varphi(\varphi) = \frac{K_\varphi}{R} \frac{d\tilde{w}_\tau}{d\varphi}, \quad K_\varphi = \frac{4}{3} G'h. \quad (2)$$

Для знаходження переміщень поперечного перерізу оболонки, як функції полярного кута φ необхідно розв'язати систему диференціальних рівнянь у переміщеннях, яку, за відсутності розподіленого по стінках оболонки навантаження, можливо звести до вигляду:

$$\frac{d^2w}{d\varphi^2} + w = -\frac{PR^3}{D'_2} \left(1 + \frac{3\tilde{E}_2}{5G'} \frac{I'}{hR^2} \right) \sin \varphi; \quad \frac{dv}{d\varphi} + w = 0 \quad (3)$$

Із розв'язку системи диференціальних рівнянь випливають залежності абсолютних деформацій (Δl) навантаженого кінця оболонки ($\varphi = 0$) від прикладеного зусилля P (F):

$$\Delta l = \omega = \omega(0) = \frac{PR^3\pi}{2\tilde{E}_2 I'} \left(1 + \frac{6I_0 \tilde{E}_2}{5G'}\right). \quad (4)$$

На основі формули (4) визначаємо абсолютні деформації (Δl) лотка зі сталевібробетону в залежності від прикладеного зусилля P (F). Проаналізувавши результати теоретичного розрахунку, що характеризують деформування перерізу встановлено, що використання уточненої теорії тонких оболонок для теоретичного розрахунку напружено-деформованого стану лотків зі сталевібробетону доцільно застосовувати лише при його пружній роботі.

В роботі розроблено інженерну методику розрахунку несучої здатності лотків зі сталевібробетону. Вираз отриманий для визначення несучої здатності згинальних СФБ елементів прямокутного перерізу без поздовжнього армування з рівнянь рівноваги для напружено-деформованого стану має вигляд:

$$M_{ult} = 0,5\eta f_{fc} b \lambda x_f h, \quad (5)$$

Остаточно для визначення несучої здатності СФБ елементів підставимо вираз висоти стиснутої зони бетону СФБ елемента без поздовжнього армування у (5), та після нескладних перетворень одержимо:

$$M_{ult} = 0,5\eta f_{fc} \frac{\eta_t k f_{fct}}{\eta_t k f_{fct} + \eta f_{fc}} b h^2. \quad (6)$$

Під час проведення експериментального дослідження встановлено, що значення несучої здатності згинального СФБ елемента (при $\mu = 2$ %) прямокутного перерізу при без поздовжнього армування (5) становить $M_{ult} = 1,2$ кН•м. У табл. 3 наведено порівняння експериментально отриманих та теоретично визначених значень несучої здатності за виразом (6).

Таблиця 3 – Порівняння експериментально встановленої та теоретично визначеної значень несучої здатності за виразом (6).

№	Маркування лотка	Відсоток армування, μ	Експериментальний M_{ult} , кН•м	Теоретичний M_{ult} , кН•м	Похибка %
1	ЗСФБп ₋₁ ;	1	0,8	0,66	17
2	ЗСФБп ₀ ;	2	1,2	0,95	20
3	ЗСФБп ₊₁ ;	3	1,3	1,105	15

Похибка між теоретично отриманим значенням граничного моменту, який може сприйняти переріз, та результатами експериментальних досліджень становить 15...20 % із середнім арифметичним значенням похибки $\bar{X} = 17,3$ та середнім квадратичним відхиленням $\sigma = 2,1$. Значення коефіцієнта варіації – $v = 12\%$. Вважаємо, що вираз (6) можна застосовувати при розрахунку несучої здатності сталевібробетонних лотків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи вирішено наукове завдання з встановлення особливостей роботи та несучої здатності сталевібробетонних лотків при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях. В підсумку проведених експериментальних та теоретичних досліджень сформульовано наступне:

1. Сталевібробетон, як ефективний матеріал доцільно використовувати для виготовлення лотків водовідведення, що підтверджується в т.ч. і економічними показниками. В дисертації отримані нові експериментальні дані роботи лотків типу напів-труба зі СФБ при дії короткочасних одноразових та повторних навантажень різних рівнів.

2. Розроблена методика дослідження та конструкція установки, що дозволила отримати достовірні експериментальні дані для 34 випробувальних моделей лотків при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях.

3. Проведені експериментальні дослідження роботи та несучої здатності лотків, що дозволило встановити наступне:

- зафіксовано, що збільшення відсотку армування сталевими фібрами з $\mu = 1\%$ до $\mu = 2\%$ дає приріст по міцності (в середньому) для лотків зі СФБ при повторних малоциклових навантаженнях до 40 %, а із $\mu = 1\%$ до $\mu = 3\%$ дає приріст по міцності до 58 %;

- встановлено, що при однаковому рівні повторних навантажень зафіксовані деформації в СФБ були в 4...6 разів менші, ніж в залізобетоні;

- утворення тріщин в бетонних і сталевібробетонних зразках зафіксовано при руйнівному навантаженні, а в залізобетонних та сталевіброзалізобетонних зразках розкриття тріщин спостерігалось при навантаженні 40...50 % від руйнівного. Тріщини в дослідних лотках виникали тільки в зоні з максимальним згинальним моментом (в зоні розтягу). У типових елементах тріщини були практично прямолінійними, з чіткими берегами, а в зразках зі сталевібробетону тріщини були з нечіткими контурами та вираженою плетінчастістю;

- встановлено, що при повторних навантаженнях, рівень яких не перевищує 70 % від руйнівних, у СФБ лотках тріщини виникають тільки при довантаженні їх до руйнівного зусилля;

- встановлено, що жорсткість лотків зі сталевібробетону в порівнянні з жорсткістю залізобетонних лотків при дії одноразових навантажень вища в 4...6 разів. А жорсткість сталевіброзалізобетонних лотків вища ніж жорсткість залізобетонних лотків у 2...2,5 рази.

4. Запропоновано алгоритм моделювання роботи сталевібробетонних лотків за одноразових навантажень методом скінчених елементів, проведено розрахунок значень напруження, згинальних моментів та переміщень, що виникають в лотках зі СФБ при дії наперед відомих на них навантажень. Встановлено їх порівняння з теоретичним розрахунком – похибка даних знаходиться в межах 8...13 %.

5. Встановлено вплив відсотка армування на жорсткість перерізу елементів за повторних навантажень зі сталевібробетону при згині, що дає можливість

теоретично визначати граничні напруження. Представлено залежності граничних напружень від відсотка армування при рівнях навантаження $\eta = 0,5$ і $\eta = 0,7$. Встановлено, що найбільша збіжність між істинними значеннями залежності граничних напружень від відсотка армування та апроксимованими є при застосуванні поліноміальної функції.

6. Проведено теоретичне дослідження напружено-деформованого стану лотків зі сталевібробетону методом уточненої теорії тонких оболонок за одноразових навантажень. Підтверджено, що використання уточненої теорії тонких оболонок для теоретичного розрахунку напружено-деформованого стану лотків зі СФБ доцільно застосовувати лише при його пружній роботі – в такому випадку похибка результатів не перевищуватиме 10%.

7. Розроблено інженерну методику розрахунку несучої здатності лотків зі сталевібробетону за одноразових навантажень із середнім арифметичним значенням похибки $\bar{X}=17,3$ та середнім квадратичним відхиленням $\sigma = 2,1$ і значенням коефіцієнта варіації $v = 12\%$, що дозволяє з достатньою для практики точністю конструювати СФБ лотки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Андрійчук О. В. Виготовлення придорожніх лотків водовідводу зі сталевібробетону / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк // Наукові нотатки: Збірник наукових праць. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. – Вип. 45. – С. 7 – 14. *(Особистий внесок автора: проведення аналізу використання СФБ в конструкціях).*

2. Андрійчук О. В. Вплив короточасних повторних навантажень на роботу сталевібробетонних лотків водовідведення / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2016. – Вип. 32. – С. 113 – 120. *(Особистий внесок автора: результати експериментальних досліджень; порівняння роботи лотків із залізобетону та СФБ при дії повторних навантажень).*

3. Андрійчук О. В. Дослідження міцнісних характеристик сталевібробетонних лотків водовідведення / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 31. – С. 371 – 378. *(Особистий внесок автора: результати експериментальних досліджень; дослідження дисперсно-армованих лотків при дії одноразових навантажень).*

4. Андрійчук О. В. Експериментальні дослідження деформацій залізобетону, сталевібробетону та сталевіброзалізобетону в придорожніх лотках / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2018. – Вип. 35. – С. 44 – 52. *(Особистий внесок автора: безпосередня участь у проведенні експериментальних досліджень, обробленні й аналізі їх результатів).*

5. Андрійчук О. В. Методика експериментального дослідження дисперсно-армованих придорожніх лотків водовідведення / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк //

Вісник Одеської національної академії будівництва та архітектури: Збірник наукових праць. – Одеса: ОНАБА, 2015. – Вип. 58. – С. 11 – 18. *(Особистий внесок автора: розроблення методики дослідження лотків при дії одноразових навантажень)*.

6. Андрійчук О. В. Методика експериментального дослідження природо-рожних лотків водовідведення із сталевібробетону / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 86 – 95. *(Особистий внесок автора: розроблення методики дослідження лотків при дії повторних навантажень)*.

7. Бабич Є. М. Використання сталевібробетону для дорожньо-транспортних споруд / Є. М. Бабич, О. В. Андрійчук, С. О. Ужegov, І. М. Ясюк, Р. В. Шмігель // Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА, 2014. – Вип. 54. – С. 33-41. *(Особистий внесок автора: аналіз використання сталевібробетону для дорожньо-транспортних споруд)*.

8. Ясюк І. М. Огляд видів фібр для дисперсно-армованих бетонів / І.М.Ясюк // Товарознавчий вісник: збірник наукових праць. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. – Вип. 11. – С. 183 – 190. *(Особистий внесок автора: аналіз видів фібри для дисперсно-армованих бетонів)*.

9. Ясюк І. М. Тріщиностійкість сталевібробетонних лотків при дії одноразових короткочасних навантажень / І. М. Ясюк // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: Збірник наукових праць. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – Вип. 4. – С. 248 – 255. *(Особистий внесок автора: результати експериментальних досліджень; порівняння тріщиностійкості типових елементів та елементів зі сталевібробетону)*.

Статті у наукових періодичних виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз:

10. Andriichuk O. The influence of repeated loading on work of the steel fiber concrete drainage trays and pipes on the roads / O. Andriichuk, V. Babich, I. Yasyuk, S. Uzhehov // MATEC Web of Conferences, N 116, 2017, p 02001, 1-9. *(Особистий внесок автора: аналіз впливу повторних навантажень на лотки зі сталевібробетону)*.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Андрійчук О. В. Лотки водовідведення зі сталевібробетону: [монографія] / О. В. Андрійчук, І. М. Ясюк. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 160 с. – ISBN 978-617-672-199-4 *(Особистий внесок автора: аналіз використання сталевібробетону, розроблення методики дослідження лотків при дії одноразових навантажень, результати експериментальних досліджень, оброблення й аналіз результатів)*.

Патенти:

12. Пат. № 121029 UA, МПК E03C 1/00; E01C 11/12. Сталевібробетонний лоток для притрасового водовідведення / О. В. Андрійчук, Є. М. Бабич, І. М. Ясюк // заявник і патентовласник Луцький національний технічний університет – опубл. - 27.11.2017 року бюлетень №22. *(Особистий внесок автора: патентний пошук, конструювання сталевібробетонного лотка)*.

АНОТАЦІЯ

Ясюк І.М. Робота та несуча здатність сталевібробетонних лотків. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, 2019.

Дисертацію присвячено аналізу роботи та несучої здатності сталевібробетонних лотків.

У результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено, що лотки водовідведення зі сталевібробетону при одноразових і повторних навантаженнях мають вищу несучу здатність, жорсткість і тріщиностійкість в порівнянні з бетонними та залізобетонними лотками. Проведено моделювання роботи сталевібробетонних лотків методом скінчених елементів, встановлено вплив відсотка армування на жорсткість елементів зі сталевібробетону при згині, проведено теоретичні дослідження напружено-деформованого стану лотка зі сталевібробетону та розроблено інженерну методику розрахунку несучої здатності лотків зі сталевібробетону.

Ключові слова: залізобетон, сталевібробетон, фібра, лоток, напружено-деформований стан, тріщиностійкість, повторні та одноразові навантаження.

АННОТАЦИЯ

Ясюк И.Н. Работа и несущая способность сталефибробетонных лотков. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, 2019.

Диссертация посвящена анализу работы и несущей способности сталефибробетонных лотков.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что лотки водоотвода с сталефибробетона при однократных и повторных нагрузках имеют высшую несущую способность, жесткость и трещиностойкость по сравнению с бетонными и железобетонными лотками. Проведено моделирование работы сталефибробетонных лотков методом конечных элементов, установлено влияние процента армирования на ужесточение элементов из сталефибробетона при изгибе, проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния лотка с сталефибробетона и разработана инженерная методика расчета несущей способности лотков с сталефибробетона.

Ключевые слова: железобетон, сталефибробетон, фибра, лоток, напряженно-деформированное состояние, трещиностойкость, повторные и одноразовые нагрузки.

ABSTRACT

Yasiuk I.M. Work and bearing capacity of steel fiber reinforced concrete gutters. – The qualification scientific work published in manuscript form.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.23.01 – Building constructions, buildings and structures. – National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, 2019.

The dissertation is devoted to the analysis of work and bearing capacity of steel fiber reinforced concrete gutters.

As a result of the experimental studies, it was confirmed that the drainage gutters made out of steel fiber reinforced concrete under both one-time and repeated loads have increased bearing capacity, rigidity and crack resistance compared to concrete and reinforced concrete gutters.

Conducted the simulation of the work of the steel fiber reinforced concrete gutter by the finite element method (FEM), numerical values of the stresses, bending moments and displacements that arise in the gutters of the SFRC under the known loads are determined. A comparison of bending moments and stresses obtained in «Lira» software and theoretical calculation with an inaccuracy within 8...13 % are also presented.

The influence of the percentage of reinforcement on the stiffness of elements made out of steel fiber reinforced concrete while bending is determined. The relation of the boundary stresses on the percentage of reinforcement for the cross section of the SFRC gutters with intermediate values, the graph is presented at $\eta = 0,5$ and $\eta = 0,7$. The obtained curves are approximated at the loading levels of the steel fiber reinforced concrete gutters of the III series $\eta = 0,5$ and $\eta = 0,7$ by the means of three functions (the logarithmic $y = \log_a x$, the exponential $y = e^x$ and the polynomial $y = c_0 + c_1x + \dots + c_nx^n$). Deviation is also defined - the correlation coefficients (R^2) for each of functions obtained by approximation at $\eta = 0,5$ and $\eta = 0,7$.

Was conducted theoretical studies of the stress-strain state of the steel fiber reinforced concrete gutter. It is defined that the use of the refined theory of thin shells for the theoretical calculation of the stress-strain state of steel fiber reinforced concrete gutters is advisable to apply only in its elastic operation.

The engineering method of calculation of bearing capacity of steel fiber reinforced concrete gutters is developed. The inaccuracy among the theoretically obtained value of the limiting moment, which can perceive the cross section, and the results of experimental studies is 17.3 %.

Keywords: reinforced concrete, steel fiber reinforced concrete, fiber, gutter, stress-strain state, crack resistance, repeated and one-time loads.

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
Свідоцтво Деркомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011
Підписано до друку __.05.2019 р.
Папір офсетний. Гарнітура Times. Друк RISO.
Ум. друк. арк. 10,0. обл.-вид. арк. 9,8.
Формат 60x84 1/16 Тираж 100. Зам. № 4