

УДК 624.01

д.т.н., проф. Бабич Є.М., Національний університет
водного господарства та природокористування, м. Рівне
к.т.н. Андрійчук О.В., Ужегов С.О., Ясюк І.М., Шмігель Р.В.,
Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ ДЛЯ ДОРОЖНЬО- ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Дорожньо-транспортні споруди є важливими конструктивними елементами автомобільних доріг. Основний матеріал із якого їх виготовляють – залізобетон. Під час експлуатації вони сприймають ударні, динамічні та температурні впливи. Через це використання залізобетону та умови його роботи в конструкціях ставить завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, морозостійкості та інших характеристик, які в свою чергу, залежать від міцності матеріалу на розтяг. Одним із рішень в цьому напрямку є застосування бетону з додаванням армуючих елементів у вигляді коротких сталевих відрізків (фібр).

У статті проаналізовано доцільність застосування сталевібробетону для виготовлення дорожньо-транспортних споруд, а також його переваги в порівнянні з класичним армуванням.

Ключові слова: *дорожньо-транспортні споруди, сталевібробетон, сталева фібра, труба, лоток, тьюбінг, підпірна стінка.*

Автомобільна дорога – частина території призначена для руху транспортних засобів і пішоходів, з усіма розташованими на ній спорудами (мостами, шляхопроводами, естакадами, надземними і підземними пішохідними переходами) та засобами організації дорожнього руху, і обмежена по ширині зовнішнім краєм тротуарів чи краєм смуги відводу, яка забезпечує внутрішньодержавні та міжнародні перевезення пасажирів і вантажів, з'єднує населені пункти та окремі об'єкти і є складовою частиною єдиної транспортної системи держави.

Можна вважати, що автомобільна дорога – це складний інженерно-технічний комплекс, для функціонування якого мають бути створені відповідні умови і до складу якого входять не лише земляне полотно та дорожній одяг, а й значна кількість дорожньо-транспортних споруд (ДТС), що мають задане функціональне призначення. В Україні мережа автомобільних шляхів загального користування включає 169,5 тис. км доріг, а про існуючу кількість влаштованих ДТС на цих дорогах інформацію знайти дуже важко.

Дорожньо-транспортні споруди можуть бути як типовими, та і індивідуального проектування, залежно від реальних ґрунтово-геологічних, гідрологічних та топографічних даних, з врахуванням особливості місцевості та інфраструктури. До них можна віднести: водовідвідні лотки та труби, мости та віадуки, тунелі, підпірні стінки, галереї, балкони, тюрбінги, прямокутні труби для перегону худоби та ін. (рис. 1 і рис. 2). Вони є дуже відповідальним 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 ДТС є: рух транспорту, що створює значні динамічні та вібраційні коливання; власна вага конструкцій та агресивний вплив зовнішнього середовища.



Рис. 1. Лотки для придорожного водовідведення

Варто відмітити, що перспективна інтенсивність руху на дорогах I-а та I-б категорії приймається в розрахунках 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 ДТС.



Рис. 2. Дорожньо-транспортні споруди:
1, 2 – підпірні стінки вздовж автомобільної дороги; 3 – кільцеві труби;
4 – двовічкова труба в земляному насипі;
5 – прямокутна труба для перегону худоби; 6 – тюрінги

Сьогодні основними матеріалами з якого виготовляють дорожньо-транспортні споруди є бетон та залізобетон. Під впливом транспортних засобів та погодно-кліматичних факторів на поверхні дорожньо-транспортних споруд в процесі експлуатації відбувається руйнування, що призводить до утворення тріщин, вибоїн, вилущування бетону, руйнування захисного шару бетону та ін.

Більшість дорожньо-транспортних споруд відноситься до конструктивних елементів, що сприймають ударні, динамічні та температурні впливи, в яких напрямок головних розтягуючих зусиль та утворення пластичних шарнірів є невідомим або може мінятися під час експлуатації. Через це використання залізобетону та умови його роботи в конструкціях ставить завдання пошуку способів підвищення тріщиностійкості, ударної міцності, морозостійкості та інших характеристик, які в свою чергу, залежать від міцності матеріалу на розтяг.

Одним із рішень в цьому напрямку є застосування в конструкціях дорожньо-транспортних споруд бетону з додаванням армуючих елементів у вигляді коротких сталевих відрізків. 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, сталеві фібробетон є ще порівняно новим та не повністю вивченим матеріалом. Так, практично не досліджений вплив повторних навантажень на дорожньо-транспортні споруди із СФБ. Повторні змінні навантаження не тільки кількісно, але й якісно змінюють напружено-деформований стан конструкцій. У процесі повторних навантажень виникають суттєві зміни фізико-механічних властивостей, що безпосередньо відображаються на міцності, деформативності та процесі тріщиноутворення.

Сталеві фібробетон – це композитний матеріал, що складається з матриці – дрібнозернистого бетону та хаотично розташованих у ній коротких відрізків сталевих дротів довжиною 30...50 мм – фібр. Як матрицю найчастіше застосовують бетон із дрібнозернистою структурою густиною не менше 1800 кг/м³ на основі цементного в'язучого, який відрізняється від звичайних бетонів відсутністю крупного заповнювача, для більшої однорідності його структури.

При виготовленні дорожньо-транспортних споруд із сталеві фібробетонних конструкцій слід використовувати бетони таких класів і марок:

- клас бетону за міцністю на стиск:

C16/20; C20/25; C25/30; C30/35; C32/40; C35/45; C40/50; C45/55; C50/60;

- марки бетону за морозостійкістю та водонепроникністю встановлюється в залежності від умов роботи конструкції згідно таблиці 4.1(а) ДБН В.2.6-98.

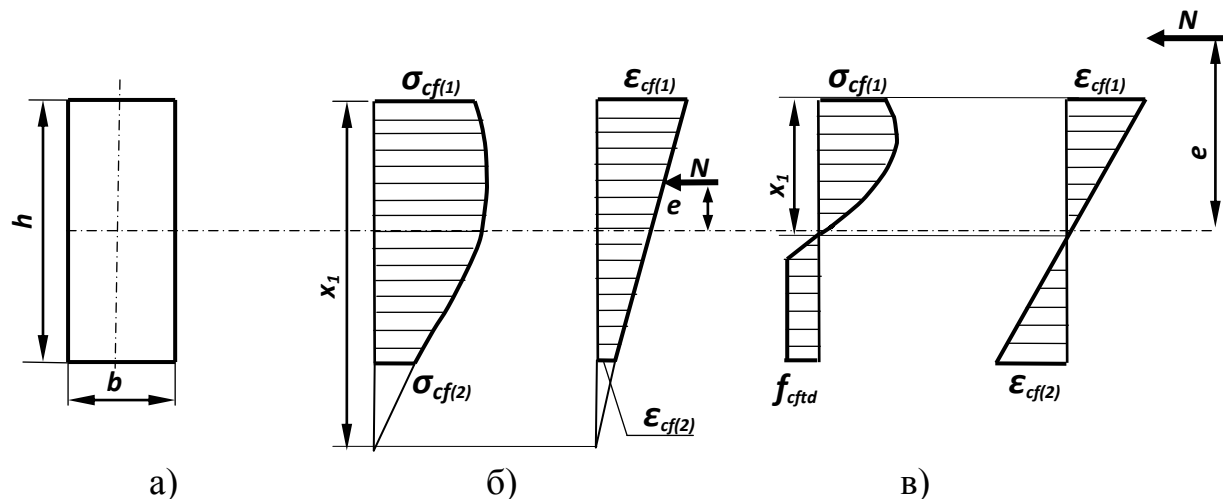
Для замоноличування стиків елементів збірних СФБ конструкцій необхідно приймати бетон класу і марок не менше ніж бетон елементів, що об'єднуються.

Мінімальний опір розтягу фібри f_{fk} для сталеві фібробетону повинен бути не менше 800 МПа, а модуль пружності всіх видів фібри E_f приймається

190000 МПа. Довжина фібри повинна перевищувати щонайменше в чотири рази найбільший розмір крупного заповнювача.

Коефіцієнт фібрового армування за об'ємом рекомендується приймати у межах $0,005 < \mu_{fv} < 0,018$ для конструкцій, що працюють на розтяг, згин і стиск. Допускається при економічному обґрунтуванні приймати $\mu_{fv} > 0,018$ для конструкцій, що підлягають ударним, стираючим, температурним впливам, або при пред'явленні до конструкцій підвищених вимог до тріщиностійкості, але не більше 0,02.

Значне різноманіття конструктивних елементів в дорожньо-транспортних спорудах мають прямокутний переріз. Для оцінки напружено-деформованого стану такого розрахункового перерізу використовується деформаційний метод (рис. 3).



а - поперечний переріз елемента;
б - епюра напружень та деформацій при 1-й формі рівноваги;
в - епюра напружень та деформацій при 2-й формі рівноваги;
Рис. 3. Напружено - деформований стан прямокутного перерізу сталевібробетонного елемента

В Україні розроблено "Настанову з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій" [1], яка розповсюджується на проектування сталевібробетонних конструкцій будівель і споруд різного призначення, котрі виконуються з важкого та дрібнозернистого бетону, армованого сталевими волокнами. Стандарт встановлює вимоги до проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій без попередньо напруженої арматури, котрі експлуатуються при статичному навантаженні у середовищі з неагресивним ступенем впливу і в кліматичних умовах України. Але нормами не передбачено розроблення каталогу номенклатури композиційних матеріалів, не передбачається виготовлення конструкцій і виробів з використанням інших

видів волокон (базальтових, скляних, синтетичних) для будівель і споруд промислового, цивільного та житлового призначення.

Під час проектування ДТС зусилля, напруження і деформації від зовнішніх навантажень та впливів оточуючого середовища в СФБ та комбіновано армованих конструкціях та в системах споруд слід визначати за загальними правилами будівельної механіки з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності роботи конструкції у системі. А в статично невизначених конструкціях необхідно враховувати перерозподіл зусиль в елементах системи внаслідок нелінійних деформацій СФБ і арматури та процесів тріщиноутворення за граничним станом, що розглядається.

Надійність ДТС із СФБ при проектуванні забезпечується розрахунками шляхом застосуванням розрахункових значень навантажень і впливів, розрахункових значень характеристик матеріалів, що визначаються за допомогою часткових коефіцієнтів надійності. Характеристичні значення навантажень і впливів, коефіцієнтів сполучень, коефіцієнтів надійності за навантаженнями приймають згідно з ДБН В.1.2-2, а коефіцієнти відповідальності відповідно до ДБН В.2.2-14.

Розрахунок СФБ конструкцій слід виконувати на базі розрахункових ситуацій, які характеризуються розрахунковою схемою (моделлю) конструкції та відповідними до ситуації сполучення навантажень і впливів, включаючи вплив навколишнього середовища і з використанням діаграм стану (деформування) СФБ, БФБ (*базальто-*) і арматури, які встановлюють зв'язок між нормальними напруженнями та відносними поздовжніми деформаціями у разі короткочасного або тривалого одноразового осьового стиску (розтягу).

Розрахунок елементів СФБ конструкцій слід виконувати на дію згинальних моментів, поздовжніх і поперечних сил, крутних моментів, а також на вплив місцевого навантаження (місцевий стиск, продавлювання).

Варто відмітити, що в Луцькому НТУ були проведені дослідження безнапірних дисперсно армованих труб кільцевого перерізу на дію одноразових і повторних навантажень різних рівнів (рис. 3). Повторні малоциклові навантаження задавалися різних експлуатаційних рівнів – 0,5, 0,7 і 0,85 від руйнівних. Під час дослідження елементів кільцевого перерізу (зменшеної стендової моделі безнапірної труби) зі сталевібробетону встановлено, що сталевібробетонні елементи з коефіцієнтом армування $\mu = 1,5 \%$ мають таку ж міцність, як і елементи із звичайного залізобетону за типовим армуванням та майже в два рази більшу тріщиностійкість [2, 3].

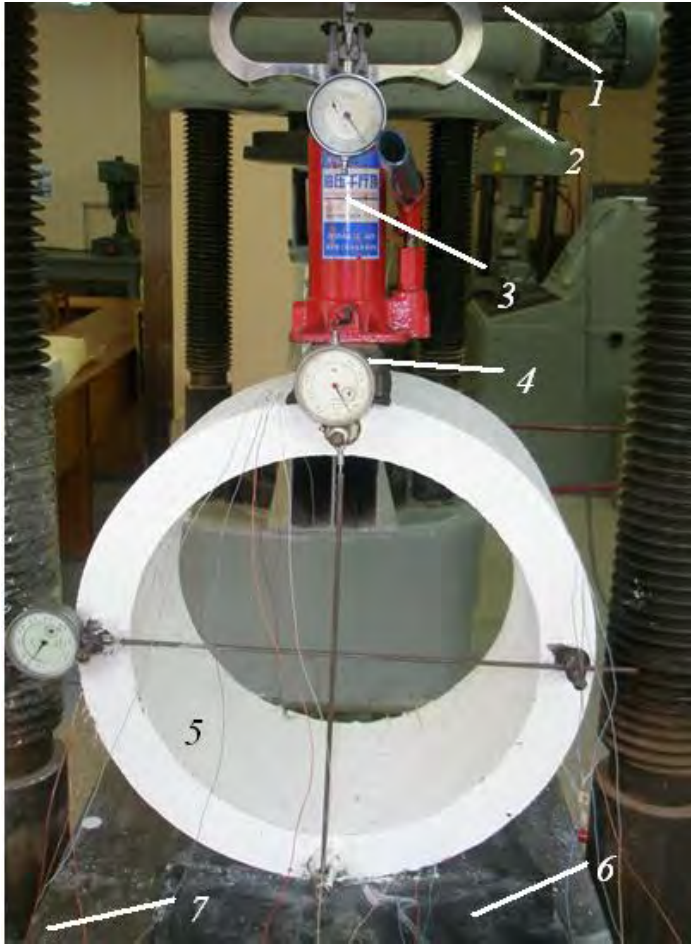


Рис. 3. Загальний вигляд випробування елементів кільцевого перерізу:

- 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 сьогодні дослідження лотків з СФБ від дії одноразових навантажень проведені в Росії – в "Алтайском ГТУ". Схема стендових випробувань, що була використана під час проведення досліджень лотків подана на рис. 4.

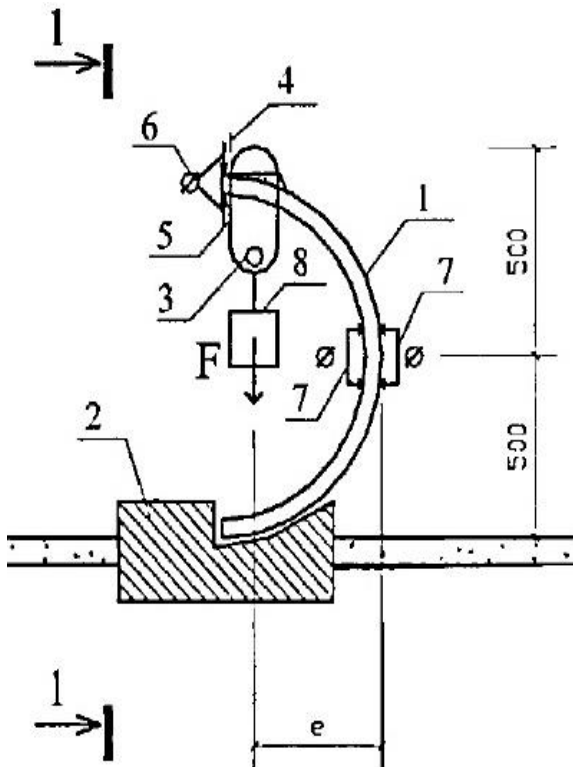


Рис. 4. Схема дослідження сталевібробетонного лотка:

- 1 – сталевібробетонний елемент лотка;
- 2 – жорстка основа; 3 – нижня траверса;
- 4 – верхня траверса; 5 – тяги;
- 6 – прогиномір Максимова;
- 7 – тензометри Гугенбергера; 8 – вантажі

Лотки досліджуються на спеціальному стенді в положенні "на боці" з вертикальною передачею навантаження. Така схема забезпечує виникнення максимального згинального моменту в січенні 1-1, що відповідає роботі лотків водовідведення в натурних умовах. Навантаження прикладається до зовнішньої грані елемента лотка у вигляді рівномірно розподіленої смуги за допомогою систем траверс і тяг (рис. 4).

Дослідження сталевібробетонних придорожніх лотків для водовідведення проводилися лише при дії одноразових навантажень. Актуальність та доцільність проведення досліджень під дією повторних навантажень обґрунтована в [4]. Такі дослідження лотків із сталевібробетону в даний момент проводяться в Луцькому НТУ. Дослідження проводяться з застосуванням планованого експерименту – для зменшення різноманітності параметрів зразків, та з застосуванням комп'ютерного моделювання (ПК Ліра).

Варто відмітити, що в даний час на базі Луцького НТУ проводяться дослідження тюбінгів виготовлених із сталевібробетону на дію одноразових і повторних навантажень різних рівнів.

Для забезпечення вимог експлуатаційної придатності сталевібробетонних дорожньо-транспортних споруд та їх конструкції повинні мати такі початкові властивості, щоб з належним ступенем надійності для різних розрахункових впливів не утворювалися або надмірно розкривалися тріщини, а також не виникали надмірні переміщення, коливання та інші пошкодження, які ускладнюють нормальну експлуатацію. А для забезпечення вимог довговічності дорожньо-транспортних споруд із сталевібробетону та їх конструкції повинні мати такі початкові властивості, за яких у встановлений термін експлуатації задовольняє вимогам з безпеки та експлуатаційної придатності з урахуванням впливу на геометричні характеристики конструкцій та механічні властивості матеріалів різних розрахункових впливів (тривала дія навантаження, несприятливі кліматичні, технологічні, впливи зміни температури та вологості, змінне заморожування та відтавання).

Висновки. 1. Сталевібробетон, як ефективний матеріал доцільно використовувати для виготовлення дорожньо-транспортних споруд в цілому, або їх окремих конструктивних елементів зокрема.

2. Застосування сталевібробетонних конструкцій взамін типових залізобетонних дозволяє (після детального обґрунтування) знизити матеріалоємність конструкції і як наслідок їх вагу, знизити затрати праці під час їхнього виготовлення, та значно підвищити довговічність конструкції.

3. З огляду на вищенаведене – проведення стендових дослідження дорожньо-транспортних споруд та їх конструктивних елементів із сталевібробетону на різного роду навантаження є актуальною задачею.

Список використаних джерел

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій. – К., Мінрегіонбуд України, 2009. – 46 с.
2. Андрійчук О.В. Сталевібробетонні безнапірні труби / О.В. Андрійчук, Є.М. Бабич // Монографія. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. – 150 с.
3. Бабич Є.М. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталевібробетону / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Рекомендації. – Луцьк: Луцький НТУ, 2012. – 32 с.
4. Андрійчук О.В. Виготовлення придорожніх лотків водовідводу із сталевібробетону / Андрійчук О.В., Ясюк І.М. // Наукові нотатки: Збірник наукових праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – Випуск 45. – С. 7 – 14.

АННОТАЦИЯ

Дорожно-транспортные сооружения являются важными конструктивными элементами автомобильных дорог. Основной материал из которого их изготавливают – железобетон. Во время эксплуатации они воспринимают ударные, динамические и температурные влияния. Через это использование железобетона и условия его работы в конструкциях ставит задание поиска способов повышения трещиноустойчивости, ударной прочности, морозоустойчивости и других характеристик, которые в свою очередь, зависят от прочности материала на растяжение.

В статье описана целесообразность применения сталефибробетона для изготовления дорожно-транспортных сооружений, а также его преимущества по сравнению с классическим армированием.

Ключевые слова: дорожно-транспортное сооружение, сталефибро-бетон, стальная фибра, труба, лоток, тьюбинг, подпорная стенка.

ANNOTATION

In the article described expediency application of steel-fibre-concrete for making of road-transportation building, and also his advantage as compared to classic reenforcement.

Keywords: Road-transportation building, steel-fibre-concrete, steel fibre, pipe, chamfer, tubing, retaining wall