

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЛОТКІВ ПРИ ДІЇ ОДНОРАЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА**

**RESEARCH OF WORK OF STEEL FIBER CONCRETE GUTTERS UNDER SINGLE LOADS USING THE LIRA SOFTWARE COMPLEX**

**Андрійчук О.В., к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-6275-097X, Ясюк І.М., к.т.н., ORCID 0000-0003-2087-594X (Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**O. Andriichuk, Ph.D., associate professor, ORCID 0000-0002-6275-097X, I. Yasyuk, Ph.D, ORCID 0000-0003-2087-594X (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

**В статті описано моделювання експериментальних досліджень сталевібробетонних лотків при дії одноразових навантажень за допомогою програмного комплексу Ліра.**

**In the article with the help of calculation in the software complex "Lira" aims to determine the numerical values of stresses, bending moments and displacements that occur in the trays of reinforced concrete under the action of pre-known loads on them. Physically nonlinear finite volume elements № 236 were used during the simulation of the work of experimental trays made of reinforced concrete. After modeling the tray element in the form of a half-pipe and breaking it down into finite elements, the mechanical characteristics corresponding to the real properties of the materials from which it is made using the phenomenon of physical nonlinearity are set. Using a PC "Lira" was modeled and calculated tray semi-pipe made of reinforced concrete with parameters corresponding to the samples type 1SFB-1... 3.**

**The values of the moments in the middle of the section obtained as a result of this calculation are given in table. 1. For comparison, also in table. 1 shows the values of bending moments and stresses in the half-pipe tray, which were determined theoretically. According to table. 1 the error of the values of bending moments and stresses obtained with the help of PC "Lira" and the theoretical calculation is mainly within 8... 13% with the arithmetic mean error  $\bar{X} = 10.56$  and the standard deviation  $\sigma = 3.96$ . The value of the coefficient of variation  $v = 37\%$ .**

**PC "Lira" makes it possible to determine the numerical values of bending moments and stresses arising in the trays of semi-tubes of reinforced concrete from the action of pre-known loads on them. After calculating the load-bearing capacity of the cross section of the semi-pipe tray made of reinforced**

concrete, we obtain the values of the limit moments at which these elements can be operated from reinforced concrete. Comparing these values, it is possible to determine the limit operating conditions for these trays in the form of a semi-pipe made of reinforced concrete.

**Ключові слова:** Сталефібробетон, СФБ, сталева фібра, водовідведення, лоток, несуча здатність, міцність, Ліра.  
Steel fiber reinforced concrete, SFRC, fiber, water diversion, road gutter, durability, fracture toughness, Lyre.

**Вступ.** 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 елементів (конструкцій) одночасно з випробуванням та дослідженням за допомогою прикладних програм.

На сьогодні основним методом на базі якого розроблено більшість прикладних комп'ютерних програм для здійснення досліджень є метод скінченних елементів. Він затребуваний при розрахунку та моделюванні завдань із лінійною та нелінійною постановкою задачі в різноманітних галузях науки технічного напрямку.

**Аналіз останніх досліджень.** Останнім часом сталеві фібробетон (СФБ) все більш використовують для виготовлення різноманітних будівельних конструкцій [1]. Ефективність застосування СФБ в будівельних конструкціях за рахунок зниження трудовитрат на арматурні роботи, суміщення технологічних операцій на приготування, армування, укладання та ущільнення сталеві фібробетонної суміші, продовження терміну експлуатації конструкцій і зниження витрат на різні види поточного ремонту. Останні дослідження СФБ проводяться для різних будівельних конструкцій, а саме таких як: жорстке цементно-бетонне покриття доріг; злітно-посадкові смуги аеродромів; гідроспоруди: причали, дамби, греблі, труби; просторові споруди; елементи мостів та інше.

Дослідженню СФБ надається належна увага, оскільки він є ефективним матеріалом для виготовлення багатьох нових та підсилення існуючих будівельних конструкцій [1-8]. Отримані результати попередніх експериментальних досліджень лотків для притрасового водовідведення зі сталеві фібробетону, що проведено авторами статті – представлено в наукових працях [9-11].

**Постановка мети і задач досліджень.** В роботі за допомогою розрахунку в програмному комплексі «Ліра» ставиться за мету визначити числові значення напружень, згинальних моментів та переміщень, що виникають в лотках зі СФБ при дії наперед відомих на них навантажень. Маючи значення граничних моментів, що отримані шляхом теоретичного розрахунку, при

яких ще можна експлуатувати дані елементи зі СФБ та значення моментів, що виникають в лотках зі СФБ отримані за допомогою ПК «Ліра» можна прийняти рішення про можливість експлуатації лотків зі СФБ під час дії даного виду завантаження.

**Методика дослідження.** Для проведення моделювання та розрахунків роботи лотків водовідведення використовувався програмний комплекс «Ліра». Під час здійснення моделювання роботи дослідних лотків зі сталевібробетону було застосовано фізично нелінійні скінченні об'ємні елементи № 236 (універсальні просторові 8-кутові ізопараметричні СЕ).

З цією метою було змодельовано лоток у формі напів-труба із розмірами у відповідності до експериментальних зразків першої серії досліджень (рис. 1), та проведено його триангуляцію (розбивку) на кінцеві елементи виходячи з наступних умов:

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

– довжина пів-кола по осьовому радіусу елемента лотка становить  $l_k = 54$  см. Ми її розбиваємо на скінченні елементи з довжиною сторони по  $l_{ce} = 10$  мм. У нас по довжині півкола є 54 скінченних елементів по осьовому радіусу.

– довжина елементів лотка  $l = 300$  мм (в першій, другій і третій серіях).

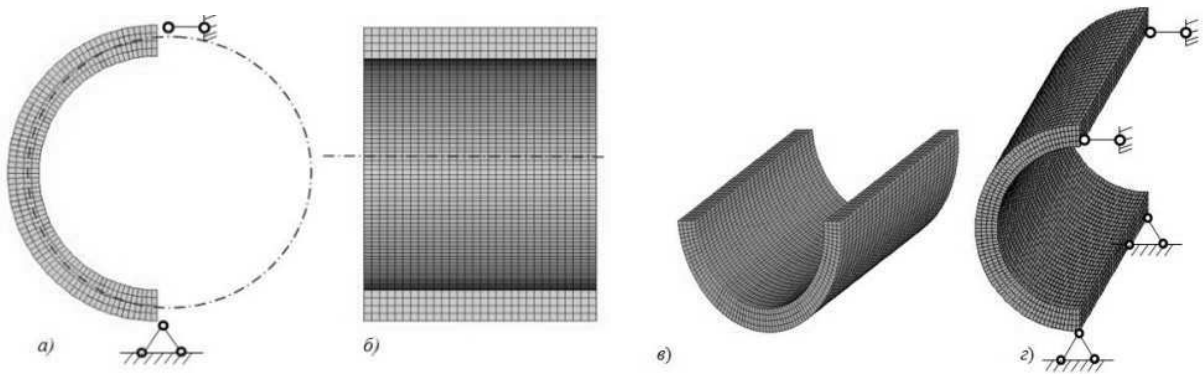


Рис 1. Моделювання лотків I-ої, II-ої та III-ої серій:

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

По довжині лотка розбивку його на скінченні елементи виконуємо з умовою, що довжина кожного скінченного елемента  $l = 10$  мм (тобто скінченні елементи мають кубічну геометричну форму). В довжину елемента лотка розміщено 30 скінченних елементів (для першої, другої та третьої серій).

Після виконання моделювання елемента лотка у формі напів-труби та розбивки його на скінченні елементи задаються механічні характеристики,

що відповідають реальним властивостям матеріалів з яких він виготовляється з використанням явища фізичної нелінійності.

Сталефібробетон, як матеріал з якого виготовляється лоток у формі напів-труба, можна задати двома методами:

– з допомогою графіка, що описує залежність напруження – деформації даного сталефібробетону ( $\sigma - \epsilon$ );

– з допомогою завдання спочатку параметрів бетону – матриці, з наступним вказуванням характеристик армувального матеріалу (сталевих фібр) та прописуванням відсотку армування в напрямку кожної осі (X, Y, Z) для кожного скінченного елемента.

Навантаження на змодельований лоток у формі напів-труба зі сталефібробетону прикладається:

- від власної ваги даного лотка;
- від дії рівномірно розподіленої сили, що прикладається вздовж осі даного елемента в напрямку вертикального діаметра.

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 лотка у формі напів-труба зі СФБ задаємо 14-ий закон нелінійного деформування («кусочно-линейный закон деформирования»).

Процес розрахунку моделі лотка у формі напів-труба зі сталефібробетону за допомогою ПК «Ліра» показано на рис. 2.

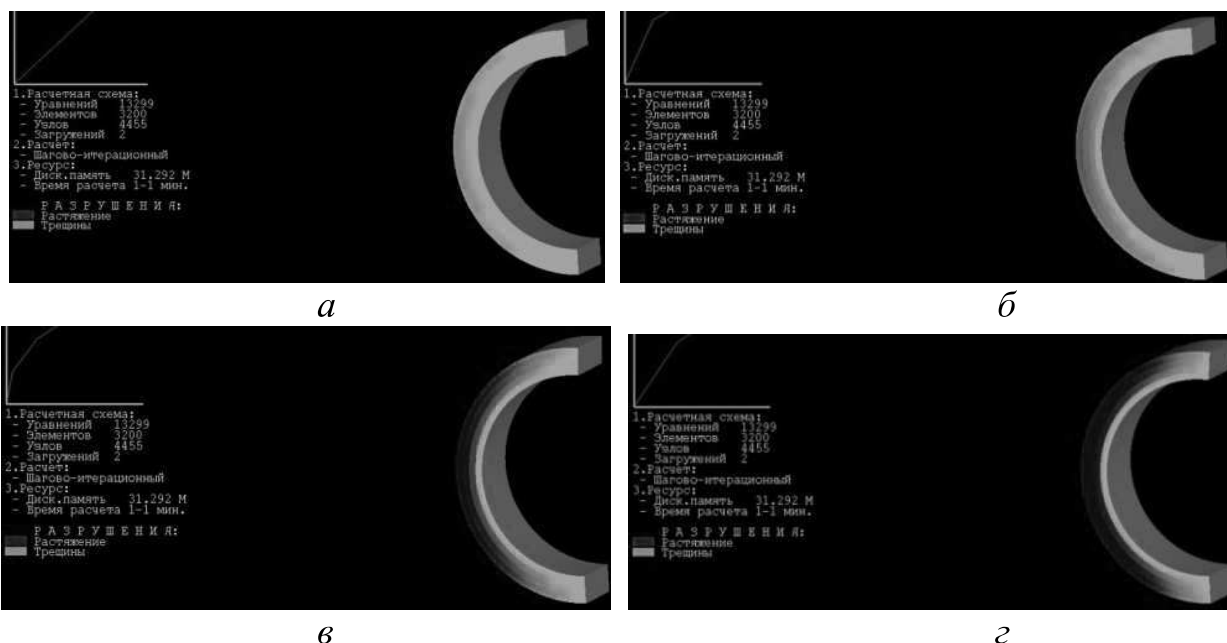


Рис. 2. Процес розрахунку лотка зі сталефібробетону в ПК «Ліра»: а – на 3-му кроці; б – на 10-му кроці; в – на 16-му кроці; г – на 19-му кроці

Зміна значень ізополів напружень  $N_z$  в моделі лоток напів-труба зі сталефібробетону I-ої серії при зростанні навантаження показано на рис. 3 (а ... в),

а також представлено ізометричну проекцію (г) виникаючих напружень в лотку.

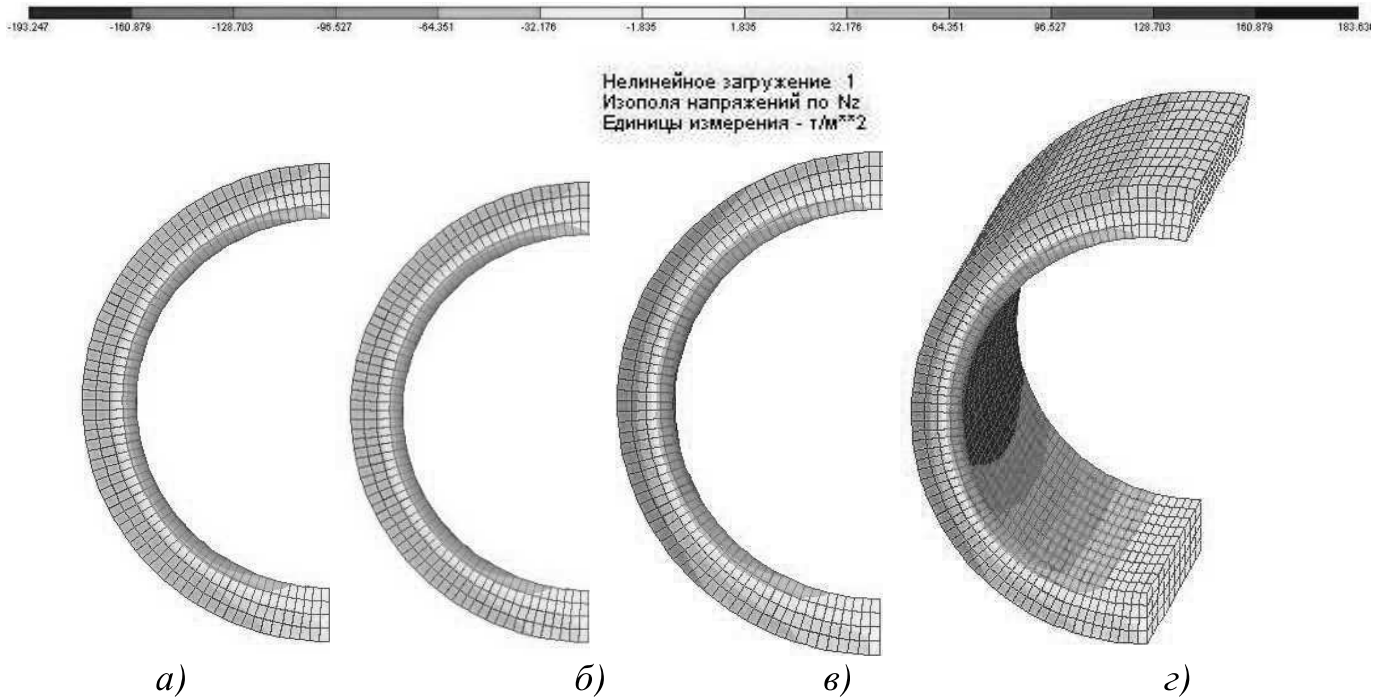


Рис. 3. Зміна значень ізополів напружень  $N_z$  в моделі лоток напів-труба зі сталевібробетону I-ої серії при зростанні навантаження (а, б, в, г)

**Результати досліджень.** Аналіз ізополів напружень, що отримали в наслідок розрахунку за допомогою ПК «Ліра» (на основі методу скінченних елементів) показує, що найбільш небезпечною відносно величини напруження та виникаючих моментів і, відповідно, найбільш піддатливою розвитку процесу тріщиноутворення є зовнішня зона посередині січення – зона розтягу. А значення напруження (на основі аналізу ізополів) в внутрішній зоні січення (зона стиску) свідчить про суттєвий запас міцності лотка у формі напів-труба зі сталевібробетону в цій зоні (згідно рис. 3).

За допомогою програмного комплексу «Ліра» було змодельовано та прораховано лоток напів-трубу зі сталевібробетону з параметрами, що відповідає зразкам типу 1СФБ-1...3 (перша серія експериментальних досліджен, зразок – сталевібробетонний [10-11]). Значення моментів по середині перерізу отримані в наслідок даного розрахунку подано в табл. 1.

Для порівняння також в табл. 1 представлено значення згинальних моментів та напруження в лотку напів-трубі, що були визначені теоретично.

Згідно даних табл. 1 похибка значень згинальних моментів та напружень отриманих за допомогою розрахунку в програмному комплексі «Ліра» та теоретичного розрахунку знаходиться в основному в межах 8 ... 13 % із середнім арифметичним значенням похибки  $\bar{X}=10,56$  та середнім квадратичним відхиленням  $\sigma = 3,96$ . Визначене значення коефіцієнта варіації становить  $v = 37\%$ .

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

№	Зусилля, $F$		Теоретично розраховані в бічному перерізі		ПК Ліра-САПР, $\sigma$ , МПа	Похибка, %
	кН	кН/м	Момент, (М, кН•м)	Напруження ( $\sigma$ , 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	12,5	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

**Висновки.** ПК «Ліра» дає можливість визначати числові значення згинальних моментів і напружень, що виникають в лотках напів-трубах зі сталевібробетону від дії на них наперед відомих навантажень. Після проведення розрахунку несучої здатності січення лотка напів-труби 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 лотків у формі напів-трубу зі сталевібробетону.

1. Бабич Є.М. Використання сталевібробетону для дорожньо-транспортних споруд / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – К., КНУБА, 2014. Випуск № 54. – С. 33–41.

Babych Ye.M. Vykorystannia stalefibrobetonu dlia dorozhno-transportnykh sporud [Use steel fiber reinforced concrete for road constructions] / Ye.M. Babych, O.V. Andriychuk,

I.M. Yasiuk // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. – K., KNUBA, 2014. Vypusk № 54. – S. 33– 41.

2. Бабич Є.М. Дослідження опору високоміцних бетонів та фібробетонів пробиванню / Є.М. Бабич, Д.В. Кочкар'ов, С.В. Філіпчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - 2017. - Вип. 34. - С. 71-85.

Babych Ye.M. Doslidzhennia oporu vysokomitsnykh betoniv ta fibrobetoniv probyvanniu [Investigation of resistance of high durable concrete and fiber-reinforced concrete penetration] / Ye.M. Babych, D.V. Kochkarov, S.V. Filipchuk // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. - 2017. - Vyp. 34. - S. 71-85.

3. Бабич Є.М. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталеві фібробетону / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Рекомендації. – Луцьк: Луцький НТУ, 2012. – 32 с.

Babych Ye.M. Proektuvannia ta vyhotovlennia beznapirnykh trub iz stalefibrobetonu [Design and manufacture of non-pressure pipes made of steel fiber reinforced concrete] / Ye.M. Babych, O.V. Andriyichuk // Rekomendatsii. – Lutsk: Lutskyj NTU, 2012. – 32 s.

4. Борисюк О.П. Напружено-деформований стан залізобетонних балок підсиленних під навантаженням сталеві фібробетоном і композитами при дії малоциклових навантажень // О.П. Борисюк, Ю.Ю. Зятюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2016. – Вип. 33. – С. 298 – 303.

Borysiuk O.P. Napruzhenodeformovanyj stan zalizobetonnykh balok pidsylenykh pid navantazhenniam stalefibrobetonom i kompozytamy pry dii malotsyklovykh navantazhen [reinforced concrete beams stress-strain strengthened under loading steelfiberconcrete and composites at action lowcycle load ] // O.P. Borysiuk, Yu.Yu. Ziatiuk // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zb. nauk. prats. – Rivne: NUVHP, 2016. – Vyp. 33. – S. 298 – 303.

5. Білозір В.В. Вплив низхідної вітки діаграми деформування сталеві фібробетону за розтягу на несучу здатність балок / В.В. Білозір // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – Дубляни, ЛНАУ, 2015. Випуск № 16. – С. 60 – 64.

Bilozir V.V. Vplyv nyzkhidnoi vitky diahramy deformuvannia stalefibrobetonu za roztiahu na nesuchu zdatnist balok [Influence of descending branch of diagram of deformation of steel fibre concrete at tension on bearing strength of beams] / V.V. Bilozir // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seria: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. – Dubliany, LNAU, 2015. Vypusk № 16. – S. 60 – 64.

6. Опанасенко Е.В. Види фібрового армування / Е.В. Опанасенко, А.А. Берестянська // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - 2015. - Вип. 30. - С. 57-64.

Opanasenko E.V. Vydy fybrovoho armyrovanyia [types fiber reinforcement] / E.V. Opanasenko, A.A. Berestianskaia // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. - 2015. - Vyp. 30. - S. 57-64.

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

Andriyichuk O.V. Stalefibrobetonni beznapirni truby [Steel fiber reinforced concrete non-pressure pipes] / O.V. Andriyichuk, Ye.M. Babych // Monohrafiia. – Lutsk: RVV Lutskoho NTU, 2012. – 150 s.

8. 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.

Andrijchuk O.V. Robota i rozrakhunok elementiv kiltsevoho pererizu pry dii povtornykh navantazhen [Work and calculation of elements of a ring section from steel fiber reinforced concrete at repeated loads]: Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.03.21 / O.V. Andrijchuk – Lviv, 2011. – 24 s.

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

Andrijchuk O.V. Vyhotovlennia prydorozhnikh lotkiv vodovidvodu zi stalefibrobetonu [making of wayside trays of overflow-pipe with steel-fibre-concrete] / O.V. Andrijchuk, I.M. Yasiuk // Naukovi notatky: zbirnyk naukovykh prats – Lutsk: Lutskyj NTU, 2014. – Vypusk 45. – S. 7 – 14.

**10.** 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: ОДАБА. 2015. Випуск 58. – С. 11 – 18.

Andrijchuk O.V. Metodyka eksperymentalnoho doslidzhennia dyspersno-armovanykh prydorozhnikh lotkiv vodovidvedennia [methodology of experimental research dispersed-reinforced trays of roadside drainage] / O.V. Andrijchuk, I.M. Yasiuk // Visnyk Odeskoi natsionalnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury: zbirnyk naukovykh prats. – Odesa: ONABA. 2015. Vypusk 58. – S. 11 – 18.

**11.** Андрійчук О.В. Дослідження міцнісних характеристик сталевібробетонних лотків водовідведення / О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: науковий збірник. Випуск 31 – Рівне, НУВГП, 2015. – С. 371-378.

Andrijchuk O.V. Doslidzhennia mitsnisnykh kharakterystyk stalefibrobetonnykh lotkiv vodovidvedennia [study durable characteristics steel fiber concrete trays sewage systems] / O.V. Andrijchuk, I.M. Yasiuk// Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: naukovyj zbirnyk. Vypusk 31 – Rivne, NUVHP, 2015. – S. 371-378.