

УДК 624.01

к.т.н. Андрійчук О.В.,
Луцький національний технічний університет

МАЛОЦИКЛОВА ВТОМЛЕНІСТЬ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ В ДОРОЖНІХ ТРУБАХ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ

Найбільш масовим видом дорожньо-транспортних споруд є безнапірні залізобетонні труби кільцевого перерізу. Основний матеріал із якого їх виготовляють – залізобетон. Під час експлуатації вони сприймають ударні, динамічні та температурні впливи. Через це використання залізобетону та умови його роботи в конструкціях ставить завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, морозостійкості та інших характеристик, які в свою чергу, залежать від міцності матеріалу на розтяг. Одним із рішень в цьому напрямку є застосування сталевібробетону.

У статті описано дослідження впливу на сталевібробетонні труби кільцевого перерізу повторних навантажень. Особлива увага приділена дії навантажень високих рівнів, що призводять до малоциклової втоми матеріалу.

Ключові слова: дорожньо-транспортні споруди, труба, сталевібробетон, сталева фібра, втомиленість, деформації, тріщиностійкість.

Сталевібробетон на сьогодні ще є не повністю вивченим матеріалом, проте його використання для виготовлення різноманітних будівельних конструкцій постійно збільшується [1, 2].

Ефективність застосування сталевібробетону в будівельних конструкціях може досягатися за рахунок 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. Застосування його замість залізобетону значно знижує матеріаломісткість конструкцій при одночасному підвищенню експлуатаційних властивостей, довговічності, температуро-стійкості, водонепроникності.

Потрібно відзначити, що як і в нашій державі, так і закордоном активно проводяться наукові дослідження цього матеріалу для розширення сфери його застосування в промисловому, цивільному, гідротехнічному та транспортному будівництві [3, 4, 5].

В роботі [3] проведено прикладні дослідження для визначення міцності, тріщиностійкості та деформативності елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону. Зразки мали геометричні розміри: зовнішній діаметр

елементів кільцевого перерізу становить 380 мм, внутрішній – 300 мм при товщині стінок 40 мм і висоті зразків 290 мм (1-ша серія) та 200 мм (2-га серія).

Дослідження проводилося за методикою описаною в ГОСТ 6482-88 [6].

Для бетонної матриці зразків підбиралася суміш із розрахунку отримання бетону за міцністю, що відповідає класу В25 – згідно [6]. Цемент використовувався марки М500 у кількості 431 кг, щебінь фракції 5...10 мм – 1100 кг, пісок – 626 кг і вода становила 196 л на 1 м³ бетонної суміші. Всі зразки виготовляли із одного замісу. Для отримання сталевібробетону до бетонної суміші – матриці додавалися сталеві фібри з анкерними кінцями. Діаметр фібр становив 0,8 мм, їхня довжина – 50 мм.

В першій серії відсоток вмісту фібр у зразках становив 2,5% від об'єму елемента, а в другій серії – 1,5 %. Причиною зменшення відсотку армування з $\mu = 2,5$ (в СФБ зразках I-ої серії) до $\mu = 1,5$ (в СФБ зразках II-ої серії) стало економічне порівняння вартості типових елементів кільцевого перерізу та елементів кільцевого перерізу виготовлених із сталевібробетону.

Під час проведення дослідження було встановлено, що вартість конструкції СФБ труби із відсотком армування $\mu = 1,5$, виготовленої методами центрифугування та віброформування, менше від вартості типової конструкції залізобетонної труби на 5,2 % та 5 %, відповідно.

Випробування дослідних зразків виконували виходячи з вимог [6] (рис. 1), а саме – шляхом прикладання за допомогою металевої траверси зосередженого навантаження в напрямку вертикального діаметру. Нижня частина елемента спиралась на нижню жорстку основу через гумову підкладку. Для цього було використано гідравлічний прес ПСУ – 125.

Для дослідження малоциклової втомленості сталевібробетонних труб було випробувано по три дослідних зразки моделі кільцевої труби при наступних рівнях навантажень (рис. 3):

- зразки 2СФБП–0,5–1...3 досліджувалися на міцність, тріщиностійкість, напружено-деформативний стан при одноразовому повторному навантаженні з рівнем 0,5;
- зразки 2СФБП–0,7–1...3 досліджувалися на міцність, тріщиностійкість, напружено-деформативний стан при одноразовому повторному навантаженні з рівнем 0,7;
- зразки 2СФБП–0,85–1...3 досліджувалися на міцність, тріщиностійкість, напружено-деформативний стан при одноразовому повторному навантаженні з рівнем 0,85;

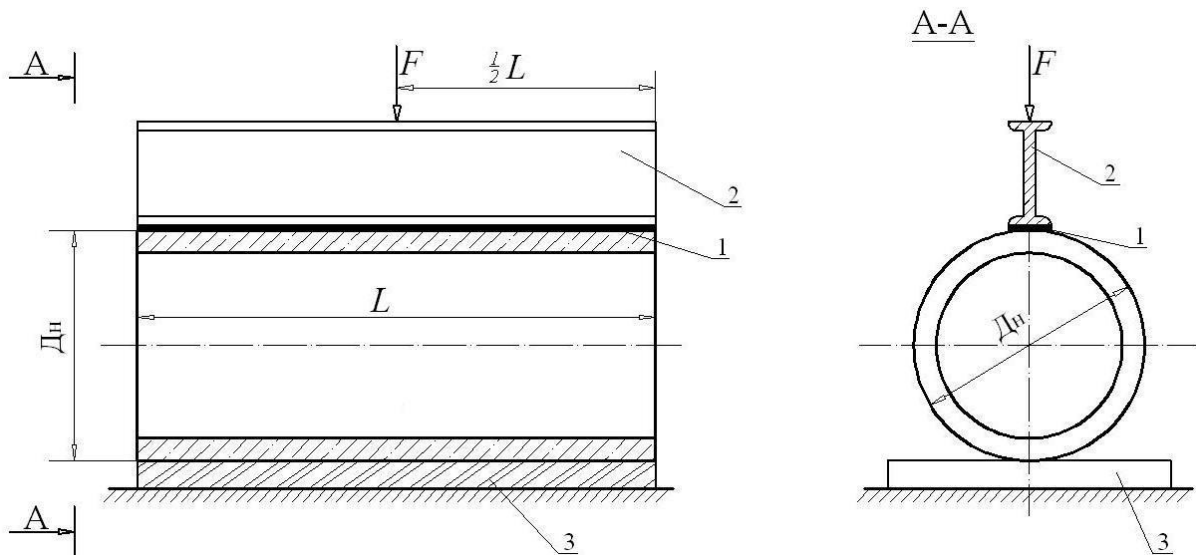


Рис. 1. Схема випробування безнапірної труби згідно ГОСТ 6482 – 88:

- 1 – гумовий килим або цементний розчин; 2 – металева траверса;
3 – нерухома основа

Для підвищення точності вимірювання діючого зусилля використовували зразковий протестований динамометр, що дало можливість виміряти навантаження з точністю 50 Н. Навантаження подавалось гідравлічним домкратом. Загальний вигляд випробування елементів кільцевого перерізу подано на рис. 2.

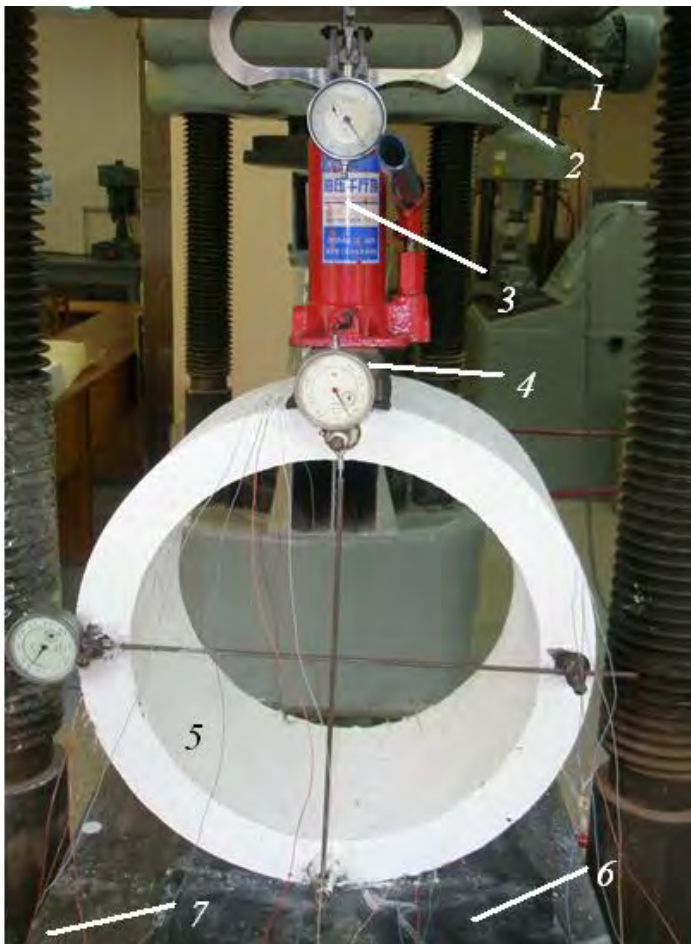


Рис. 2. Загальний вигляд випробування елементів кільцевого перерізу:

- 1 – верхня опорна плита пресу ПСУ-125;
2 – зразковий динамометр;
3 – домкрат;
4 – металева траверса;
5 – дослідний зразок кільцевого перерізу;
6 – гумовий килим;
7 – нижня опорна плита пресу ПСУ-125

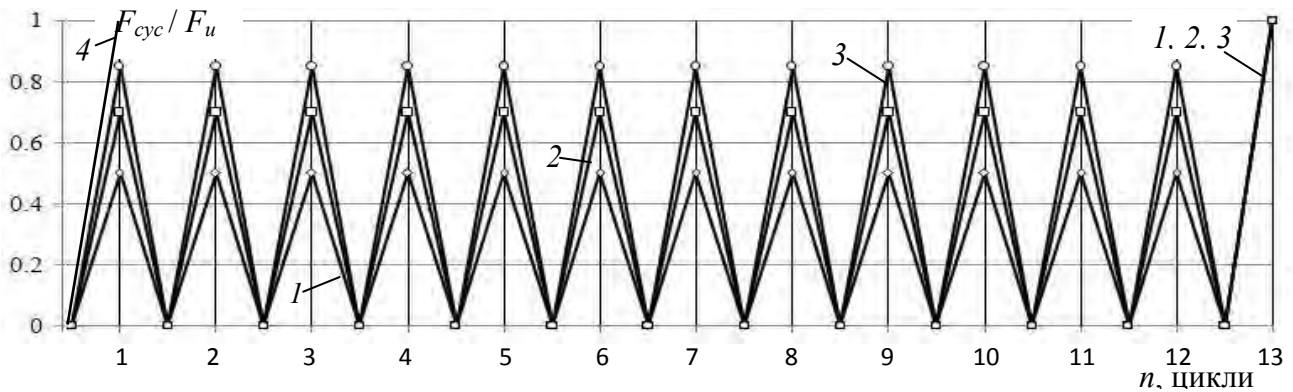


Рис. 3. Режим навантажень дослідних елементів кільцевого перерізу II-ої серії:

1 – 2СФБП–0,5–1...3, 2 – 2СФБП–0,7–1...3,
3 – 2СФБП–0,85–1...3, 4 – 2ЗБК–1...3 і 2СФБК–1...3

Деформації СФБ при малоциклових навантаженнях із $\eta = 0,5$ в зразках 2СФБП–0,5–1...3 подано на рис. 4.

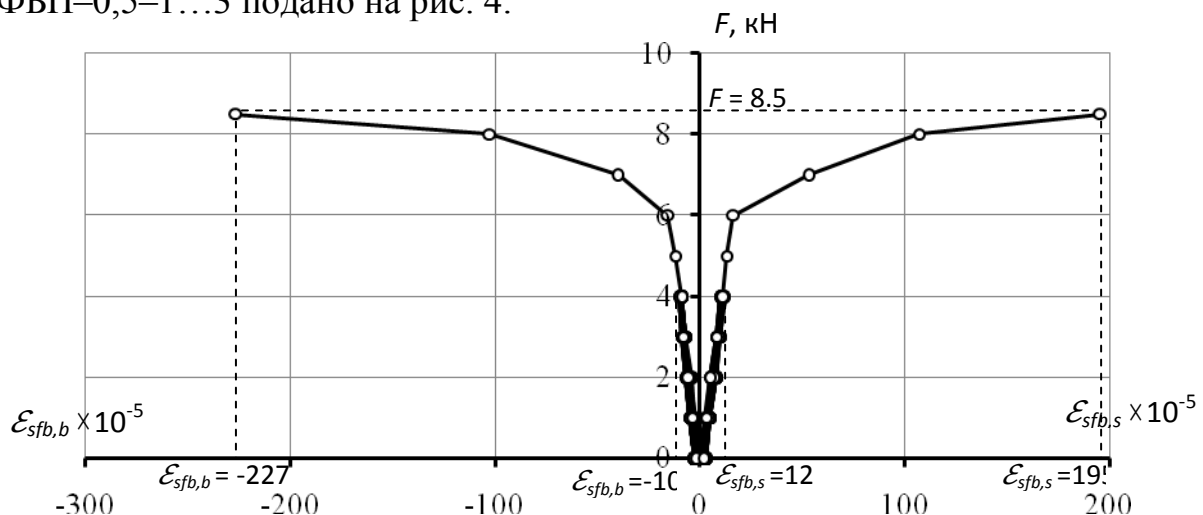


Рис. 4. Діаграми деформування стиснутого ($\varepsilon_{sfb,b}$) та розтягнутого ($\varepsilon_{sfb,s}$) сталевібробетону при дії повторних навантажень у зразках 2СФБП–0,5–1...3

При 1-му циклі завантаження, значення повних та залишкових деформацій сталевібробетону становили: $\varepsilon_{sfb,b,max} = 9 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 11 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 2 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 2 \times 10^{-5}$ (при $F = 4$ кН). Протягом наступних 11-ти циклів до 12-го включно, в зонах стиску та розтягу зростання повних та залишкових деформацій не було виявлено ($\Delta \varepsilon_{sfb} = 0$) і на 12-му циклі вони становили $\varepsilon_{sfb,b,max} = 9 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 10 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 2 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 2 \times 10^{-5}$.

На 13-му руйнівному циклі, внаслідок підвищення навантаження вище рівня $\eta = 0,5$ спостерігалася нелінійне зростання повних деформацій до: $\varepsilon_{sfb,b,max} = 103 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 107 \times 10^{-5}$ (при $F = 8$ кН) та $\varepsilon_{sfb,b,max} = 227 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 195 \times 10^{-5}$ (при $F = 8,5$ кН).

Деформації СФБ при малоциклових навантаженнях із $\eta = 0,7$ в зразках 2СФБП-0,7-1...3 подано на рис. 5.

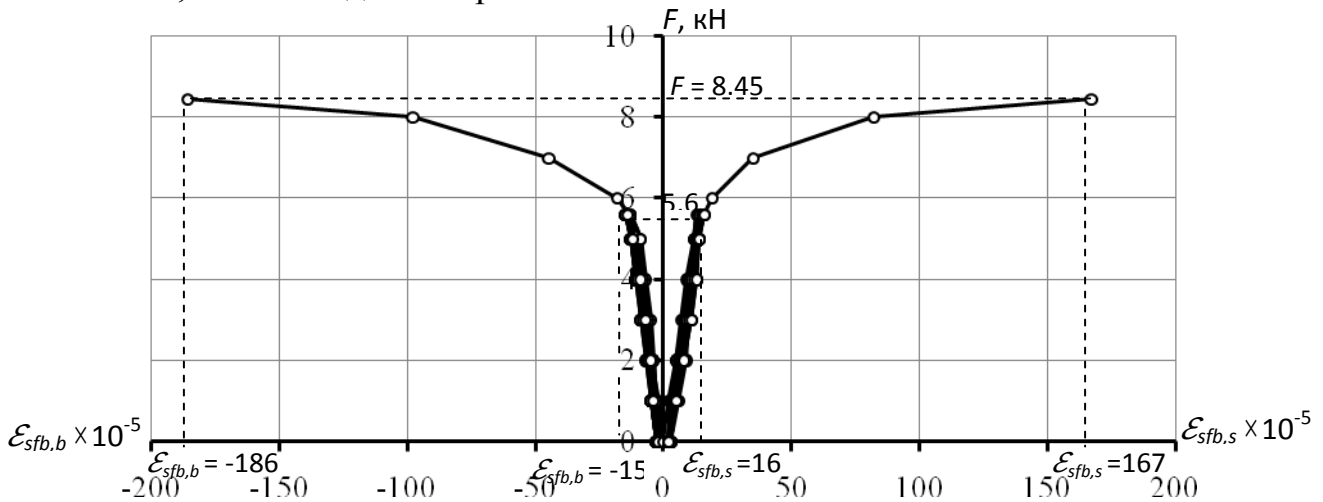


Рис. 5. Діаграми деформування стиснутого ($\varepsilon_{sfb,b}$) та розтягнутого ($\varepsilon_{sfb,s}$) сталевіробетону при дії повторних навантажень у зразках 2СФБП-0,7-1...3.

При 1-му циклі завантаження, значення повних та залишкових деформацій СФБ становили: $\varepsilon_{sfb,b,max} = 15 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 14 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 2 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 2 \times 10^{-5}$ (при $F = 5,6$ кН). Протягом наступних 11-ти циклів до 12-го включно, в зонах стиску та розтягу зростання повних та залишкових деформацій не було виявлено ($\Delta \varepsilon_{sfb} = 0$) і на 12-му циклі вони становили $\varepsilon_{sfb,b,max} = 13 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 16 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 2 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 2 \times 10^{-5}$.

На наступному 13-му руйнівному циклі, внаслідок підвищення навантаження вище рівня $\eta = 0,7$ спостерігалось нелінійне зростання повних деформацій до $\varepsilon_{sfb,b,max} = 98 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 82 \times 10^{-5}$ (при $F = 8$ кН) та $\varepsilon_{sfb,b,max} = 186 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 167 \times 10^{-5}$ (при $F = 8,45$ кН).

Деформації СФБ при малоциклових навантаженнях із $\eta = 0,85$ в зразках 2СФБП-0,85-1...3 подано на рис. 6. Так на 1-му циклі завантаження, значення повних та залишкових деформацій СФБ становили: $\varepsilon_{sfb,b,max} = 27 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 19 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 2 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 2 \times 10^{-5}$ (при $F = 6,8$ кН).

Протягом наступних 4-х циклів до 5-го, включно, в зонах стиску та 3-х циклів до 4-го, включно, в зонах розтягу зростання повних та залишкових деформацій не було виявлено ($\Delta \varepsilon_{sfb} = 0$). На 6-му циклі спостерігалось зростання повних та залишкових деформацій до: $\varepsilon_{sfb,b,max} = 41 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 40 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 15 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 17 \times 10^{-5}$. На наступних 6-ти циклах зростання повних та залишкових деформацій продовжувалося із приростами в межах $\Delta \varepsilon_{sfb,max} = 10 \dots 22 \times 10^{-5}$ та $\Delta \varepsilon_{sfb,pl} = 9 \dots 17 \times 10^{-5}$. На 12-му циклі повні та залишкові деформації в СФБ становили: $\varepsilon_{sfb,b,max} = 129 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,max} = 117 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,b,pl} = 87 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_{sfb,s,pl} = 81 \times 10^{-5}$.

На руйнівному циклі (13-му) після підвищення навантаження вище рівня $\eta = 0,85$ спостерігалось нелінійне зростання повних деформацій до: $\mathcal{E}_{sfb,b,max} = 157 \times 10^{-5}$, $\mathcal{E}_{sfb,s,max} = 145 \times 10^{-5}$ (при $F = 7$ кН) та $\mathcal{E}_{sfb,b,max} = 201 \times 10^{-5}$, $\mathcal{E}_{sfb,s,max} = 195 \times 10^{-5}$ (при $F = 8$ кН).

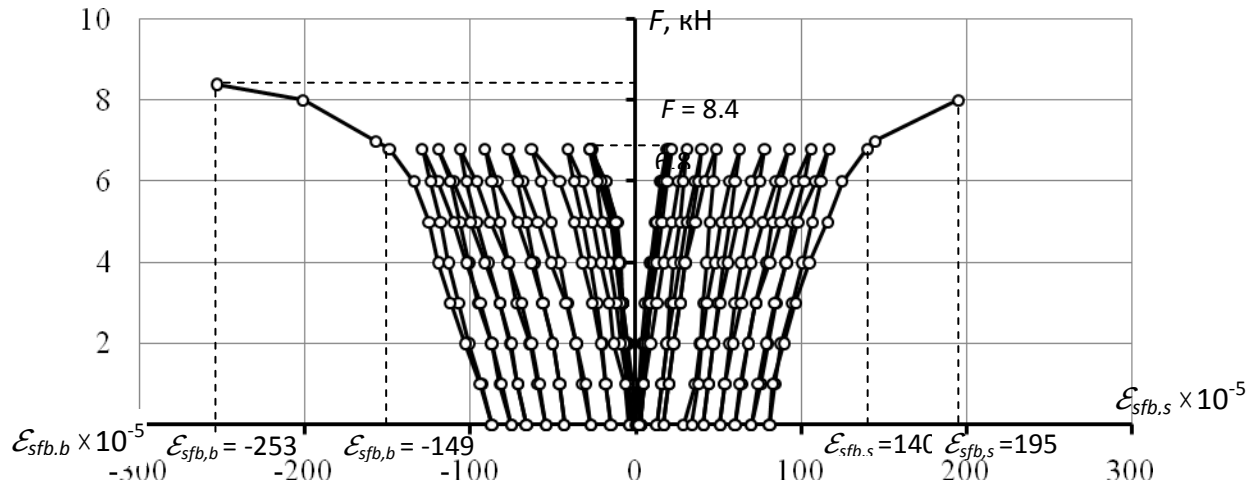


Рис. 6. Діаграма деформування стиснутого ($\mathcal{E}_{sfb,b}$) та розтягнутого ($\mathcal{E}_{sfb,s}$) сталевібробетону при дії повторних навантажень у зразках 2СФБП–0,85–1...3

При повторних навантаженнях, рівень яких становив $\eta_{\text{сус}} = 0,6$ від руйнівних, на протязі десятикратного навантаження в зразках із СФБ І-ої серії повні та залишкові деформації практично не змінювалися, в той час, як в зразках із залізобетону вони збільшилися на 10 ... 25 %.

В СФБ трубах ІІ-ої серії при повторних навантаженнях із $\eta_{\text{сус}} = 0,5$ та $\eta_{\text{сус}} = 0,7$ на протязі дванадцятикратного навантаження повні та залишкові деформації практично не змінювалися, міцність та тріщиностійкість в порівнянні з елементами, що досліджувалися на дію одноразових навантажень не знижувалася. При $\eta_{\text{сус}} = 0,85$ починаючи з 5-7 циклу був відмічений приріст повних та залишкових деформацій.

При повторних навантаженнях, рівень яких не перевищує 70 % від руйнівних, СФБ труби практично працюють пружно. В цьому випадку переміщення в діаметральних напрямках не перевищують 0,05 % від величини діаметра, а тріщини виникають тільки при довантаженні.

При повторних навантаженнях, рівень яких становить 85 % від руйнівних, на циклах навантаження можуть виникати тріщини, які спричиняють зниження жорсткості елементів, виникненню суттєвих діаметральних переміщень. На прийнятій базі випробувань при цьому рівні повторних навантажень стабілізації переміщень не спостерігалось.

Список використаних джерел

1. Дорошенко Ю., Дорошенко О., Чиженко Н. Дисперсно-армований бетон – надійний та ефективний матеріал для транспортного будівництва // Транспортное строительство Украины. – 2007. - №1 (5) – С. 16–19.
2. Бабич Є.М., Андрійчук О.В. Про доцільність використання сталевібробетону для виготовлення безнапірних труб // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць – Рівне: НУВГП, 2009. – Випуск 18. –С. 119 – 126.
3. Бабич Є.М. Андрійчук О.В.. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталевібробетону: Рекомендації. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – С. 36.
4. Дворкін Л.Й. Розрахунок складу бетону зі сталевую фіброю / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.В. Житковський // Бетон и железо-бетон в Украине: Научно-технический и производственный журнал – Полтава: ПЦНТИЕ 2010, – Випуск 2(54). – С. 2–4.
5. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. A method for optimal design of steel fiber reinforced concrete composition. / Materials and Desingn, 2011.
6. ГОСТ 6482–88. Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия.

АННОТАЦИЯ

В статье описано исследование влияния на сталефібробетонные трубы кольцевого сечения повторных нагрузок. Особенное внимание уделено действию нагрузок высоких уровней, которые приводят к малоцикловой усталости материала. – Ил. 6. – Библиогр.: 6 названий.

Ключевые слова: дорожно-транспортные сооружение, труба, сталефібробетон, стальная фибра, усталость, деформации, трещиноустойчивость.

ANNOTATION

In the article research of influence is described on the steel-fibre-concrete pipes of circular cut repeated loading. The special attention is spared to the action loading of high levels that result in the small-cycle tiredness of material. – Il. 6. – Bibliogr.: 6 titles.

Keywords: Road-transportation building, pipe, steel-fibre-concrete, steel fibre, pipe, tiredness, deformations, crac-durability.