

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТОНКОСТІННОЇ ОБОЛОНКИ ТИПУ «ГІПЕРБОЛІЧНИЙ ПАРАБОЛОЇД» ЗІ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ ПРИ ДІЇ ОДНОРАЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛИРА-САПР**

**THE WORK RESEARCH OF THE THIN-WALLED SHELL "HYPERBOLIC PARABOLOID" MADE OF SFRC UNDER THE ACTION OF SINGLE LOADS USING THE LIRA-SAPR SOFTWARE**

**Андрійчук О.В., к.т.н., доцент** (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), **Григорчук А.Б., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Ужегов С.О., асистент** (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

**Andriichuk A.V., candidate of technical sciences, associate professor** (Lutsk National Technical University, Lutsk) **Grigorchuk A.B., candidate of technical sciences, associate professor** (National university of water management and nature resources use, Rivne), **Uzhehov S.O., professor assistant** (Lutsk National Technical University, Lutsk)

**У статті розглядається моделювання експериментальних досліджень та розрахунок тонкостінної оболонки типу «гіперболічний параболоїд» при дії одноразових навантажень за допомогою програмного комплексу ЛИРА-САПР.**

**In the article presented the design of experimental research and calculation of thin shell named “Hyperbolic Paraboloid” under the action of single loads using the LIRA-SAPR software.**

**Presented the feasibility of application of LIRA-SAPR software that allows to calculate and investigate the overall stability of structure models, test the strength of the elements on the various theories of destruction. The basis of calculations using the computer simulation design of steel fiber concrete thin shell based on finite element method.**

**During the research in modeling using LIRA-SAPR software is described in detail the process of triangulation of the thin shell construction named “Hyperbolic Paraboloid” into finite elements, on the basis of the necessary conditions. In the simulation of material design applied finite element №234, that takes into account the physical nonlinearity of the material. The nonlinear deformation law was chosen as: "Law No. 14 – piecewise-linear law of deformation". Numerical values for the state diagram "Deformation-**

Tension" ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) was made on the basis of the results obtained during experimental research designs.

In accordance with the purpose of this research was conducted the modeling of the application of an external equable distributed load over the entire surface of the thin shell as analogous to the snow load. Obtained theoretical and experimental results for testing thin shell named "Hyperbolic Paraboloid" for loading capacity.

**Ключові слова:**

Сталефібробетон, гіперболічний параболоїд, ЛИРА-САПР.

Steele fibre concrete, hyperbolic paraboloid, LIRA-SAPR.

У сучасному проектуванні для розрахунку конструкцій використовують програмний комплекс ЛИРА-САПР. ПК ЛИРА-САПР дозволяє розрахувати та дослідити загальну стійкість моделей конструкцій, перевірити міцність елементів за різними теоріям руйнування. Цей програмний комплекс надає можливість проводити розрахунки конструкцій із врахуванням фізичної, геометричної та конструктивної нелінійності [1,2].

В основу розрахунків за допомогою комп'ютерного моделювання конструкції сталефібробетонної оболонки покладено метод кінцевих елементів (МКЭ).

Протягом останніх десятиліть сталефібробетон з нового, порівняно не випробуваного матеріалу перейшов до такого, що вже має визнання при різних наукових та інженерних дослідженнях. Цей матеріал зазвичай застосовується у конструкціях, що повинні мати високу тріщиностійкість та піддаються впливу динамічних навантажень [3-8]. Варто відмітити, що сталефібробетон також показує хороші результати і у випадку використання його при зведенні тонкостінних оболонок

В даній роботі було проведено моделювання дослідження тонкостінної оболонки покриття типу «гіперболічний параболоїд» (гіпар), що виконаний зі сталефібробетонної суміші (рис. 1, 2).

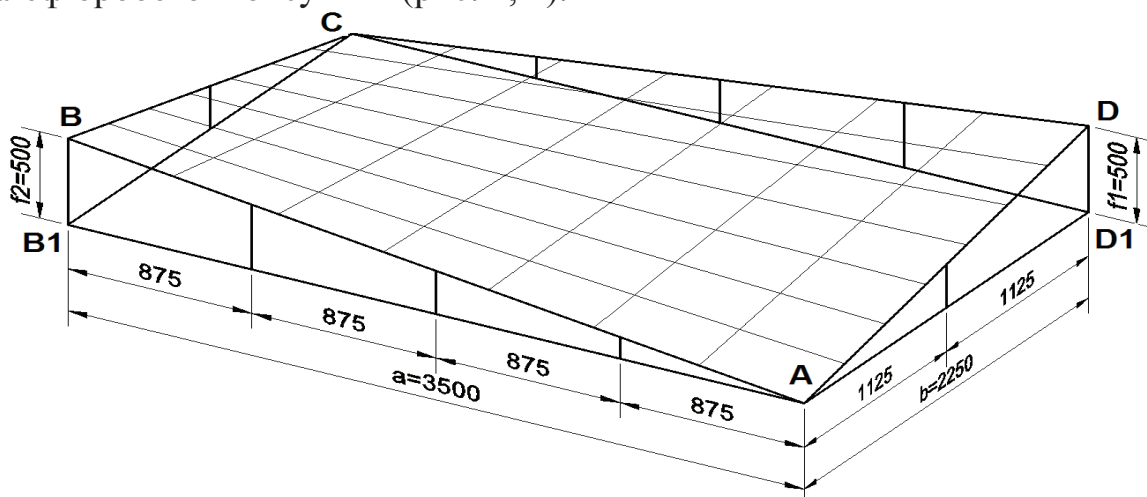
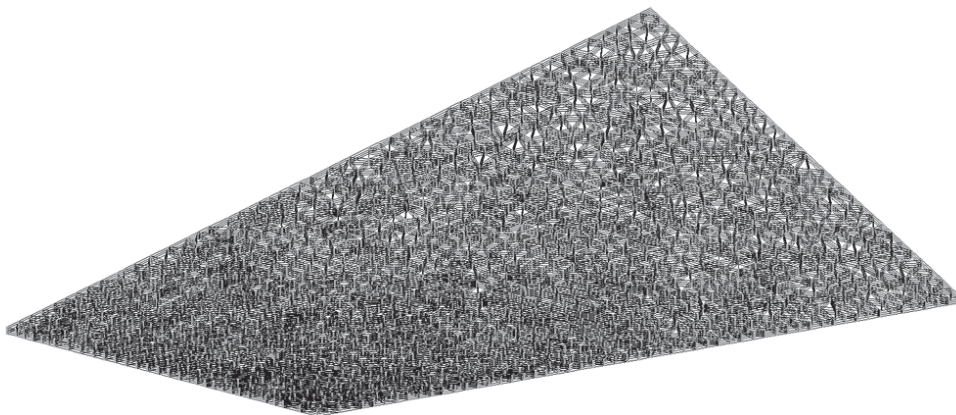


Рис. 1. Схематичне зображення гіпара, що досліджується



Рис. 2. Тонкостінна оболонка типу «гіперболічний параболоїд» зі сталевібробетону під час випробувань

Для виконання моделювання дослідження використовується розрахункова схема, що представлена на рис. 3.



$v_{dx}^2$

Рис. 3. Загальний вигляд розрахункової схеми оболонки на експлуатаційній стадії

Під час моделювання конструкції за допомогою ПК Ліра було проведено триангуляцію гіпара на кінцеві елементи виходячи з умов:

- товщина гіпара розбивається на три шари (при  $t_2 = 30$  мм товщина одного шару становитиме  $t_{ш} = 10$  мм);
- довжина гіпара становить  $l_2 = 3500$  мм, а ширина  $b_2 = 2250$  мм. Площина моделі розбивається на трикутні скінченні елементи з кількістю контурів 200 штук на  $1\text{ м}^2$ .

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

Основні фізико-механічні характеристики сталевібробетону, як матеріалу приймаються наступні: коефіцієнт Пуасона  $\nu=0,2$ ; питома вага матеріалу  $R_0=23,5\text{кН/м}^3$  [9].

При моделюванні матеріалу конструкції застосовувався кінцевий елемент №234 (физически нелинейный универсальный пространственный 6-узловой изопараметрический КЭ), що враховує фізичну нелінійність матеріалу.

Законом нелінійного деформування було вибрано «Закон №14 – кусочно-линейный закон деформирования». Числові значення для діаграми стану «Деформация-Напряжение» ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) були прийняті на основі результатів, що описані у роботах [10, 11].

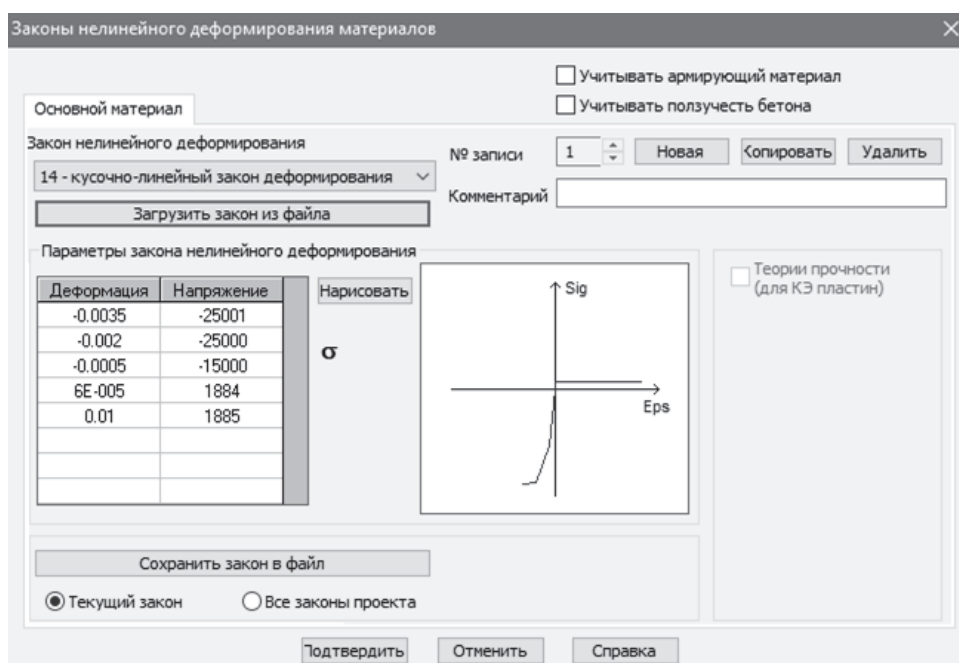


Рис. 4. Параметры закона нелинейного деформування сталевібробетону

Відповідно до мети дослідження даної роботи, було необхідно провести моделювання прикладання зовнішнього рівномірно розподіленого навантаження по всій площині оболонки, як аналог снігового. На всю площу оболонки розмірами  $2,25\text{ м} \times 3,5\text{ м} = 7,875\text{ м}^2$  було прикладене зовнішнє навантаження  $10\text{ Н} \times 126 = 1260\text{ Н}$ , яке відповідало рівномірно розподіленому по площі  $1260\text{ Н} / 7,875\text{ м}^2 = 160\text{ Па}$ . На кожному наступному етапі змінне навантаження прикладалось певними частками, величина яких становила близько 10% від руйнівного: 320, 480...1280, 1440 Па.

Використовуючи дану розрахункову схему і враховуючи вищевказані навантаження, був виконаний розрахунок напружено-деформованого стану

тонкостінної оболонки типу «гіперболічний параболоїд» зі сталевібробетону. Отримані переміщення та напруження наведені на рис. 5-7.

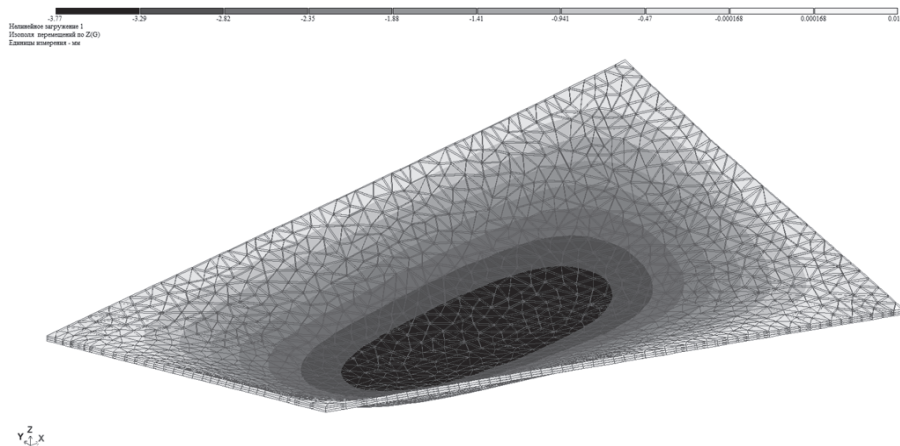


Рис. 5. Мозаїка переміщень по осі Z

На рис. 5 представлено максимальний прогин конструкції гіперболічного параболоїда при повному навантаженні у 2145 Па, що становить -3,77 мм.

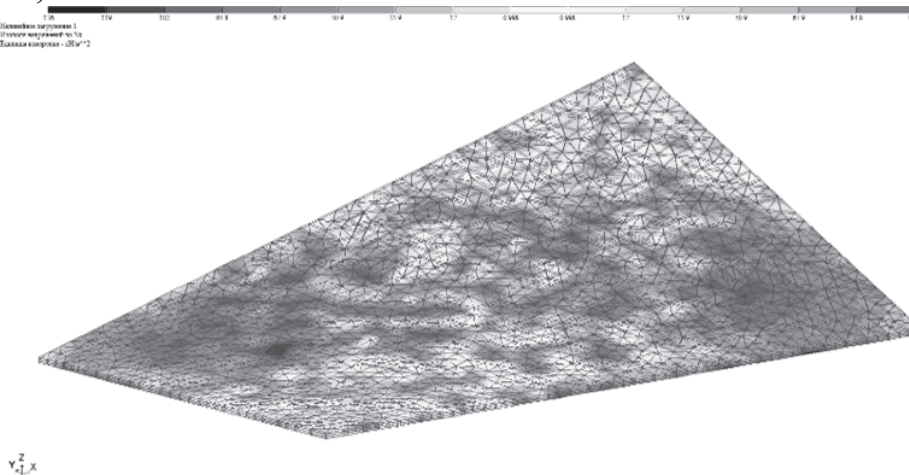


Рис. 6. Ізополя напружень по осі X

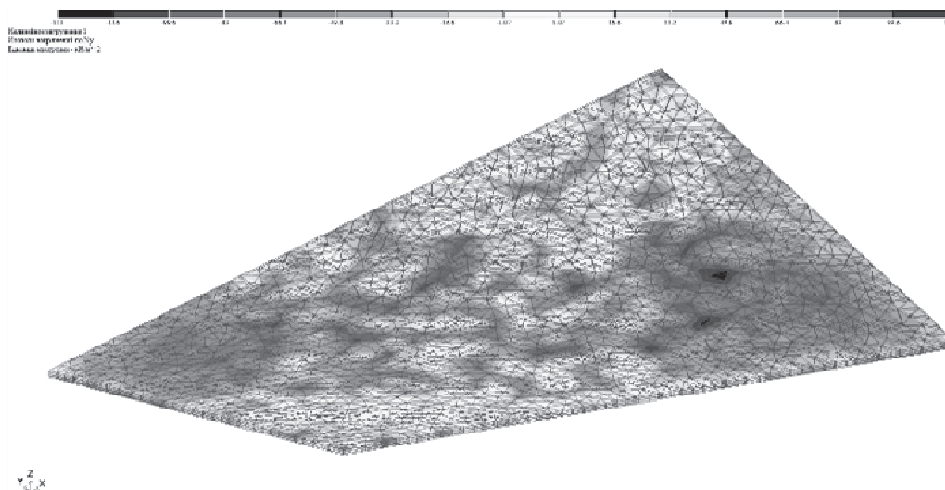


Рис. 7. Ізополя напружень по осі Y

В табл. 1 представлена схема прикладання навантаження під час моделювання оболонки типу гіпар із сталевібробетону та прогини оболонки.

Таблиця 1

Прогини тонкостінної оболонки зі сталевібробетону  
(дані ПК ЛИРА-САПР)

Етап завантаження	Навантаження, Па			Прогин, мм
	постійне (власна вага)	змінне	всього	
1	705	0	705	0,05
2	705	160	865	0,36
3	705	320	1025	0,67
4	705	480	1185	0,98
5	705	640	1345	1,31
6	705	800	1505	1,71
7	705	960	1665	2,17
8	705	1120	1825	2,68
9	705	1280	1985	3,22
10	705	1440	2145	3,77

За даними табл. 1 побудовано графічну залежність (рис. 8) прогину конструкції гіпара від діючого навантаження. Ця залежність має параболічну форму, причому початкова точка параболи відповідає прогину 0,05 мм тільки від власної ваги конструкції оболонки величиною 705 Па.

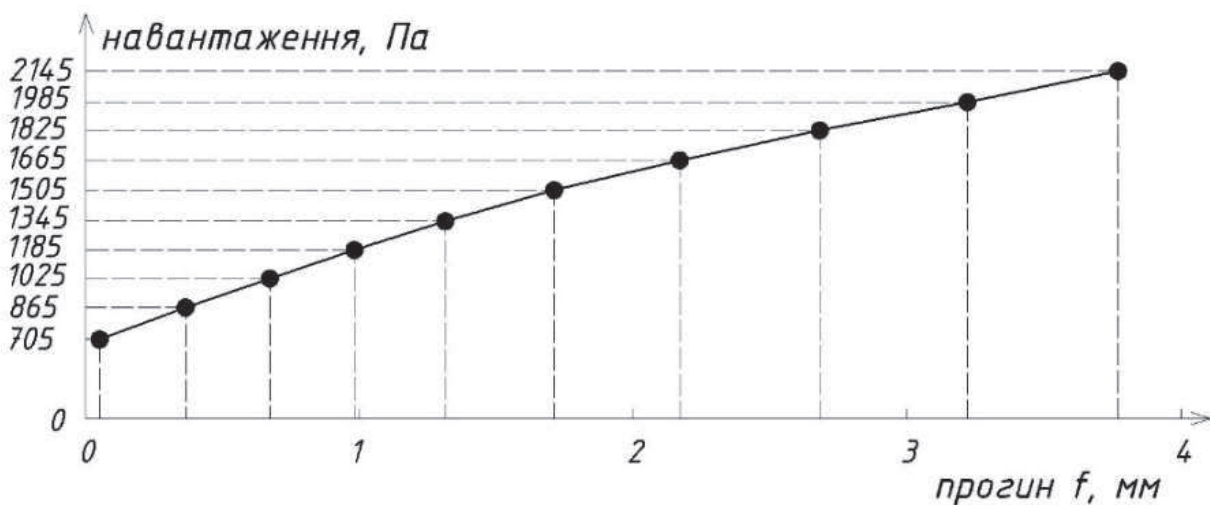


Рис. 8. Розрахункові значення абсолютного прогину змодельованої тонкостінної оболонки при різних рівнях навантаження

Експериментальним шляхом було також проведено дослідження тонкостінної оболонки типу «гіперболічний параболоїд» зі сталевібробетону. Оболонка була виконана в аналогічних геометричних розмірах і з ідентичного матеріалу, параметри якого були задані для розрахунку у ПК ЛИРА-САПР у даній роботі.

Прогини натурного зразка при завантаженні 8, 9 і 10 етапу виявились більшими, ніж у змодельованої оболонки (табл. 2):

Таблиця 2

Прогини тонкостінної оболонки зі сталевібробетону  
(результати отримані під час випробувань за допомогою прогиноміра)

Етап завантаження	Навантаження, Па			Прогин, мм
	постійне (власна вага)	змінне	всього	
1	705	0	705	0,08
2	705	160	865	0,14
3	705	320	1025	0,27
4	705	480	1185	0,46
5	705	640	1345	0,71
6	705	800	1505	1,02
7	705	960	1665	1,89
8	705	1120	1825	3,11
9	705	1280	1985	5,83
10	705	1440	2145	9,90

За даними табл. 2 побудовано графічну залежність (рис. 9) прогину натурної конструкції гіпара зі сталевібробетону від діючого навантаження.

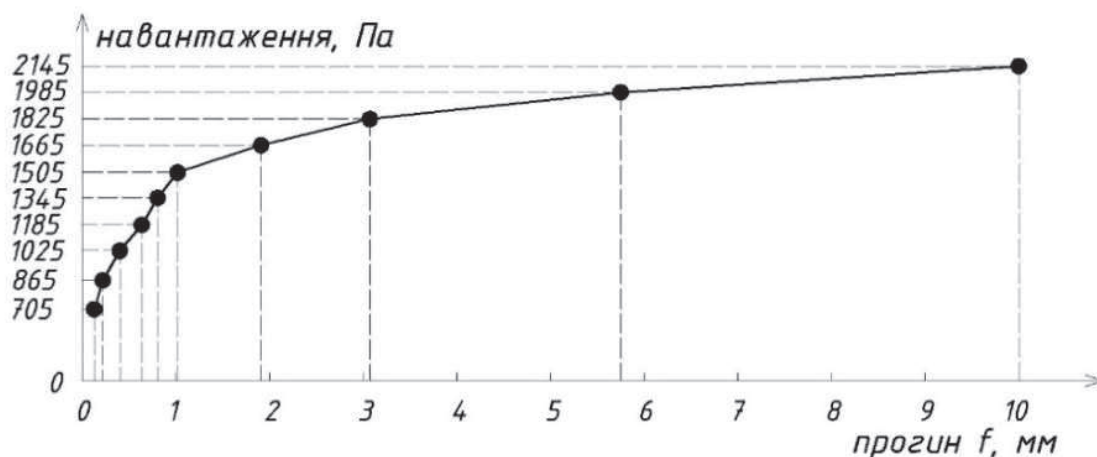


Рис. 9. Розрахункові значення абсолютного прогину натурної тонкостінної оболонки при різних рівнях навантаження

Отримавши теоретичні та експериментальні результати по випробуванню тонкостінної оболонки типу гіпар на міцність можна стверджувати, що при практичному дослідженні оболонка досягла граничного стану II групи при значно менших навантаженнях, ніж при теоретичному дослідженні. Гранично допустимий прогин для конструкцій подібного типу становить 1/400 від довжини меншої сторони конструкції. В цьому випадку він дорівнює 5,625 мм. Натурна оболонка досягла цього значення на 9-му етапі завантаження, хоча розрахунки у ПК ЛИРА-САПР демонструють на тому ж етапі завантаження лише 3,22 мм.

1. Барабаш М.С. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций / М.С. Барабаш, Ю.В. Верюжский, Ю.В. Гензерский, В.И. Колчунов, – Киев: Книжное издательство Национального авиационного университета., 2006.

2. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики / Учебное пособие. Издательство АСВ. – 2016. - с. 338.

3. Талантова К.В. Сталефібробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе: дисс. канд. тех. наук: 05.23.01. – Барнаул, 2013. – 287 с.

4. Андрійчук О.В. Робота і розрахунок елементів кільцевого перерізу при дії повторних навантажень: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.21 / О.В. Андрійчук – Львів, 2011. – 24 с.

5. Бабич Є.М. Про доцільність використання сталефібробетону для виготовлення безнапірних труб / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць – Рівне: НУВГП, 2009. – Випуск 18. – С. 119 – 126.

6. Бабич Є.М. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталефібробетону / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Рекомендації. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – С. 32.

7. Андрійчук О.В. Сталефібробетонні безнапірні труби / О.В. Андрійчук, Є.М. Бабич // Монографія. - Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. - 150 с.

8. Андрійчук О.В. Виготовлення придорожніх лотків водовідводу зі сталефібробетону / О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк// Наукові нотатки: збірник наукових праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – Випуск 45. – С. 7 – 14.

9. Андрійчук О.В., Григорчук А.Б. Дослідження роботи елементів кільцевого перерізу зі сталефібробетону при дії одноразових навантажень за допомогою програмного комплексу ЛІРА. / О.В. Андрійчук, А.Б. Григорчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. - 2012. - Вип. 24. - С. 62-70.

10. Русанов В.Е. Обоснование конструктивных параметров сборных обделок транспортных тоннелей и метрополитенов из сталефібробетона: дис. канд. тех. наук: 05.23.01.- М., 2012. - 269 с.

11. Панасенко А.В. Возможность применения сталефібробетона в сборных обделках напорных туннелей. / А. В. Панасенко // Будівельні конструкції. - 2013. - Вип. 78(1). - С. 171-177.