

УДК 624.012.25

**ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РОБОТИ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ ЗА ДІЇ ОДНОРАЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЬЦЕВОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОДНОРАЗОВЫХ НАГРУЗОК**

**RESEARCH OF WORK OF ELEMENTS OF CIRCULAR CUTFROM AT ACTING OF NON-PERMANENT LOADING ON HELP OF PROGRAMMATIC COMPLEX LIRA**

**Андрійчук О. В., к.т.н., ст. викл.** (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

**Андрійчук А. В., к.т.н., ст. препод.** (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк)

**Andriychuk A. V., candidate of technical sciences, senior lecturer** (Lutsk National Technical University, Lutsk)

**В статті описано моделювання експериментальних досліджень елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону при дії одноразових навантажень за допомогою програмного комплексу Ліра 9.4**

**В статье изложено моделирование экспериментальных исследований элементов кольцевого сечения из сталевібробетона при действии одноразовых нагрузок с помощью программного комплекса Лира 9.4**

**In the article the design of experimental researches of elements of circular cut is described from steelfibreconcrete at he action of the non-permanent loading by means of programmatic complex Lyre 9.4**

**Ключові слова**

Сталевібробетон, елементи кільцевого перерізу, безнапірні труби, ПК Ліра  
Сталевібробетон, элементы кольцевого сечения, безнапорные трубы, ПК Лира  
Steelfibreconcrete, elements of circular cut, nonpressure pipes, PC Lyre

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

Ефективність застосування сталефібробетону в будівельних конструкціях може досягатися за рахунок зниження трудовитрат на арматурні роботи, суміщення технологічних операцій на приготування, армування, укладання та ущільнення сталефібробетонної 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, температуростійкості, 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 - 6, 11].

В роботі [3] проведено докладні дослідження для визначення міцності, тріщиностійкості та деформативності елементів кільцевого перерізу зі сталефібробетону. Зразки мали геометричні розмірів: 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 [7].

Для бетонної матриці зразків підбиралася суміш із розрахунку отримання бетону за міцністю, що відповідає класу В25 – згідно [7]. 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 м<sup>3</sup> бетонної суміші. Всі зразки виготовляли із одного замісу.

Для отримання СФБ до бетонної суміші – матриці додавалися сталеві фібри з анкерними кінцями. Діаметр фібр становив 0,8 мм, їхня довжина – 50 мм. Загальний вигляд випробувань приведено на рис. 1.

На даному етапі розвитку науки та техніки та, враховуючи всеохоплюючу комп'ютеризацію більшості виробничих процесів, актуальним є питання проведення паралельно з натурними (стендовими) випробуваннями будівельних конструкцій комп'ютерного моделювання роботи даних конструкцій, та дослідження їх за допомогою прикладних програм.

Одним із основних методів на основі якого написані більшість прикладних програм для проведення відповідних досліджень є метод скінченних елементів. Даний метод застосовується під час розрахунку лінійних та нелінійних задач в різних галузях науки технічного напрямку.

Метод скінченних елементів – це числова методика знаходження розв'язків інтегральних та часткових диференціальних рівнянь. Процес розв'язання побудований або на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач, або на розкладі часткових диференціальних рівнянь в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв'язуються використанням стандартної техніки, такої як метод Ейлера, Рунге-Кутти тощо.

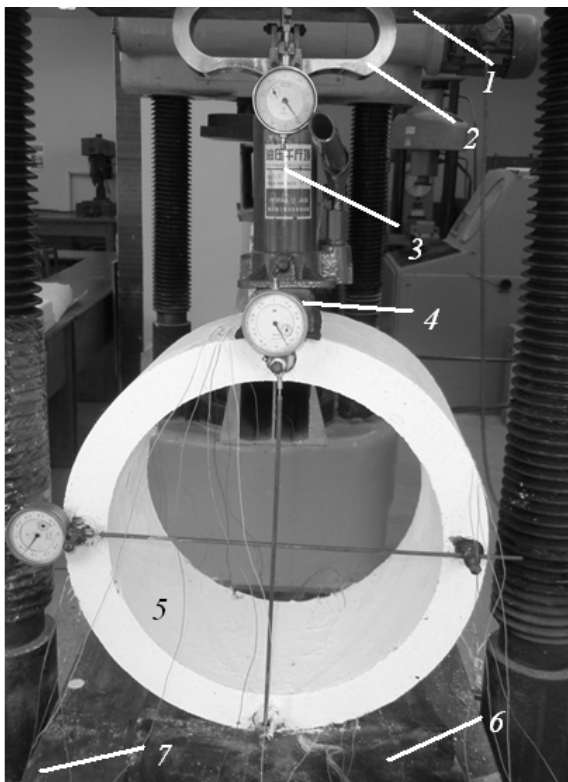


Рис. 1. Загальний вигляд випробування елементів кільцевого перерізу:  
1 – верхня опорна плита пресу ПСУ-125; 2 – зразковий динамометр;  
3 – домкрат; 4 – металева траверса; 5 – дослідний зразок кільцевого перерізу; 6 – гумовий килим; 7 – нижня опорна плита пресу ПСУ-125

На сьогоднішній день створено та використовується значна кількість програмного забезпечення, що основане на методі скінченних елементів, а

саме: ANSYS, PLAXIS, Code\_Aster, DSM FEM, Deal.II, Elmer FEM solver, Femap, Comsol, FreeFEM+, GetDP, Impact, LibMesh, LSDYNA, MatLab, MicroFe, Nastran, QForm 2D/3D, RFEM, SCAD, Zebulon, ЛИРА.

В даний час більшість науковців та дослідників нашої держави, що займаються вивченням та покращенням будівельних конструкцій використовують програмний комплекс (ПК) ЛИРА, що набув високої популярності [8, 9, 10].

Для розрахунків використовувався програмний комплекс Ліра 9.4 розробки НДІАСБ, м. Київ. Моделювання роботи дослідних зразків (елементів кільцевого перерізу) проводилося фізично нелінійними скінченними об'ємними елементами № 236 (універсальними просторовими 8-кутовими ізопараметричними КЕ).

З цією метою виконано моделювання елемента кільцевого перерізу з заданими розмірами (рис. 2).

Проведено триангуляцію на кінцеві елементи виходячи з умов:

– стінка труби по товщині розбивається на чотири шари (при  $t_{cm} = 40$  мм товщина одного шару становитиме  $t_{ш} = 10$  мм). В межах одного шару приймається, що знаходиться один скінченний елемент товщиною відповідно  $t = 10$  мм;

– довжина кола по осьовому радіусу елемента кільцевого перерізу становить  $l_k = 107$  см. Вона розбивається на скінченні елементи з довжиною сторони по  $l_{ce} = 10$  мм. Буде 107 скінченних елементів по осьовому радіусу.

– довжина елементів кільцевого перерізу  $l = 290$  мм (в першій серії) та  $l = 200$  мм (в другій серії). По довжині труби розбивка на скінченні елементи виконується з умовою, що довжина кожного скінченного елемента  $l = 10$  мм (тобто скінченні елементи матимуть кубічну геометричну форму). В напрямку довжини елемента кільцевого перерізу буде розміщено 29 скінченних елементів (для першої серії) та 20 скінченних елементів (для другої серії).

Після моделювання елемента та розбивки його на скінченні елементи - задаються механічні характеристики, що відповідають реальним властивостям матеріалів з яких він виготовляється з використанням фізичної нелінійності.

Сталефібробетон як матеріал, з якого виготовляється елемент кільцевого перерізу, можна задати двома методами:

1) За допомогою графіка, що описує залежність напруження – деформації даного сталефібробетону ( $\sigma - \epsilon$ ).

2) За допомогою опису параметрів бетону – матриці, з наступним описом характеристик армуючого матеріалу (сталіних фібр) та призначенням відсотку армування в напрямку ізометричних осей (X, Y, Z) для кожного скінченного елемента.

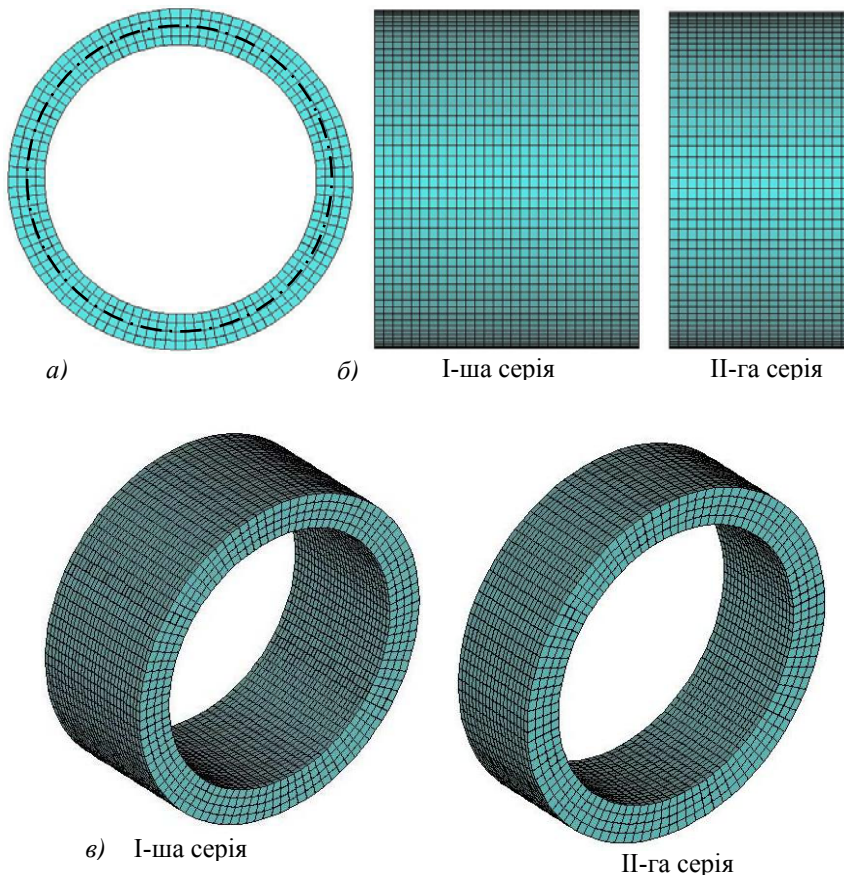


Рис. 2. Числова модель елементів кільцевого перерізу:  
а – проєкція YOZ (вигляд спереду); б – проєкція HOY та XOZ  
(вигляд збоку та зверху); в – ізометрична проєкція



Навантаження на модель елемента кільцевого перерізу прикладається:

- від власної ваги даного елемента кільцевого перерізу;
- від дії рівномірно розподіленої навантаження, що прикладається вздовж осі в напрямку вертикального діаметра (виходячи з вимог [7]);

Рівномірно розподілене навантаження задається за допомогою простого крокового методу розрахунку з рівномірними кроками (рівномірних кроків приймається 10-ть з 300-ми ітераціями в кожному з цих кроків). Перед запуском розрахункового процесу для елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону задається 14-ий закон нелінійного деформування («кусочно-линейный закон деформирования»).

Процес розрахунку сталевібробетонних елементів кільцевого перерізу за допомогою програмного комплексу Ліра 9.4 показано на рис. 3.

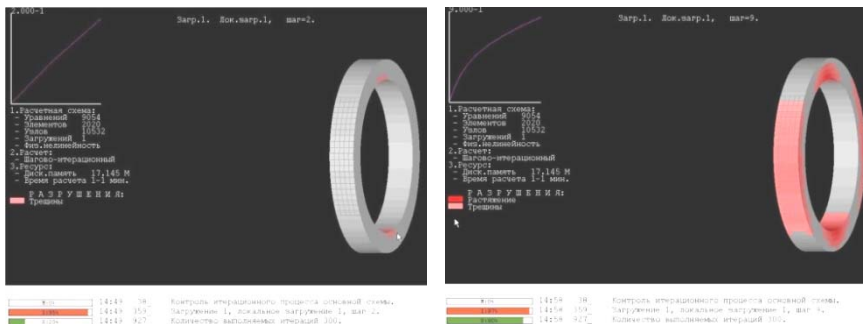


Рис. 3. Процес розрахунку елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону в ПК Ліра 9.4:

*а* – розрахунок на 2-му кроці; *б* – розрахунок на 9-му кроці

Аналіз ізополів згинаючих моментів, що отримали в наслідок розрахунку за допомогою ПК Ліра показує, що найбільш небезпечними відносно величини виникаючих моментів і відповідно розвитку процесу тріщиноутворення - є внутрішня зона вертикальних січень, та зовнішня зона горизонтальних (відповідно до  $\sigma_{сгс}$ , що вказані на рис. 4) – зони розтягу.

Значення моментів (на основі аналізу ізополів) в зовнішній зоні вертикальних січень та внутрішній зоні горизонтальних (зони стиску) свідчать про суттєвий запас міцності елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону в цих зонах – рис. 5.

За допомогою ПК Ліра 9.4 виконано моделювання та розрахунок елементів з параметрами, що відповідає зразкам типу 2СФБК (досліджувалися на дію одноразових короткочасних навантажень і доводилися до повного руйнування) [3].

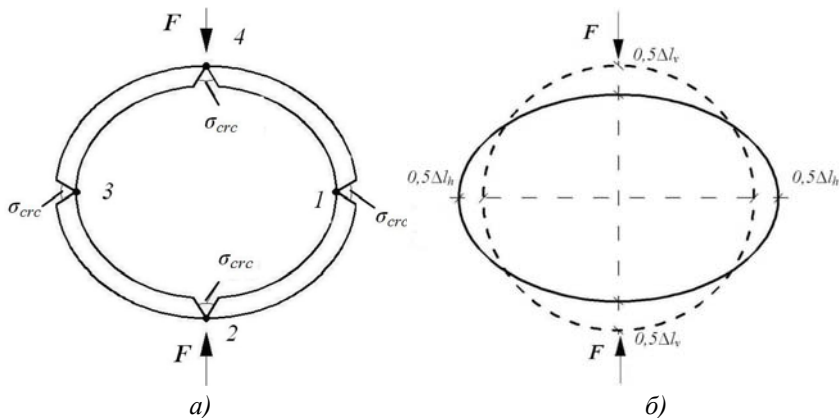


Рис. 4. Схема розміщення тріщин в елементах кільцевого перерізу (а) та переміщення перерізів в горизонтальному ( $\Delta h$ ) та вертикальному ( $\Delta v$ ) напрямку (б) під час прикладання навантаження

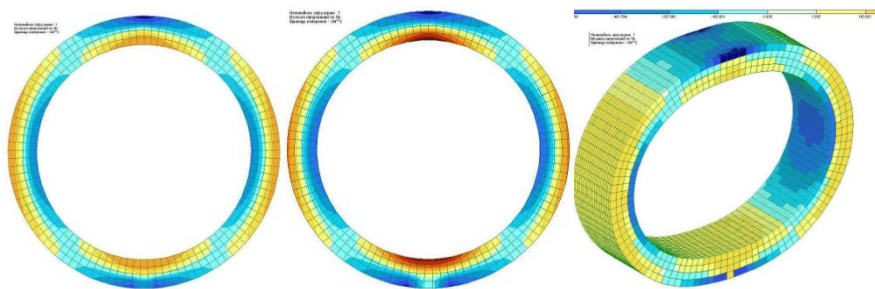


Рис. 5. Зміна значень ізополів моментів  $M_z$  в елементі кільцевого перерізу зі сталевібробетону II-ої серії при зростанні навантаження із  $F = 4$  кН (а) до  $F = 8$  кН (б); ізополя напружень  $N_z$  на ізометричній проекції (в)

За дії зосередженого приведеного навантаження  $F$  (рис. 4, а) в пружній стадії роботи труб виникають наступні згинальні моменти:

- у вертикальних поздовжніх перерізах труби (лотку та шелизі):

$$M_2 = M_4 = \gamma_1 \cdot F \cdot r = 0,318 \cdot F \cdot r \quad (1)$$

- в бокових поздовжніх перерізах:

$$M_1 = M_3 = -\gamma_2 \cdot F \cdot r = -0,182 \cdot F \cdot r \quad (2)$$

де  $r$  – радіус серединної поверхні елемента кільцевого перерізу.

Формули (1) і (2) з урахуванням, що  $\gamma_{1,2} = 0,25$  будуть приведені до формули:

$$M_{2,4} = M_{1,3} = 0,25 \cdot P \cdot r \quad (3)$$

Приведення коефіцієнтів  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  відбувається у зв'язку з перерозподілом моментів по периметру елементів кільцевого перерізу виготовлених із сталевібробетону [3].

Збіжність значень згинальних моментів отриманих за допомогою ПК ЛІРА та теоретичного розрахунку знаходиться в межах 18 ... 20 %.

Значення моментів в вертикальних та бокових поздовжніх перерізах отримані в наслідок даного розрахунку подано в табл. 1.

Для порівняння в табл. 1 також подані значення згинальних моментів в елементів кільцевого перерізу визначені теоретично і за допомогою програмного комплексу ЛІРА.

Таблиця 1

Значення згинальних моментів в елементі 2СФБК

Сила, $F$		В вертикальних поздовжніх перерізах		В бокових поздовжніх перерізах		Теоретичне при $\gamma = 0,25$
кН	кН/м	ПК ЛІРА	Теоретичне при $\gamma_{2,4} = 0,318$	ПК ЛІРА	Теоретичне при $\gamma_{1,3} = 0,182$	
1	5	0,230	0,270	0,199	0,155	0,213
2	10	0,458	0,541	0,398	0,310	0,425
3	15	0,687	0,811	0,596	0,464	0,638
4	20	0,916	1,081	0,794	0,619	0,850
5	25	1,146	1,352	0,995	0,774	1,063
6	30	1,375	1,622	1,193	0,928	1,275
7	35	1,603	1,892	1,392	1,083	1,488
8	40	1,832	2,162	1,589	1,237	1,700
9	45	2,061	2,433	1,796	1,392	1,913

Потрібно зазначити, що згинальні моменти в вертикальному та боковому перерізі визначені ПК ЛІРА 9.4 знаходяться один відносно одного в вужчому діапазоні в порівнянні з теоретично визначеними згинальними моментами.

Програмний комплекс Ліра дає можливість визначити числові значення згинальних моментів, що виникають в елементах кільцевого перерізу зі сталевібробетону від дії на них наперед відомих навантажень. Після проведення розрахунку несучої здатності січення елементів кільцевого



перерізу зі сталевібробетону ми отримуємо значення граничних моментів при яких можна експлуатувати дані елементи зі сталевібробетону.

Порівнюючи ці величини можна визначити граничні умови експлуатації для даних сталевібробетонних елементів кільцевого перерізу.

В статті описано можливість використання під час розрахунку елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону програмного комплексу ПК Ліра, що працює на основі алгоритмів методу скінченних елементів.

Збіжність значень згинальних моментів отриманих за допомогою ПК ЛІРА та теоретичного розрахунку (1) та (2) знаходиться в межах 18...29 %, а теоретичного розрахунку (3) знаходиться в межах 6 ... 7 %.

1. Дорошенко Ю., Дорошенко О., Чиженко Н., Гудименко К. 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. Андрійчук О.В. Робота і розрахунок елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону при повторних навантаженнях.: Дис... канд. тех. наук: 05.23.01. – Львів, 2011. – 159 с. 4. Бабич Є.М. Андрійчук О.В.. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталевібробетону: Рекомендації. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – С. 36. 5. Русанов В.Е. Обоснование конструктивных параметров сборных обделок транспортных тоннелей и метрополитенов из сталевібробетона.: автореферат дис. канд. техн. наук, Москва, 2010, 22 с. 6. Дворкін Л.Й. Розрахунок складу бетону зі сталевібробетону / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.В. Житковський // Бетон и железобетон в Украине: Научно-технический и производственный журнал – Полтава: ПЦНТИЕ 2010, – Випуск 2(54). – С. 2–4. 7. ГОСТ 6482–88. Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия. 8. ЛІРА 9.4. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие / В.Е. Боговис, Ю.В. Гензерский, Ю.Д. Гераймович и др. – К.: Издательство «Факт», 2008. 9. Григорчук А.Б. Оцінка напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклового знакозмінного навантаження з використанням ПК «Ліра» // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 22. – С. 272 – 277. 10. Марьенков Н.Г. Нелинейный расчет зданий на сейсмические воздействия применением ПК «ЛИРА» / Марьенков Н.Г., Максименко В.П., Бабич К.Н. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2006. - Вип. 64. – С.188 - 195. 11. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. A method for optimal design of steel fiber reinforced concrete composition. / Materials and Desingn, 2011.