

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИДО-
РОЖНІХ ЛОТКІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ІЗ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ**

**METHODS EXPERIMENTAL RESEARCH ROADSIDE TRAYS SEWAGE
SYSTEMS WITH STEEL FIBER CONCRETE**

Андрійчук О.В., к.т.н., ст. викладач (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), **Ясюк І.М., аспірант** (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

O. Andiiichuk, Ph.D., senior lecturer (Lutsk National Technical University, Lutsk), **I. Yasyuk, graduate student** (Lutsk National Technical University, Lutsk)

У статті описано методику проведення експериментального дослідження дисперсно-армованих лотків для систем придорожного водовідведення. Згідно плану дослідження заплановано виготовлення та випробовування трьох серій дослідних зразків.

The paper describes the methodology of experimental research dispersed-reinforced trays of roadside drainage. According to the study plan scheduled production and testing three series of prototypes.

Ключові слова:

Залізобетон, сталевібробетон, фібра, лоток, міцність, тріщиностійкість, деформативність.

Reinforced concrete, steel-fiber-concrete, fiber, tray, strength, crack resistance, deformations.

Вступ. Придорожні лотки водовідведення відносяться до дорожньо-транспортних споруд автомобільних доріг. Вони можуть бути як типовими, так і індивідуального проектування, залежно від реальних ґрунтово-геологічних, гідрологічних та топографічних даних, з врахуванням особливостей місцевості та інфраструктури. Варто відмітити, що дорожньо-транспортні споруди є дуже відповідальними елементами дороги. Їхня вартість на рівнинних дорогах складає до 10 % вартості всієї дороги, а на а/д в гірській місцевості вартість дорожньо-транспортних споруд може сягати 30 % і більше від загальної вартості будівництва.

Головними складовими впливу на дорожньо-транспортні споруди є: рух транспорту, що створює значні динамічні та вібраційні коливання; власна вага конструкцій та агресивний вплив зовнішнього середовища.

Придорожні лотки (рис. 1) застосовуються під час будівництва водовідвідних систем для відведення дощових і ґрунтових вод з ділянок доріг із високим ступенем навантаження, магістралей, пішохідних доріжок, в аеропортах і терміналах.



Рис. 1. Лотки для придорожного водовідведення

Варто зазначити, що перспективна інтенсивність руху на дорогах I-а та I-б категорії під час проведення розрахунків приймається понад 10000 транспортних засобів на добу. Пропускна здатність окремих а/д України навіть перевищує ці стандарти – зокрема дорога [Київ-Бориспіль](#) має пропускну здатність 40 тис. авт/добу. Величезні потоки транспорту проходять через січення доріг такого класу і створюють значні динамічно-вібраційні коливання, що діють на дорожньо-транспортні споруди.

Сьогодні основними матеріалами з якого виготовляють лотки придорожного водовідведення, а також і всі дорожньо-транспортні споруди є бетон або залізобетон. Під впливом погодно-кліматичних факторів та вібраційних коливань від руху транспортних засобів на їх поверхні в процесі експлуатації відбувається руйнування, що призводить до утворення тріщин, вибоїн, вилущування бетону, руйнування захисного шару бетону та ін. Варто відмітити, що вони постійно сприймають динамічні та температурні впливи. Через це використання залізобетону та умови його роботи в придорожніх лотках ставить завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, морозостійкості, міцності, та інших характеристик, які в свою чергу, залежать від міцності матеріалу на розтяг.

Одним із рішень в цьому напрямку є застосування в конструкції лотків водовідведення бетону з додаванням армуючих елементів у вигляді коротких

сталевих відрізків – сталевібробетону. Комбінування жорстких – і через це зі значними резервами міцності – волокон (фібр) з матрицею (бетоном) дозволяє локалізувати небезпеку, пов'язану з крихким руйнуванням матриці та реалізувати таким чином основні властивості фібр: велику потенціальну міцність на розтяг та підвищений модуль пружності.

Не зважаючи на ряд якісних переваг, сталевібробетон (СФБ) є ще порівняно новим та не повністю вивченим матеріалом. Варто відмітити, що актуальність використання СФБ для виготовлення придорожніх лотків водовідведення описано в статті [1]. В ході цього дослідження встановлено, що сталевібробетон, як ефективний матеріал, доцільно використовувати для виготовлення лотків систем водовідведення; застосування лотків із СФБ для водопостачання та водовідведення взамін типових залізобетонних дозволяє: повністю відмовитися від використання арматури; знизити матеріалоємність конструкції, і як наслідок, їх вагу; знизити затрати праці на під час виготовлення конструкцій і значно підвищити довговічність конструкцій.

На сьогодні дослідження лотків систем водовідведення з дисперсно-армованого бетону від дії одноразових навантажень проведені в Росії – в ГОУ ВПО "Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова". Детально з результатами проведення досліджень СФБ лотків та отриманими висновками можна ознайомитися в [2]. Також результати дослідження П-подібних лотків із СФБ висвітлені в [3].

Постановка мети і задач досліджень. Проведення експериментальних досліджень лотків систем придорожного водовідведення виготовлених із СФБ та співставлення і аналізування отриманих даних із результатами випробувань типових лотків, та виявлення переваг та недоліків при застосуванні дисперсно-армованого бетону в конструкції лотків є актуальною та доцільною задачею.

Об'єктом дослідження під час виконання наукової роботи є лотки виготовлені зі СФБ.

Метою експериментальних досліджень є:

- обґрунтування можливості та доцільності використання лотків зі СФБ;
- встановлення особливостей роботи лотків із сталевібробетону та дослідження напружено-деформівного стану при дії одноразових та повторних (малоциклових) навантажень;
- на основі експериментальних даних удосконалення методики розрахунку лотків із сталевібробетону;
- перевірка збіжності експериментальних даних із розрахунковими;
- проведення розрахунку лотків із СФБ за допомогою методу скінченних елементів;
- розроблення рекомендації до впровадження лотків із СФБ у виробництво.

Під час проведення випробувань необхідно здійснити вивчення особливостей міцнісних та деформаційних характеристик, тріщиностійкості,

напружено-деформівного стану придорожніх лотків виготовлених із сталевібробетону при дії короткочасних та повторних навантажень. Застосоване устаткування та вимірювальні прилади під час проведення наукового дослідження мають забезпечити достовірність результатів із необхідною точністю.

Методика досліджень. Конструктивних рішень лотків систем водовідведення з різними поперечними січеннями розроблена значна кількість. В якості прототипу (макету) під час розроблення лотка зі сталевібробетону найбільш доцільно взяти за основу залізобетонний лоток-напівтрубу. Основними передумовами в користь такого рішення є: відсутність кутів – концентраторів напруження; найбільше "робоче" січення при найменшій площі поверхні; достатньо проста технологія виготовлення зразків (рис. 2).

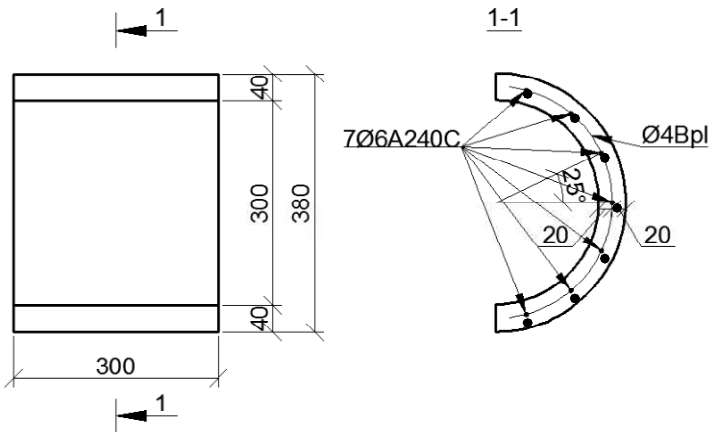


Рис. 2. Конструктивна схема дослідних лотків, виготовлених із звичайного залізобетону з типовим армуванням

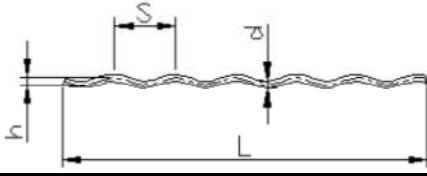
Виготовлення та експериментальні дослідження лотків проводяться у міжкафедральній науково-дослідній будівельній лабораторії досліджень структури та фізико-механічних властивостей матеріалів факультету будівництва та дизайну Луцького національного технічного університету.

За матрицю для виготовлення сталевібробетону застосовано бетон із дрібнозернистим заповненням класу С12/15.

Для отримання сталевібробетону в якості дисперсного армування дослідних лотків застосовується хвиляста фібра діаметром 0,8 мм та довжиною 50 мм виробництва Українсько-Канадського СП ТОВ «Донбас Ліберті» із м. Харцизьк Донецької області з параметрами згідно табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні розміри сталевих анкерних фібр

|  | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Діаметр фібри, d | Довжина фібри, $L \pm 2,0$ | Висота хвилі, h не менше | Крок хвилі, $S \pm 1,5$ |
| мм | мм | мм | мм |
| 0,8 | 50 | 1,0 | 8,3 |
| h, S – забезпечується технологічним інструментом | | | |

Для бетонування лотків типу "напівтруба" сконструйовано та виготовлено спеціальну легко-розбірну опалубку з металу (рис. 3). Вона забезпечить рівність поверхні дослідних зразків з товщиною стінки $t = 40$ мм, внутрішнім діаметром $d_{\text{вн}} = 300$ мм ($d_3 = 380$ мм) і довжиною лотка $l = 300$ мм.

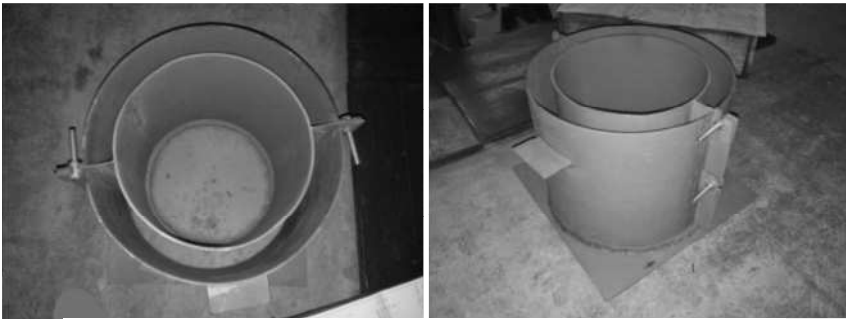


Рис. 3. Загальний вигляд опалубки для виготовлення дослідних лотків

З метою вивчення особливостей міцнісних та деформаційних характеристик, напружено-деформівного стану лотків зі СФБ, а також роботи цих елементів при короткочасних та повторних навантаженнях прийнято за доцільне проведення трьох серій експериментальних досліджень згідно табл. 2, відповідно до мети та задач, поставлених у роботі.

В першій серії буде досліджено 12 лотків, 6 призм і 6 кубиків. В другій серії – 9 лотків, 6 призм і 6 кубиків. У третій серії – 13 лотків, 9 призм і 9 кубиків. Всього в процесі наукового експерименту буде виготовлено та випробувано 34 лотки, 21 кубик і 21 призма.

Таблиця 2

**План експериментальної частини при дослідження
лотків водовідведення із сталевібробетону**

| | Навантаження | Досліджувальні параметри | Особливості зразків | Маркування зразків |
|-----|---|--|---|---|
| I | Одноразові, до руйнування. Крок – 10 % від руйнівного | Міцність, деформативність, тріщиностійкість при дії одноразових навантажень | Бетонні, C12/15 | 1Б-1, 1Б-2, 1Б-3; |
| | | | Залізобетонні, C12/15, $\mu \approx 2\%$ | 1ЗБ-1, 1ЗБ-2, 1ЗБ-3; |
| | | | Сталефібро-бетонні, C12/15, | 1СФБ-1, 1СФБ-2, 1СФБ-3; |
| | | | Сталефібро-залізобетонні C12/15, $\mu \approx 1+1\%$ | 1СФЗБ-1, 1СФЗБ-2, 1СФЗБ-3; |
| II | Повторні з рівнем $\eta = 0,6$ при 10 циклах. Крок – 10 % від руйнівного | Міцність, деформативність, тріщиностійкість при дії повторних навантажень з $\eta = 0,6$ | Залізобетонні, C12/15, $\mu \approx 2\%$ | 2ЗБп-1, 2ЗБп-2, 2ЗБп-3; |
| | | | Сталефібробетонні, C12/15, $\mu \approx 2\%$ | 2СФБп-1, 2СФБп-2, 2СФБп-3; |
| | | | Сталефібро-залізобетонні C12/15, $\mu \approx 1+1\%$ | 2СФЗБп-1, 2СФЗБп-2, 2СФЗБп-3; |
| III | Матриця планованого експерименту | | Сталефібро-бетонні, C12/15, $\mu \approx 1\%$, $\mu \approx 2\%$, $\mu \approx 3\%$ | 3СФБп _{+1,+1} -1 3СФБп _{+1,+1} -2 3СФБп _{+1,+1} -3 3СФБп _{+1,-1} -1 3СФБп _{+1,-1} -2 3СФБп _{+1,-1} -3 3СФБп _{-1,+1} -1 3СФБп _{-1,+1} -2 3СФБп _{-1,+1} -3 3СФБп _{-1,-1} -1 3СФБп _{-1,-1} -2 3СФБп _{-1,-1} -3 3СФБп _{0,0} -1 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

де μ – відсоток армування, η – рівень повторних навантажень.

У процесі випробувань зразків першої серії порівнюється між собою робота бетонних, залізобетонних, сталевібробетонних і сталевібро-залізобетонних лотків. Відсоток армування для залізобетонних і СФБ лотків становить $\mu = 2\%$. А відсоток армування в сталевіброзалізобетонних лотках становить для фібр $\mu = 1\%$ і для арматурного каркасу $\mu = 1\%$, тобто сумарний $\mu = 2\%$. Всі дослідження зразків у першій серії проводяться при дії одноразового навантаження до руйнування, з кроком прикладання зусилля 10 % від руйнівного.

У другій серії досліджуються особливості міцнісних та деформаційних характеристик, напружено-деформівного стану залізобетонних, сталевібро-бетонних і сталевіброзалізобетонних лотків при дії повторних малоциклових навантажень із рівнем завантаження $\eta = 0,6$ при 10 циклах. Крок прикладання зусилля – 10 % від руйнівного.

Для вивчення міцнісних характеристик матриці-бетону та сталевібро-бетону в I-й і II-й серії виготовлені для дослідження кубики розміром $15 \times 15 \times 15$ см (міцність на розтяг) і призми розміром $10 \times 10 \times 60$ см (міцність на розтяг). Класу бетону-матриці в всіх зразках С12/15.

У третій серії досліджується робота лотків зі сталевібробетону з трьома різними відсотками армування, а саме: $\mu = 1\%$; $\mu = 2\%$ і $\mu = 3\%$. Кожний вид зразків піддається впливу повторних малоциклових навантажень із різними рівнями завантаження: $\eta = 0,3$; $\eta = 0,5$ та $\eta = 0,7$ із кроком прикладання зусилля, що становить 10 % від руйнівного.

Для зменшення об'єму виконання дослідних випробувань в III-й серії проводиться повний двофакторний планований експеримент згідно матриці, що представлена в табл. 3. Фактор x_1 – відсоток армування (μ). Фактор x_2 – рівень завантаження, (η).

Таблиця 3

Матриця повного факторного експерименту плану 2^2

| Точки плану, u | Фактори | | Взаємодія $x_1 x_2$ | Вихідний параметр y |
|---------------------|-------------|--------------|------------------------|--------------------------|
| | $x_1 (\mu)$ | $x_2 (\eta)$ | | |
| 1 | +1 | +1 | +1 | y_1 |
| 2 | +1 | -1 | -1 | y_2 |
| 3 | -1 | +1 | -1 | y_3 |
| 4 | -1 | -1 | +1 | y_4 |

Застосування планованого експерименту зменшить кількість необхідних моделей лотків у III-й серії з 27 до 13 одиниць.

Результати дослідів обробляються за допомогою методів математичної статистики, одержуючи залежності між вихідними параметрами і факторами, що на них впливають, у вигляді лінійних або нелінійних квадратичних рівнянь регресії згідно [4].

Після проведення випробувань згідно планованого експерименту на основі математичних залежностей вираховуються проміжні значення. Для двофакторного експерименту рівняння регресії має вигляд:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (1)$$

Для визначення механічних і деформівних характеристик бетону матриці випробуються бетонні куби розміром $15 \times 15 \times 15$ см на центральний стиск та призми $10 \times 10 \times 60$ см на центральний розтяг (клас бетону згідно ДБН В.2.6-98:2009 [3]).

Армування лотків із звичайного та комбінованого залізобетону здійснюється згідно вимог ДБН В.2.6-98:2009 [5]. Каркас складається з поперечної дрітної арматури $\varnothing 4\text{ВрІ}$ (робоча арматура) та стержнів класу арматурного прокату А240С $\varnothing 6$ (конструктивна арматура) згідно ДСТУ 3760:2006 [6]. На рис. 4 подано загальний вигляд арматурних каркасів зразків: ЗБ-1,2,3; ЗБп-1,2,3; СФЗБ-1,2,3 і СФЗБп-1,2,3;

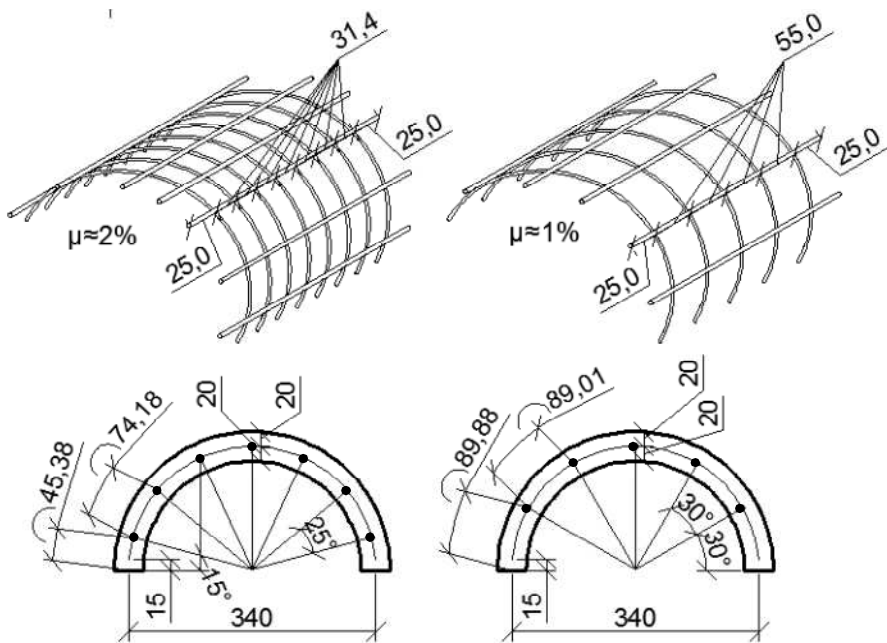


Рис. 4. Арматурні каркаси для залізобетонних ($\mu \approx 2\%$) та сталюфіброзалізобетонних ($\mu \approx 1\%$) лотків

Кількість матеріалів, які необхідні для виготовлення дослідних зразків наведена в табл. 4. Склад бетонної суміші для виготовлення бетону-матриці на дослідні зразки класу С12/15 подано в табл. 5.

Таблиця 4

Витрата матеріалів для проведення дослідження

| | Бетон С12/15 (м³) | Арматура (м) | | Фібра (кг) |
|----------------|-------------------|--------------|--------|------------|
| | | Ø6 A240C | Ø4 BpI | |
| Лотки, 1 серія | 0,0768 | 9,72 | 19,71 | 4,52 |
| Лотки, 2 серія | 0,0576 | 9,72 | 19,71 | 4,52 |
| Лотки, 3 серія | 0,0832 | - | - | 13,06 |
| Кубики | 0,0405 | - | - | 4,80 |
| Призми | 0,0720 | - | - | 8,49 |
| Всього | 0,33 | 19,44 | 39,42 | 35,39 |

Таблиця 5

Витрата матеріалів для приготування бетонної суміші (С12/15) в об'ємі 0,33 м³

| Портландцемент (М400), кг | Щебінь, кг | Пісок, кг | Вода, л |
|---------------------------|------------|-----------|---------|
| 94,41 | 356,51 | 262,43 | 69,32 |

Дослідження лотків проводяться згідно схеми, що подана на рис. 5.

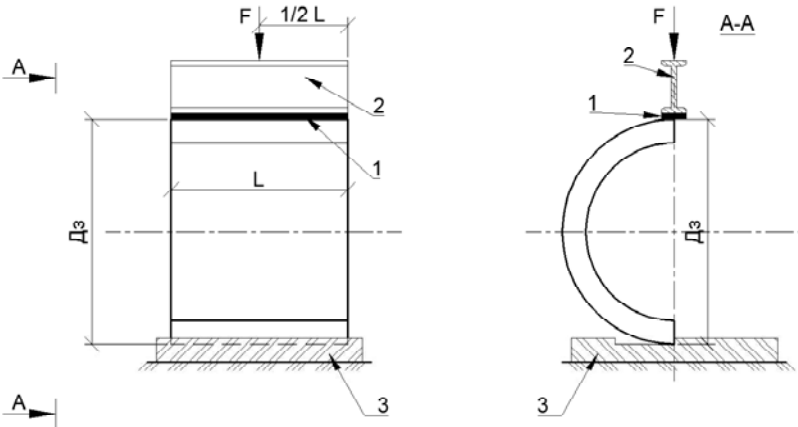


Рис. 5. Схема випробування лотка: 1 – гумовий килим; 2 – металева траверса; 3 – нерухома основа

Випробування дослідних зразків (лотків) виконується шляхом прикладання за допомогою металевої траверси зосередженого навантаження. Нижня частина елемента спирається на жорстку основу. Для цього буде використано гідравлічний прес ПСУ - 125. Для підвищення точності вимірювання діючого зусилля використовується зразковий протестований динамометр, що є можливість виміряти навантаження з точністю 50 Н. У цьому випадку навантаження створюється гідравлічним домкратом.

Під час проведення дослідження лотків навантаження прикладається ступенями через 8 – 12 % від руйнівного зусилля, що визначено теоретичним методом під час проведення розрахунку. Після кожного ступеня навантаження робиться витримка на протязі 5 – 7 хв, під час якої знімаються

покази індикаторів, показники тензометричного комплексу та вимірюється ширина розкриття тріщин ($a_{\text{ср}}$).

Для вимірювання переміщень стінок дослідних зразків, що виникатимуть внаслідок відповідного завантаження лотка, використовується індикатор годинникового типу МИГ-1, з ціною поділки 0,01 мм, який прикріплюється за допомогою металевих тримачів, що в свою чергу приклеюватимуться до поверхні бетону епоксидним клеєм. Це забезпечує їх надійне положення відносно зразка в процесі вимірювання переміщень стінок лотка у діаметральному вертикальному напрямку.

Ширина розкриття тріщин визначатиметься за допомогою мікроскопа МПБ-3 з ціною поділки 0,02 мм. З метою покращення візуального спостереження за виникненням та розвитком тріщин, перед дослідженнями, на внутрішню та зовнішню поверхні лотка наноситься вапняний розчин.

Для вимірювання деформацій бетону та СФБ на внутрішні та зовнішні поверхні лотка наклеюються тензорезистори з робочою базою 50 мм, покази яких фіксуються тензометричним вимірювальним комплексом.

Випробування кубиків на центральний стиск проводяться на гідравлічному пресі ПСУ-125 з ціною поділки 2 кН згідно з ГОСТ 28840 – 90. Дослідження призм на центральний розтяг проводяться на розривній машині УММ-50, що відповідає вимогам ГОСТ 7855 – 84.

Завершується експеримент переходом від емпіричного вивчення до обробки отриманих даних, логічних узагальнень, аналізу і теоретичної інтерпретації отриманого фактичного матеріалу.

Висновки. Розроблена програма та методика експериментальних досліджень лотків із СФБ дозволять в повній мірі вирішити поставлені задачі та нададуть можливість отримати нові результати про особливості їх роботи при одноразових і повторних навантаженнях та гарантуватимуть необхідну достовірність отриманих результатів. Застосоване устаткування та вимірювальні прилади забезпечать відповідні виміри НДС бетонних, залізобетонних і СФБ елементів з необхідною точністю.

1. Андрійчук О.В. Виготовлення придорожніх лотків водовідводу із сталевібробетону / О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Наукові нотатки: міжвузівський збірник наукових праць. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – Випуск 45, С. 7 – 14.
2. Талантова К.В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталевібробетона: Дис... докт. техн. наук: 05.23.01 – Барнаул., 2009. – 476 с.
3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович // Монография. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 642 с.
4. Дворкін Л.Й. Розв'язання будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.В. Житковський // Навчальний посібник. – Рівне: РВЦ НУВГП, 2011. – 174 с.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
6. ДСТУ 3760:2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ). Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.