

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ ПРИДОРОЖНІХ  
ЛОТКІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ**

**Андрійчук О.В., к.т.н., ст. викладач, Ясюк І.М., аспірант**

*Луцький національний технічний університет*

Одним із перспективних конструкційних матеріалів, що дає змогу компенсувати такі недоліки бетону, як низьку міцність під час розтягання та високу крихкість, є дисперсно-армовані бетони – фібробетони. Наявність армуючих волокон у бетоні за умови їх оптимального вмісту підвищує щільність, однорідність та зменшує ризики тріщиноутворення. А також дає змогу прогнозувати вищу витривалість і довговічність цементного бетону, підвищує його морозостійкість на 12 %, водонепроникність на 50–100 %, ударостійкість на 30 %, стирання зменшується на 40–44 % [1].

Збільшення міцності бетонної суміші на стиск, на розтяг при згині, на розтяг при розколі, на осьовий розтяг залежать від збільшення величини діаметра та об'ємного вмісту волокон. При збільшенні діаметра й об'ємного вмісту волокон збільшується й жорсткість бетонної суміші, що негативно впливає на її легкоукладальність. Оптимальний діаметр 0,8 – 1,0 мм і об'ємний вміст волокон 2 – 3 % об'єму бетонної суміші [1].

Крім оптимальної кількості армуючих волокон, важливим є сам процес приготування фібробетонної суміші з рівномірним їх розподіленням по всьому об'єму матриці, що досягається за рахунок використання добавок та новітніх методів приготування сумішей.

У зарубіжній практиці більш широко застосовується фібробетон з використанням різноманітних асортиментів фібри: сталеві, скляної, вуглецевої, поліпропіленової й ін. [2].

Із зарубіжного досвіду варто виділити застосування фібробетонів у дорожньому та тунельному будівництві, будівництві морських платформ і гребель, а також підлог промислових будинків, терміналів і т.д. Найцікавішими прикладами застосування сталеві фібробетону є: конструкції тунелів метрополітену в Осло (Норвегія); кріплення гідротехнічного тунелю діаметром 2,34 м у Карсінгтоні (Великобританія); тунель Хеггура й газопровідні тунелі під дном Північного моря (Норвегія); залізничні тунелі в Канаді; колекторні тунелі метрополітену в

Гамбурзі (ФРН) і Ліоні (Франція); автодорожній тунель довжиною 6,63 км на глибині до 1 км «Энасан-2» (Японія). В Австралії однієї з основних областей застосування сталевібробетону є виготовлення дорожніх покриттів з інтенсивним рухом транспорту. У Німеччині понад 25% індустриальних підлог зведене зі сталевібробетону [3].

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 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.

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.

Варто зазначити, що перспективна інтенсивність руху на дорогах І-а та І-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 придорожнього водовідведення, а також і всі дорожньо-транспортні споруди є бетон або залізобетон. Під впливом погоднокліматичних факторів та вібраційних коливань від руху транспортних засобів на їх поверхні в процесі експлуатації відбувається руйнування, що призводить до утворення тріщин, вибоїв, 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 тріщино-стійкості, морозостійкості, міц-

ності, 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 волокон (фібр). Введення в матрицю бетону фібр 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, дисперсно-армовані бетони є ще порівняно новими та не повністю вивченими матеріалами. Варто відмітити, що актуальність використання СФБ для виготовлення придорожніх лотків водовідведення описано в статті [4]. В ході цього дослідження встановлено, що сталеві фібробетон, 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 матеріалоемність 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 "Алтайський ГТУ ім. І.І. Ползунова". Детально з результатами проведення досліджень СФБ лотків та отриманими висновками можна ознайомитися в [5]. Також результати дослідження П-подібних лотків із СФБ висвітлені в [3].

Тому, можна стверджувати, що проведення експериментальних досліджень лотків систем придорожнього водовідведення виготовлених із дисперсним армуванням 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.

Конструктивних рішень лотків систем водовідведення з різними поперечними січеннями розроблена значна кількість. В якості прототипу (макету) під час розроблення лотка зі сталеві фібробетону 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. 1).

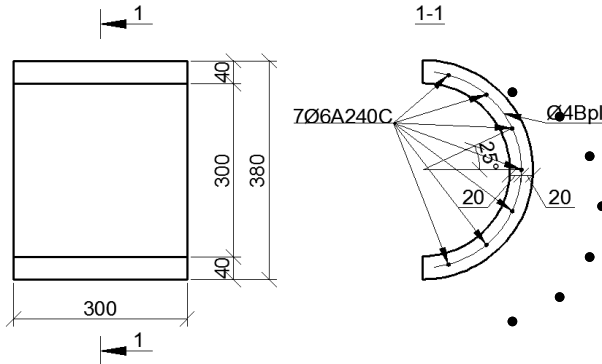


Рис. 1. Конструктивна схема дослідних лотків, виготовлених із звичайного залізобетону з типовим армуванням

За матрицю для виготовлення сталевібробетону застосовано бетон із дрібнозернистим заповненням класу С12/15. Для отримання дисперсно-армованого бетону в якості дисперсного армування дослідних лотків застосовується хвиляста сталева фібра діаметром 0,8 мм та довжиною 50 мм.

Для бетонування лотків типу "напівтруба" сконструйовано та виготовлено спеціальну легко-розбірну опалубку з металу (рис. 2). 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.

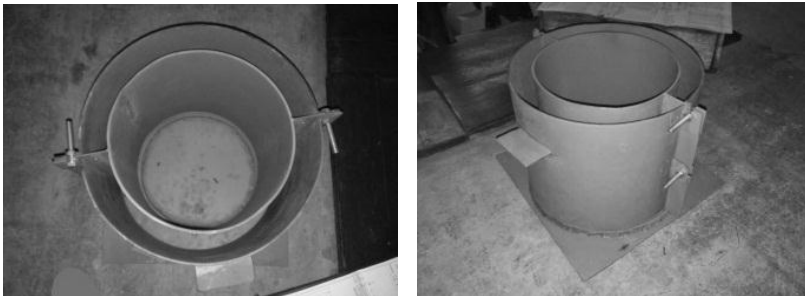


Рис. 2. Загальний вигляд опалубки для виготовлення дослідних лотків

З метою вивчення особливостей міцнісних та деформаційних характеристик, напружено-деформівного стану дисперсно-армованих лотків, а також роботи цих елементів при короткочасних та повторних

навантаженнях прийнято за доцільне проведення трьох серій експериментальних досліджень.

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.

У процесі випробувань зразків першої серії порівнюється між собою робота бетонних, залізобетонних, сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних 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-ій і II-ій 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-ій серії проводиться повний двофакторний планований експеримент згідно матриці, що представлена в табл. 1.

Фактор  $x_1$  – відсоток армування ( $\mu$ ). Фактор  $x_2$  – рівень завантаження, ( $\eta$ ).

Застосування планованого експерименту зменшить кількість необхідних моделей лотків у III-ій 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 [6].

Таблиця 1

## Матриця повного факторного експерименту плану $2^2$

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

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 [7]).

Армування лотків із звичайного та комбінованого залізобетону здійснюється згідно вимог ДБН В.2.6-98:2009 [7]. Каркас складається з поперечної дрютяної арматури  $\varnothing 4 \text{ВрІ}$  (робоча арматура) та стержнів класу арматурного прокату А240С  $\varnothing 6$  (конструктивна арматура) згідно ДСТУ 3760:2006 [8].

Випробування дослідних зразків (лотків) виконується шляхом прикладання за допомогою металевої траверси зосередженого навантаження. Дослідження лотків проводяться згідно схеми, що подана на рис. 3. 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 тензOMET-ричного комплексу та вимірюється ширина розкриття тріщин ( $a_{\text{срс}}$ ).

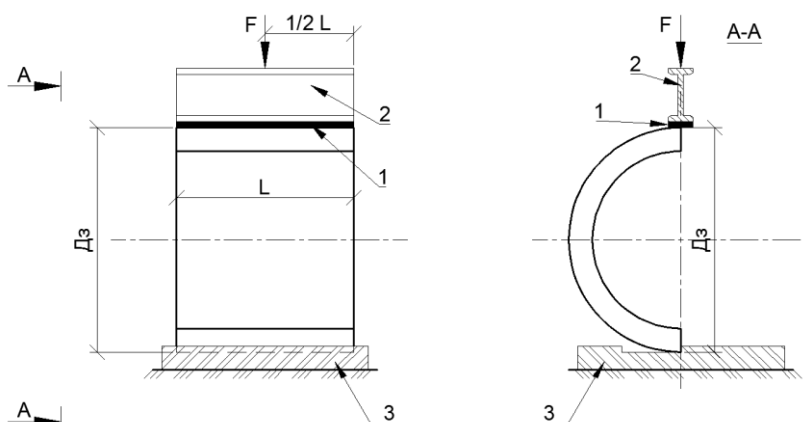


Рис. 3. Схема випробування лотка: 1 – гумовий килим;  
2 – металева траверса; 3 – нерухома основа

Для вимірювання переміщень стінок дослідних зразків, що виникають внаслідок відповідного завантаження лотка, використовується індикатор годинникового типу МИГ-1, з ціною поділки 0,01 мм. Ширина розкриття тріщин визначатиметься за допомогою мікроскопа МПБ-3 з ціною поділки 0,02 мм. Для вимірювання деформацій бетону та СФБ на внутрішні та зовнішні поверхні лотка наклеюються тензорезистори з робочою базою 50 мм, покази яких фіксуються тензOMETричним вимірювальним комплексом.

### **Висновок**

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.

## Summary

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.

## *Література*

1. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Дисперсно-армований бетон – надійний та ефективний матеріал для транспортного будівництва (продовження) // Транспортное строительство Украины. – 2007. – № 5. – С. 16 – 20.
2. Schmidt M. 50 Jahre Entwicklung bei Zement, Zusatzmittel und Beton. Schriftenreihe Baustoffe. I M. Schmidt Centrum Baustoffe und Material-prufund. – 2003. – H.2. – P. 189 – 198.
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. 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.
5. Талантова К.В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона: Дис... докт. техн. наук: 05.23.01 – Барнаул., 2009. – 476 с.
6. 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.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
8. ДСТУ 3760:2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ). Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.