

ЗАЛІЗОБЕТОННІ ЗГИНАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ З ЧАСТКОВИМ ПОШАРОВИМ ДИСПЕРСНИМ АРМУВАННЯМ В НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОМУ СТАНІ.

REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS WITH PARTIAL LAYER-BY-LAYER DISPERSED REINFORCEMENT IN A STRESS-STRAIN STATE.

Бабич Є. М., д.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0003-1746-9991,
Мельничук С. М. аспірант, ORCID ID: 0009-0005-6631-3936 (Національний університет водного господарства та природокористування).

Babych Y. M., Dr., Professor. ORCID ID: 0000-0003-1746-9991,
Melnychuk S. M. post-graduate student, ORCID ID: 0009-0005-6631-3936 (National University of Water Management and Nature Management).

В даній статті описуються задачі експериментальних досліджень напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів з комбінованим дисперсним армуванням за дії постійних навантажень та вимоги щодо проектування, розрахунку та виготовлення дисперсноармованих фібробетонних конструкцій, а також описуються види фібр з їх основними характеристиками.

In construction with increasing levels of loads, as well as with constantly growing requirements for resource and energy saving when using high-capacity concrete in structures, it is advisable to use fibre concrete as one of the most promising types. Fibre reinforcement is an effective method for improving the physical and mechanical characteristics of concrete. The addition of fibres to the concrete mix improves the elastic-plastic behaviour at different stages, reduces shrinkage and improves durability.

It is technologically feasible to manufacture reinforced concrete structures from the same concrete composition, and therefore concrete layers with different strengths can be obtained by adding fibre to the concrete, in which case the height of the section of reinforced concrete elements is partially dispersed reinforcement, which can significantly increase the strength characteristics and significantly improve the serviceability of structures.

The aim of the study is to investigate the actual operation (stress-strain state) of bending reinforced concrete structures with a layer-by-layer arrangement of partial dispersed reinforcement in the cross-section under the action of constant loads, to establish their comparative indicators of serviceability and to develop methods for calculating their strength, deformation and crack

resistance based on the deformation calculation methodology that intersects with European standards.

The research objectives include the development of a scheme of bending elements with partial layer-by-layer dispersed reinforcement; experimental studies of the operation of experimental samples of bending elements with and without partial layer-by-layer dispersed reinforcement; development of a method for determining the parameters of dispersed partial reinforcement of the tensile zone of beams in order to increase the resistance to cracking; theoretical studies of the stress-strain state of reinforced concrete elements with partial layer-by-layer dispersed reinforcement using

Ключові слова: напружено-деформований стан, згинальні елементи, однопролітні балки, дисперсне армування, фібра, відсоток армування stress-deformed state, bending elements, single-span beams, fiber concrete, steel fiber concrete, dispersed reinforcement, fiber.

Вступ. В сучасному будівництві з збільшенням навантажень на конструкції, а також з постійно зростаючими вимогами до ресурсо- та енергозбереження з використанням в будівництві конструкцій з бетонів класу C25/30 – C40/50, досягається за допомогою використання фібро бетонів, як одного з перспективних видів бетонів. Фіброве (дисперсне) армування являється ефективним методом для покращення фізико-механічних характеристик бетону. Додавання фібр (волокон) у бетонну суміш може призвести до покращення пружно-пластичної роботи на різних стадіях, зменшити усадку та покращити довговічність. Для армування бетону використовуються такі основні типи фібр (рис.1.): фібра з базальтових волокон, поліпропіленова фібра, скловолокниста фібра та сталева фібра різної форми.

Використання фібр у бетоні має низку переваг, а саме: зменшення утворення тріщин, завдяки збільшенню цілісності матеріалу; покращення міцності на стиск, розтяг та згин; зменшення пластичної усадки, особливо на ранніх стадіях дозрівання бетону; підвищується морозостійкість та інші властивості.

Вибір типу фібр залежить від конкретних вимог та області застосування. Суттєвий вплив на властивості сталевібробетону здійснюють геометричні характеристики фібри, спосіб додавання її до бетонної суміші, а також рівень зчеплення її з бетоном. Найбільш поширенішими є такі види фібр, що виготовленні з низьковуглецевої сталі [1]: хвилеподібна, анкерна зі загнутими кінцями, анкерна зі сплющеними кінцями, анкерна із загнутими кінцями та прямолінійна фібра з анкерами у вигляді конусів (рис.1). В таблиці 1 [2] наведені основні характеристики цих видів сталевих фібр.

На теперішній час в Україні найбільш широко застосовуються в основному перші два види сталевих фібр, але найбільш доступною є фібра

другого виду - анкерна фібра з загнутими кінцями. Тому в нашому випадку, для подальших експериментальних досліджень, основним видом для дисперсного армування будемо використовувати сталюю фібра другого типу.

Таблиця 1.

Види фібри: основні характеристики
(згідно EN 14889-1, ТУ У В.2.7-28.7-00191046-015:2007)

Основні показники	Види фібри				
	Хвиляста 60/1	Анкерна із загнутими кінцями 60/1	Анкерна зі сплющеними кінцями 50/1	Анкерна із загнутими кінцями 33/0,85/0,75	Прямолінійна фібра з анкерами у вигляді конусів 54/1
Довжина (L), мм	60,0 ± 6,0	60,0 ± 6,0	50,0 ± 5,0	33,0 ± 3,0	54,0 ± 4,0
Діаметр (d), мм	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,9*	1,0 ± 0,03
$\Delta=L/d$	60	60	60	60	60
Тимчасовий опір розриву, МПа не менше	1335	1335	1335	1260	1100
Довжина загнутого/сплющеного кінця, мм	-	5,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,0 ± 0,1
Висота хвилі/загнутого кінця, мм	4,5 ± 0,1	5,0 ± 0,1	-	5,0 ± 0,1	-
Середня густина сталі (ρ), г/см ³	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86

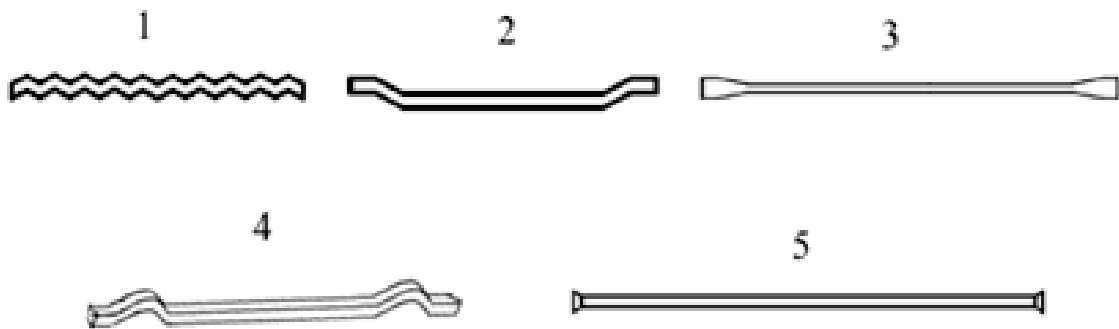


Рис 1. Основні види сталевої фібри з низьковуглецевої сталі:

- 1) хвилеподібна; 2) анкерна із загнутими кінцями; 3) анкерна зі сплющеними кінцями;
- 4) анкерна з загнутими кінцями; 5) прямолінійна фібра з анкерами у вигляді конусів.

Аналіз останніх досліджень: Зі збільшенням терміну служби характеристики залізобетонних конструкцій, що використовуються в інженерних спорудах, мають тенденцію поступово погіршуватися. Під час нормальної експлуатації конструкцій, внутрішні пошкодження накопичуються та з часом з'являються тріщини, особливо це стосується залізобетонних конструкцій що працюють на згин (балки, плити, ригелі та ін.). Поява тріщин може призвести до пошкодження конструкції та зниження несучої здатності, що неминуче призведе до зниження довговічності бетону. Якщо тріщини виявлені на ранній стадії розвитку, їх можна відремонтувати та зміцнити якомога раніше, що значно скорочує подальші витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Для підвищення в'язкості бетонної суміші у зарубіжних країнах давно використовують фіброве армування бетонних та залізобетонних конструкцій. У якості армуючого матеріалу останнім часом все більше почали застосовувати дисперсне армування волокнами, матеріал виготовлення яких досить різноманітний: метал, скловолокно, базальт, поліпропілен та ін.

За останні десятиріччя було проведено досить багато важливих теоретично-експериментальних досліджень характеристик сталевібробетону на предмет міцності та тріщиностійкості. Були зроблені перші теоретичні розрахунки для прогнозування властивостей сталевібробетону, була привернута увага вчених з усього світу до нових досліджень сталевібробетону. До відомих українських науковців, які займалися вивченням дисперсного армування сталевими волокнами та зробили значний внесок у його провадження, можна віднести: Є. М. Бабича [3, 4], Л. Й. Дворкіна [5, 6], О. Д. Журавський [7, 8], В. В. Білозіра [9], та інших.

Особливістю роботи згинальних залізобетонних елементів є те, що під навантаженням в їхніх поперечних і похилих перерізах виникають як стискаючі, так і розтягуючі напруження. У випадку роботи згинальних елементів, що працюють з зміною знаку – попередньо стиснуті зони будуть зазнавати розтягу, а розтягнуті зони – стиску. Це явище спостерігається у попередньо-напружуваних та після напружених конструкціях, асиметрія циклу напруження якого, вимагає додаткового вивчення. Відомо, що бетон добре чинить опір стискаючим напруженням, а на розтяг його міцність в 10 ... 15 разів менша, ніж на стиск. В зв'язку з цим розглядаються пропозиції, які передбачають з метою раціонального використання механічних характеристик матеріалів застосування пошарового розташування по висоті поперечного перерізу бетонів з різною міцністю. Такі бетонні шари можуть влаштовуватися залежно від призначення і умов роботи конструкцій: в одних випадках доцільно використовувати бетон більшої міцності в стиснутій зоні, в інших – в розтягнутій зоні (наприклад, за необхідності мати конструкції з підвищеною тріщиностійкістю). Це призведе до отримання рівномірного перерізу, та співвідношення міцностей на стиск та розтяг буде

оптимальнішим, крім того це покращить характеристики передаточної міцності бетону для роботи у попередньо-напружених конструкціях.

Технологічно доцільно виготовляти залізобетонні конструкції з одного складу бетону, а тому бетонні шари з різною міцністю можна отримувати шляхом додавання до бетону одного із шарів фібри, в цьому випадку по висоті перерізу залізобетонні елементи виявляються з частковим дисперсним армуванням, яке дозволяє істотно підвищити міцнісні характеристики та суттєво покращити показники експлуатаційної придатності конструкцій. Що стосується досліджень однопролітних балок за дії постійних навантажень армованих дисперсним армуванням в розтягнутій зоні, то такі дослідження практично не проводилися або були недостатньо дослідженими. Дослідження з напружено-деформованого стану однопролітних балок в більшості випадків проводилися без попереднього напруження арматури, а дослідження з попереднім напруженням арматури з пошаровим дисперсним армуванням волокнами фібри практично не проводилися, що говорить про актуальність досліджень в цьому напрямку.

При проектуванні промислових, громадських будівель та споруд ставляться вимоги [11] щодо, забезпечення несучої здатності, придатності до експлуатації, надійності та здатності зберігати експлуатаційні якості протягом усього строку служби. Фібробетонні конструкції, що експлуатуються в кліматичних умовах України за неагресивного ступеню впливу, виготовляються з важкого або дрібнозернистого бетону, що армуються сталевими або базальтовими волокнами в сполученні з стержневою арматурою дисперсноармованих та комбіновано-армованих конструкцій з попереднім напруженням стрижневої арматури та без нього, при дії статичних навантажень повинні дотримуватися вимог та рекомендацій [10] при проектуванні, розрахунку та виготовленні дисперсноармованих фібробетонних конструкцій.

Для дисперсноармованих фібробетонних конструкцій, що працюють на стиск, згин та розтяг, коефіцієнт фібрового армування μ_{fv} [10] рекомендується приймати в межах від 0,5% до 1,8% від об'єму. Для конструкцій, до яких ставляться вимоги щодо підвищеної тріщиностійкості, температурним, стираючим та ударним впливам, допускається більший відсоток армування ніж 1,8%, але не більше 2%.

Мета роботи: полягає в тому, щоб дослідити дійсну роботу (напружено-деформований стан) згинальних залізобетонних конструкцій з пошаровим розташуванням по поперечному перерізу часткового дисперсного армування при дії постійних навантажень, встановити їхні порівняльні показники експлуатаційної придатності та розробити методи розрахунку їхньої міцності, деформаційності (прогинів) та тріщиностійкості нормальних перерізів на основі сучасної деформаційної методики розрахунку, яка перетинається з сучасними європейськими стандартами.

Об'єкт досліджень: залізобетонні згинальні елементи з частковим

пошаровим дисперсним армуванням, бетонні кубики з дисперсним армуванням сталевую фіброю, бетонні призми армовані сталевую фіброю на стиск та розтяг, напружено-деформований стан попередньо-напружених залізобетонних згинальних елементів з частковим дисперсним армуванням.

Основні задачі досліджень: розробити та обґрунтувати конструктивні схеми згинальних елементів з частковим пошаровим дисперсним армуванням; провезти експериментальні дослідження роботи експериментальних зразків згинальних елементів з частковим пошаровим дисперсним армуванням та без нього; розробити метод визначення параметрів дисперсного часткового армування розтягнутої зони балок з метою підвищення опору утворення тріщин, використовуючи числову математично плановану модель експерименту; здійснити теоретичні дослідження напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів з частковим пошаровим дисперсним армуванням з використанням деформаційної методики розрахунку; виконати верифікацію експериментальних та теоретичних результатів; розробити рекомендації з проектування згинальних залізобетонних елементів з частковим пошаровим дисперсним армуванням при дії статичних навантажень напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів.

1. Кияшко В. Т. Фібра для армування залізобетонних будівельних виробів//Журнал цивільного будівництва.-2012.-№8-с.61-66.

Kyashko V. T. Fibra dlia armuvannia zalizobetonnykh budivelnykh vyrobiv//Zhurnal tsyvilnoho budivnytstva.-2012.-№8-s.61-66.

2. BS EN 14889-1:2006-Фібра для бетонів. Стальна фібра. Позначення, специфікація, конфігурація.

BS EN 14889-1:2006-Fibra dlia betoniv. Stalna fibra. Poznachennia, spetsyfikatsiia, konfihuratsiia.

3. Бабич Є. М., Дробошинець С. Я. Експериментальні дослідження роботи сталевіброзалізобетонних балок при повторних навантаженнях. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. 2003. Вип. 28. С. 44-52.

Babych Y. M., Droboshynets S. Ya. Eksperymentalni doslidzhennia roboty stalefibrozalizobetonnykh balok pry povtornykh navantazhenniakh. Hidromelioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo. 2003. Vyp. 28. S. 44-52.

4. Бабич Є. М., Дробошинець С. Я. Розрахунок сталевібробетонних і сталевіброзалізобетонних елементів: рекомендації. Рівне: НУВГП, 2006. 40 с.

Babych Y. M., Droboshynets S. Ya. Rozrakhunok stalefibrobetonnykh i stalefibrozalizobetonnykh elementiv: rekomendatsii. Rivne: NUVHP, 2006. 40

5. Дворкін Л. Й., Ковальчук Т. В. Оптимізація складу високоміцного сталевібробетону. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2016. Вип. 32. С 45-54.

Dvorkin L. Y., Kovalchuk T. V. Optymizatsiia skladu vysokomitsnoho stalefibrobetonu. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. 2016. Vyp. 32. S 45-54

6. Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Житковський В. В. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 331с.

Dvorkin L. Y., Babych Ye. M., Zhytkovskyi V. V. Vysokomitsni shvydkotverdnuchi betony ta fibrobetony: monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2017. 331s.

7. Журавський О. Д., Горобець А. М. Моделювання роботи попередньо-напружених сталевібробетонних плит при поперечному згині. Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 61. С. 209-215.

Zhuravskyi O. D., Horobets A. M. Modeliuvannia roboty poperedno-napruzhenykh stalefibrobetonnykh plyt pry poperechnomu zghyni. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2016. Vyp. 61. S. 209-215.

8. Журавський О. Д., Горобець А. М. Дослідження роботи попередньо-напружених сталевібробетонних плит при поперечному згині. Містобудування та територіальне планування. 2015. Вип. 58. С. 194-204.

Zhuravskyi O. D., Horobets A. M. Doslidzhennia roboty poperedno-napruzhenykh stalefibrobetonnykh plyt pry poperechnomu zghyni. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2015. Vyp. 58. S. 194-204.

9. Білозір В. В. Деформаційний метод розрахунку згинальних сталевібробетонних елементів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія і практика будівництва. 2012. №742. С. 18-24.

Bilozir V. V. Deformatsiinyi metod rozrakhunku zghynalnykh stalefibrobetonnykh elementiv. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnikha»: teoriia i praktyka budivnytstva. 2012. №742. S. 18-24.

10. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016 "Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону". – Київ.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 32 с.

DSTU-N B V.2.6-218:2016 "Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia konstruksii z dyspersnoarmovanoho betonu". – Kyiv.: DP «UkrNDNTs», 2017. – 32 s.

11. ДБН В.2.6-98:2009 "Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення". – Київ.: Мінрегіонбуд України. 2011. – 71 с.

DBN V.2.6-98:2009 "Betonna ta zalizobetonna konstruksii. Osnovni polozhennia". – Kyiv.: Minrehionbud Ukrainy. 2011. – 71 s.