

УДК 624.012.45

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.181

## РОБОТА СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЛОТКІВ ДЛЯ ПРИТРАСОВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ПІД ЧАС ДІЇ КОРОТКОЧАСНИХ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З РІЗНИМИ РІВНЯМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ

Андрійчук О.В.<sup>1</sup>, Ясюк І.М.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Луцький національний технічний університет

**Анотація.** Наведені результати експериментальних досліджень деформативності перерізу сталефібробетонних лотків притрасового водовідведення за умови короткочасних повторних навантажень з різними рівнями прикладання зусиль  $\eta_{\text{сус}} = 0,3; 0,5; 0,7$ . Представлено методіку проведення експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** сталефібробетон, СФБ, сталева фібра, водовідведення, лоток, несуча здатність, міцність.

### Вступ

Сталефібробетон (СФБ) – ефективний матеріал для виготовлення багатьох нових та підсилення наявних будівельних конструкцій, якому останні роки надається належна увага [1–7].

Порівняно з класичним залізобетоном він має вищу тріщиностійкість та жорсткість, тому його доцільно застосовувати для виготовлення лотків для притрасового водовідведення, які можуть використовуватися також і в гідромеліоративних системах.

### Аналіз публікацій

Дослідження СФБ набуває все більшої популярності для підсилення різних будівельних конструкцій, зокрема і в дорожньому будівництві – жорстке цементно-бетонне покриття доріг; злітно-посадкові смуги аеродромів; гідроспоруди: причали, дамби, греблі, труби; просторові споруди; елементи мостів та ін. Отримані результати попередніх досліджень лотків для притрасового водовідведення із СФБ, що проведено авторами статті, представлено в працях [8–10].

Експериментальні дослідження лотків систем притрасового водовідведення виготовлених із СФБ під час дії повторних навантажень, порівняння отриманих даних із результатами випробувань типових лотків і виявлення переваг та недоліків у застосуванні дисперсно-армованого бетону в конструкції лотків є актуальним та доцільним завданням.

### Мета й визначення завдання

Метою цієї статті є висвітлення результатів проведених авторами досліджень з визначення деформативності сталефібробетонних лотків водовідведення в процесі короткочас-

них повторних навантажень з різними рівнями їх прикладання.

### Результати досліджень із визначення деформативності сталефібробетонних лотків водовідведення при короткочасних повторних навантаженнях

Для проведення запланованого дослідження виготовлено по три сталефібробетонні лотки-близнюки з відсотком армування  $\mu = 1\%$ ;  $\mu = 2\%$  і  $\mu = 3\%$ . Кожний вид зразків піддається впливу короткочасних повторних навантажень з різними рівнями завантаження:  $\eta = 0,3$ ;  $\eta = 0,5$  та  $\eta = 0,7$  із кроком прикладання зусилля, що становить 8–12 % від руйнівного. Детально конструктивні рішення, технологію виготовлення та методіку дослідження експериментальних лотків представлено в статтях [8, 9].

Під час дослідження лотків для порівняння їх деформативності проведено експериментальні дослідження згідно з табл. 1, відповідно до мети та завдань, поставлених у роботі.

Таблиця 1 – План експериментальної частини для дослідження лотків водовідведення

Навантаження	Досліджувані параметри			Особливо сті зразків	Маркування зразків	
Матриця планованого експерименту				Стале- фібро- бетонні, С12/15, $\mu \approx 1\%$ ; $\mu \approx 2\%$ ; $\mu \approx 3\%$	3СФБп <sub>-1,-1-1</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-2</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-3</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-1</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-2</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-3</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-1</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-2</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-3</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-1</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-2</sub> ; 3СФБп <sub>-1,-1-3</sub> ; 3СФБп <sub>0,0-1</sub>	
		-1	0			+1
	$\mu$	1	2			3
	$\eta$	0,3	0,5			0,70

Випробування дослідних зразків (лотків) виконувалося шляхом прикладання до металевої траверси зосередженого вертикального навантаження, що діє на лоток як рівномірно розподілене (рис. 1).

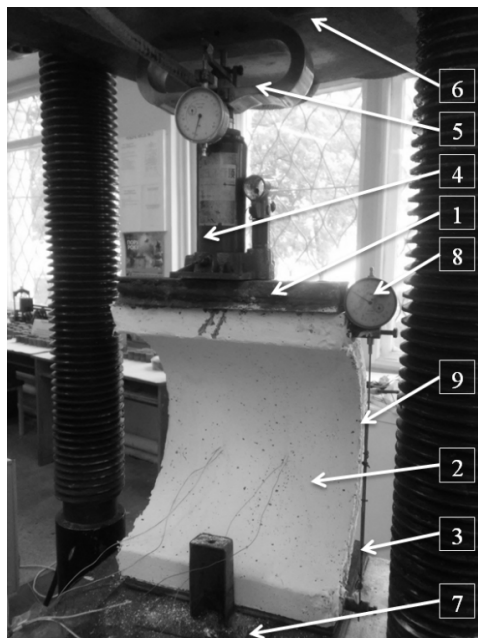


Рис. 1. Загальний вигляд випробування лотків: 1 – металева траверса; 2 – дослідний водовідвідний лоток; 3 – нерухома основа; 4 – гідравлічний домкрат; 5 – зразковий динамометр; 6 – верхня плита пресу ПСУ-125; 7 – нижня плита пресу ПСУ-125; 8 – датчик визначення переміщення; 9 – штанга переміщення

У процесі дослідження нижня частина лотка спирається на жорстку основу. Для цього використано гідравлічний прес ПСУ-125. Для підвищення точності вимірювання дієвого зусилля використовується зразковий протестований динамометр, що дозволяє виміряти навантаження з точністю 50 Н. Навантаження створюється гідравлічним домкратом.

Навантаження до зразків 3-ї серії 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub>, 3СФБп<sub>1,-1-1...3</sub>, 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub>, 3СФБп<sub>1,-1-1...3</sub>, 3СФБп<sub>0,0-1</sub> прикладалося ступенями в середньому через 1,43 кН, що становило 8–12 % від руйнівного. Після кожного ступеня навантаження робилась витримка протягом 5–7 хв, під час якої знімали покази індикатора вертикальної осі, показники тензометричного комплексу та вимірювалася ширина розкриття тріщин. Розвантаження зразків на циклах виконувалося такими ж ступенями. Режим навантаження зразків подано на рис. 2.

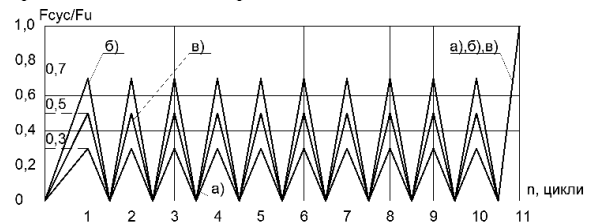


Рис. 2. Режим навантажень дослідних лотків водовідведення: а) 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub>, 3СФБп<sub>1,-1-1...3</sub>; б) 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub>, 3СФБп<sub>1,-1-1...3</sub>; в) 3СФБп<sub>0,0-1</sub>

### Результати досліджень

Руйнівне навантаження для елементів 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub> (армування СФБ  $\mu = 3\%$ ) склало  $F_u = 12,5$  кН, а саме для зразка 3СФБп<sub>1,+1-1</sub> воно становило  $F = 12,5$  кН, для зразка 3СФБп<sub>1,+1-2</sub>,  $F = 13,33$  кН і для зразка 3СФБп<sub>1,+1-3</sub>,  $F = 11,67$  кН.

На одинадцятому циклі під час навантаження  $F = 10,83$  кН,  $F = 11,67$  кН і  $F = 12,50$  кН переміщення перерізу зразків 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub> становило  $\Delta l = 1,00$  мм,  $\Delta l = 1,3$  мм та  $\Delta l = 1,50$  мм відповідно. Подальшого навантаження дослідні зразки не сприймали та відбувся процес їх руйнування.

Переміщення перерізу зразків 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub> на ділянці  $F = 0...10,00$  кН відбувалося лінійно та досягло за умови  $F = 10,00$  кН значення  $\Delta l = 0,51$  мм. У разі навантаження максимального зусилля на циклах  $F = 10,00$  кН переміщення перерізу зразків були в межах  $\Delta l = 0,51...0,91$  мм. Значення переміщення перерізу дослідних елементів 3СФБп<sub>1,+1-1...3</sub> були усереднені та подані на рис. 3.

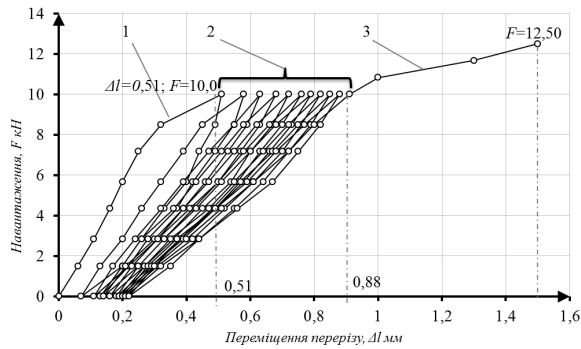


Рис. 3. Усереднені переміщення перерізу дослідних елементів ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>...3: 1 – під час 1-го циклу; 2 – під час 2-го...10-го циклів; 3 – під час 11-го циклу

Руйнівне навантаження для елементів ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>...3 (армування СФБ  $\mu = 3\%$ ) становило  $F_u = 13,33$  кН, а саме для зразка ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>-1  $F = 12,50$  кН, для зразка ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>-2  $F = 14,17$  кН і для зразка ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>-3  $F = 13,33$  кН.

На одинадцятому циклі під час навантаження  $F = 5,00$  кН,  $F = 6,67$  кН,  $F = 8,33$  кН,  $F = 10,00$  кН,  $F = 11,67$  кН і  $F = 13,33$  кН переміщення стінок зразків ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>...3 становило  $\Delta l = 0,26$  мм,  $\Delta l = 0,43$  мм,  $\Delta l = 0,79$  мм,  $\Delta l = 1,43$  мм,  $\Delta l = 2,66$  мм та  $\Delta l = 4,50$  мм відповідно. Подальшого навантаження дослідні зразки не сприймали та відбувся процес їх руйнування.

Переміщення перерізу зразків ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>...3 на ділянці  $F = 0...4,34$  кН відбувалося лінійно та досягло за умови  $F = 4,34$  кН значення  $\Delta l = 0,21$  мм. У випадку навантаження максимального зусилля на циклах  $F = 4,34$  кН переміщення перерізу зразків були в межах  $\Delta l = 0,21...0,23$  мм. Значення переміщення перерізу дослідних елементів ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>...3 були усереднені та подані на рис. 4.

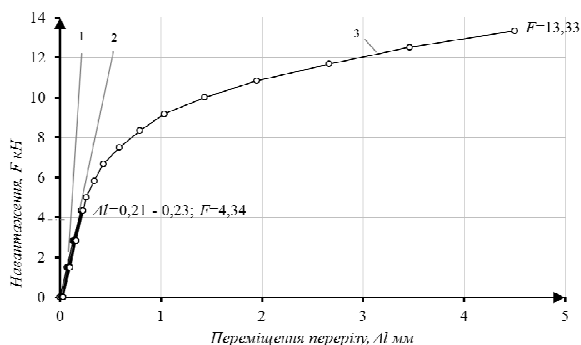


Рис. 4. Усереднені переміщення перерізу дослідних елементів ЗСФБ<sub>+1;-1</sub>...3: 1 – під

час 1-го циклу; 2 – під час 2-го...10-го циклів; 3 – під час 11-го циклу

У дослідженні елементів ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>...3 (армування СФБ  $\mu = 1\%$ ) руйнівне навантаження становило  $F_u = 7,17$  кН, а саме для зразка ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>-1  $F = 5,67$  кН, для зразка ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>-2  $F = 8,5$  кН і для зразка ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>-3  $F = 7,17$  кН. Зразки не витримали максимального навантаження на 1-му циклі  $F_{max} = 10,00$  кН.

Руйнівне навантаження для елементів ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>...3 (армування СФБ  $\mu = 1\%$ ) становило  $F_u = 9,17$  кН, а саме для зразка ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>-1  $F = 10,00$  кН, для зразка ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>-2  $F = 8,33$  кН і для зразка ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>-3  $F = 9,17$  кН.

На одинадцятому циклі під час навантаження  $F = 5,00$  кН,  $F = 6,67$  кН,  $F = 8,33$  кН і  $F = 9,17$  кН переміщення стінок зразків ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>...3 становило  $\Delta l = 0,16$  мм,  $\Delta l = 0,27$  мм,  $\Delta l = 0,43$  мм і  $\Delta l = 0,51$  мм відповідно. Подальшого навантаження дослідні зразки не сприймали та відбувся процес їх руйнування.

Переміщення перерізу зразків ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>...3 на ділянці  $F = 0...4,34$  кН відбувалося лінійно та досягло за умови  $F = 4,34$  кН значення  $\Delta l = 0,12$  мм. У разі навантаження максимального зусилля на циклах  $F = 4,34$  кН переміщення перерізу зразків були в межах  $\Delta l = 0,12...0,14$  мм. Значення переміщення перерізу дослідних елементів ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>...3 були усереднені та подані на рис. 5.

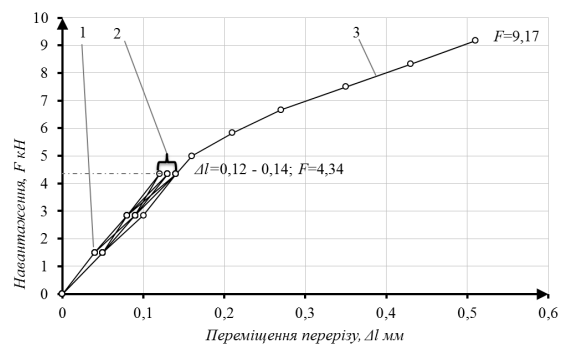


Рис. 5. Усереднені переміщення перерізу дослідних елементів ЗСФБ<sub>-1;-1</sub>...3: 1 – під час 1-го циклу; 2 – під час 2-го...10-го циклів; 3 – під час 11-го циклу

Руйнівне навантаження для контрольного зразка ЗСФБ<sub>0;0</sub>-1 (армування СФБ  $\mu = 2\%$ ) становило  $F_u = 11,67$  кН. Значення переміщення перерізу дослідного елемента ЗСФБ<sub>0;0</sub>-1 подані на рис. 6.

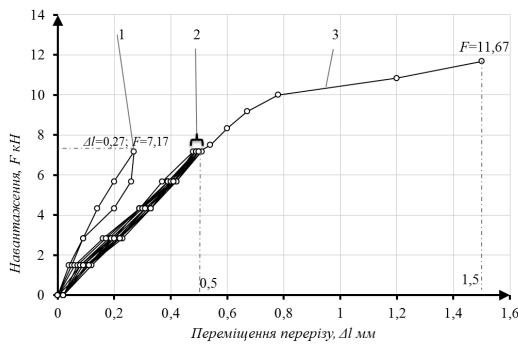


Рис. 6. Усереднені переміщення перерізу дослідних елементів ЗСФБ<sub>p0,0-1</sub>: 1 – під час 1-го циклу; 2 – під час 2-го...10-го циклів; 3 – під час 11-го циклу

На одинадцятому циклі під час навантаження  $F = 8,33$  кН,  $F = 10,00$  кН і  $F = 11,67$  кН переміщення стінок зразків ЗСФБ<sub>p0,0-1</sub> становило  $\Delta l = 0,60$  мм,  $\Delta l = 0,78$  мм та  $\Delta l = 1,50$  мм відповідно. Подальшого навантаження дослідні зразки не сприймали та відбувся процес їх руйнування.

Переміщення перерізу зразків ЗСФБ<sub>p0,0-1</sub> на ділянці  $F = 0 \dots 7,17$  кН відбувалося лінійно та досягло за умови  $F = 7,17$  кН значення  $\Delta l = 0,27$  мм. У процесі навантаження максимального зусилля на циклах  $F = 7,17$  кН переміщення перерізу зразків були в межах  $\Delta l = 0,27 \dots 0,50$  мм.

### Висновки

Під час повторних навантажень, рівень яких не перевищує 70 % від руйнівних, СФБ лотки працюють практично пружно.

Збільшення відсотка армування сталевими фібрами з  $\mu = 1$  % до  $\mu = 2$  % дає приріст за несучою здатністю (у середньому) для лотків зі СФБ за умови повторних малоциклових навантажень до 40 %, а з  $\mu = 1$  % до  $\mu = 3$  % дає приріст за несучою здатністю до 58 %.

### Література

1. Бабич Є.М., Кочкар'єв Д.В., Філіпчук С.В. Дослідження опору високоміцних бетонів та фібробетонів пробиванню // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2017. – Вип. 34. – С. 71–85.
2. Бабич Є.М., Андрійчук О.В., Ясюк І.М. Використання сталеві фібробетону для дорожньо-транспортних споруд // Містобудування та територіальне планування: науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2014. – Вип. № 54. – С. 33–41.
3. Бабич Є.М., Андрійчук О.В. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталеві фібробетону // Рекомендації. – Луцьк: Луцький НТУ, 2012. – 32 с.

4. Борисюк О.П., Зятюк Ю.Ю. Напружено-деформований стан залізобетонних балок підсилених під навантаженням сталеві фібробетон і композитами при дії малоциклових навантажень // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2016. – Вип. 33. – С. 298–303.
5. Білозір В.В. Вплив низхідної вітки діаграми деформування сталеві фібробетону за розтягу на несучу здатність балок // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – Дубляни: ЛНАУ, 2015. – Вип. 16. – С. 60–64.
6. Опанасенко Е.В., Берестянська А.А. Види фібрового армування // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2015. – Вип. 30. – С. 57–64.
7. Андрійчук О.В., Бабич Є.М. Сталеві фібробетонні безнапірні труби: монографія. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. – 150 с.
8. Андрійчук О.В., Ясюк І.М. Виготовлення придорожніх лотків водовідводу зі сталеві фібробетону // Наукові нотатки: збірник наукових праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – Вип. 45. – С. 7–14.
9. Андрійчук О.В., Ясюк І.М. Методика експериментального дослідження дисперсно-армованих придорожніх лотків водовідведення // Вісник Одеської національної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць. – Одеса: ОНАБА, 2015. – Вип. 58. – С. 11–18.
10. Андрійчук О.В., Ясюк І.М. Дослідження міцнісних характеристик сталеві фібробетонних лотків водовідведення // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: науковий збірник. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 31– С. 371–378.

### References

1. Babych Ye.M., Kochkarov D.V., Filipchuk S.V. Doslidzhennia oporu vysokomitsnykh betoniv ta fibrobetoniv probyvanniu [Investigation of resistance of high durable concrete and fiber-reinforced concrete penetration] / Ye.M. Babych, // Resursoekonomni materialy, konstruktssii, budivli ta sporudy. - 2017. - Vyp. 34. - S. 71-85.
2. Babych Ye.M., Andriychuk O.V., Yasiuk I.M. Vykorystannia stalefibrobetonu dlia dorozhno-transportnykh sporud [Use steel fiber reinforced concrete for road constructions] // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Naukovotekhnichnyj zbirnyk. – Kyiv: KNUBA, 2014. – Vyp. № 54. – S. 33–41.
3. Babych Ye.M., Andriychuk O.V. Proektuvannia ta vyhotovlennia beznapirnykh trub iz stalefibrobetonu [Design and manufacture of non-pressure pipes made of steel fiber reinforced concrete] // Rekomendatsii. – Lutsk: Lutskyy NTU,

2012. – 32 s.
4. Borysiuk O.P., Ziatiuk Yu.Yu. Napruzhenodeformovanyj stan zalizobetonnykh balok pidsylenykh pid navantazhenniam stalefibrobetonu i kompozytamy pry dii malotsyklovykh navantazhen [reinforced concrete beams stress-strain strengthened under loading steel fiber concrete and composites at action low cycle load] // Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudy: Zb. nauk. prats. – Rivne: NUVHP, 2016. – Vyp. 33. – S. 298–303.
  5. Bilozir V.V. Vplyv nyzkhidnoi vitky diahramy deformuvannia stalefibrobetonu za roztiahu na nesuchu zdavnist balok [Influence of descending branch of diagram of deformation of steel fiber concrete at tension on bearing strength of beams] // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. – Dubliany: LNAU, 2015. – Vyp. 16. – S. 60–64.
  6. Opanasenko E.V., Berestianskaia A.A. Vidy fybrovoho armyrovannia [types fiber reinforcement] // Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudy. – 2015. – Vyp. 30. – S. 57–64.
  7. Andriychuk O.V., Babych Ye.M. Stalefibrobetonni beznapirni truby [Steel fiber reinforced concrete non-pressure pipes]: monohrafiia. – Lutsk: RVV Lutskoho NTU, 2012. – 150 s.
  8. Andriychuk O.V., Yasiuk I.M. Vyhotovlennia prydorozhnykh lotkiv vodovidvodu zi stalefibrobetonu [making of wayside trays of overflow pipe with steel fiber concrete] // Naukovi notatky: zbirnyk naukovykh prats. – Lutsk: Lutskiy NTU, 2014. – Vyp. 45. – S. 7–14.
  9. Andriychuk O.V., Yasiuk I.M. Metodyka eksperymentalnoho doslidzhennia dyspersno-armovanykh prydorozhnykh lotkiv vodovidvedennia [methodology of experimental research dispersed-reinforced trays of roadside drainage] // Visnyk Odeskoi natsionalnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury: zbirnyk naukovykh prats. – Odesa: ONABA, 2015. – Vyp. 58. – S. 11–18.
  10. Andriychuk O.V., Yasiuk I.M. Doslidzhennia mitsnisnykh kharakterystyk stalefibrobetonnykh lotkiv vodovidvedennia [study durable characteristics steel fiber concrete trays sewage systems] // Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudy: naukovyj zbirnyk. – Rivne: NUVHP, 2015. Vyp. 31 – S. 371–378.

**Андрійчук Олександр Валентинович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. будівництва та цивільної інженерії, тел. +38 033-226-24-60, [aleklutsk@gmail.com](mailto:aleklutsk@gmail.com),

**Ясюк Іван Миколайович**<sup>2</sup>, молодший науковий співробітник НДЧ Луцького НТУ, тел. +38 096-673-00-31, [Ivanqwe91@gmail.com](mailto:Ivanqwe91@gmail.com).

<sup>1,2</sup>Луцький національний технічний університет, 43000, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

**Работа сталефибробетонных лотков для придорожного водоотвода на автомобильных**

**дорогах во время действия кратковременных повторных нагрузок с разным уровнем приложения усилий**

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований деформативности сталефибробетонных лотков придорожного водоотведения при кратковременных повторных нагрузках с различными уровнями приложения усилий  $\eta_{сус} = 0,3; 0,5; 0,7$ . Представлена методика проведения экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** сталефибробетон, СФБ, стальная фибра, водоотведение, лоток, несущая способность, прочность.

**Андрейчук Александр Валентинович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. строительства и гражданской инженерии, тел. +38 033-226-24-60, [aleklutsk@gmail.com](mailto:aleklutsk@gmail.com),  
**Ясюк Иван Николаевич**<sup>2</sup>, младший научный сотрудник НИЧ Луцкого НТУ, тел. +38 096-673-00-31, [Ivanqwe91@gmail.com](mailto:Ivanqwe91@gmail.com).

<sup>1,2</sup>Луцкий национальный технический университет, 43000, Украина, г. Луцк, ул. Львовская, 75

**Operation of a steel fiber reinforced concrete highway gutter drain on the roads during the short repeated loadings with different levels of effort**

**Abstract.** The results of experimental studies of deformations of steel fiber reinforced concrete highway gutter drain under short-term reloads with different levels of effort  $\eta_{свс} = 0.3; 0.5; 0.7$  are given. Methods of experimental research are presented. **Goal.** The purpose of this article is to elucidate the results of the conducted research on determining the deformability of steel fiber reinforced concrete highway gutter drain at short-term re-loads with different levels. **Methodology.** For the planned study, steel fiber reinforced concrete highway gutter drains with a percentage of reinforcement  $\mu = 1\%$  were manufactured;  $\mu = 2\%$  and  $\mu = 3\%$ . Each type of sample is affected by short-term reloads with different loading levels:  $\eta = 0.3; \eta = 0.5$  and  $\eta = 0.7$  with an effort step of 8 - 12% of the destructive force. During the study, the bottom of the gutter rested on a solid base. The hydraulic press of PSU-125 was used for this purpose. To improve the accuracy of the measurement of the active force, an exemplary tested dynamometer is used, which makes it possible to measure the load with an accuracy of 50 N. The load is created by a hydraulic jack. **Results.** At repeated loads, the level of which does not exceed 70% of the destructive ones, the SFRC gutter works almost elastically. Increasing the percentage of reinforcement with steel fibers from  $\mu = 1\%$  to  $\mu = 2\%$  gives an increase in bearing capacity (on average) for gutter with SFRC at repeated low-cycle loads up to 40%, and from  $\mu = 1\%$  to  $\mu = 3\%$  gives an increase in carrying capacity of up to 58%.

**Key words:** steel fiber reinforced concrete, SFRC, steel fiber, water drainage, road gutter, durability, fracture toughness

**Andriichuk Oleksandr**, Ph.D., Assoc. Prof. Department of construction and civil engineering, tel. +38 033-226-24-60, [aleklutsk@gmail.com](mailto:aleklutsk@gmail.com),

**Yasiuk Ivan**<sup>2</sup>, Junior Researcher at Lutsk National Technical University, +38 096-673-00-31, [Ivanqwe91@gmail.com](mailto:Ivanqwe91@gmail.com),  
<sup>1,2</sup>Lutsk National Technical University, 43000, Ukraine, Lutsk, st. Lvivska, 75.

---