



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-5>

УДК 691.3



ШЕЙНІЧ Л.О.

Доктор техн. наук, професор, завідувач відділу, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: schein@ndibk.gov.ua тел.: +38 (044) 248-88-73 ORCID ID: 0000-0002-7684-9495



МИКОЛАЄЦЬ М.Г.

Канд. технічних наук, в.о завідуючого відділу, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: mmikolaets@gmail.com, тел.: +38 (096) 224-78-79 ORCID ID: 0000-0002-8823-3401



ПЕТРИКОВА Є.М.

Канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів КНУБА м. Київ, Україна, старший науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: petrikovakisi@gmail.com тел.: +38 (098) 358-72-30



МУДРИК М.С.

Провідний технолог лабораторії, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: mudrik@ndibk.gov.ua тел.: +38 (098) 345-06-47

ВПЛИВ ФІБРИ НА ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ

Одним з найрозповсюдженіших матеріалів, що застосовують майже в усіх галузях будівництва, є бетон. Однак, поряд з перевагами бетон характеризується низькою ударною міцністю, низьким опором на розрив і утворенням усадкових тріщин при твердненні. Для підвищення міцності бетону, запобігання появі тріщин, покращення інших характеристик бетону (стійкості до дії вібрації і ударних навантажень тощо) використовують введення до складу бетонної суміші різних видів фібри.

В результаті проведених досліджень встановлено, що пластична міцність цементного тіста з фіброю збільшилась в декілька разів у порівнянні зі складом, що фібру не містить. В той же час, збільшення міцності бетону на розтяг при згині з використанням крупного заповнювача і фібри різних видів незначне. Незначний позитивний вплив фібри в бетонах на крупних заповнювачах порівняно з цементним тістом можна пояснити нівелюванням цього ефек-

ту за рахунок використання крупного заповнювача, розмір зерен якого можна порівняти з довжиною волокна фібри. Тому, доцільно використовувати з вмістом фібри бетони на дрібному заповнювачі.

Встановлено, що введення фібри до складу бетону значно зменшує його усадку. Усадка бетону з фіброю, порівняно з бетоном без фібри, в ранні терміни тверднення у 3-4 рази менша. Усадка бетонних контрольних зразків складає 0,23 мм/м, а для бетону з фіброю 0,075 мм/м. Тобто, введення до складу бетону базальтової фібри зменшує деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення та, відповідно, підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його висока тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.



Таким чином:

- Підкреслено, що одним з найбільш дешевих видів фібри є базальтова, яку отримують з розплавлених гірських порід типу базальт. Базальтові волокна не виділяють токсичних речовин в повітряному середовищі і стічних водах, в присутності інших речовин не утворюють токсичних сполук. Базальтова фібра має високі фізико-механічні характеристики, низький коефіцієнт теплопровідності.
- Показано, що ефективність введення фібри залежить від складу бетону. Для досягнення максимального «міцнісного» ефекту від введення фібри найбільш доцільно використовувати дрібнозернисті бетони.
- Відомо, що «тонка» базальтова фібра з часом «розчиняється» в тверднучому бетоні. Свої властивості в бетоні вона зберігає при діаметрі волокна більше 80 мкм.
- Встановлено, що дисперсне армування базальтовими волокнами зменшує утворення усадкових тріщин в бетоні, що містить крупний заповнювач, ще на стадії, коли бетон перебуває в пластичному стані.
- Введення в склад бетону базальтової фібри, зменшуючи деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення, відповідно, підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонунання конструкцій в напрямі розмірів захваток.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: базальтова фібра, бетон, довговічність, тверднення, тріщиностійкість, усадка

INFLUENCE OF FIBER ON INCREASE OF CRACK RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT

One of the most widely used materials in almost all fields of construction is concrete. However, alongside its advantages, concrete is characterized by low impact strength, low tensile strength, and the formation of shrinkage cracks during hardening. To increase the strength of concrete, prevent the appearance of cracks, and improve other characteristics of concrete (resistance to vibration and impact loads, etc.), various types of fibers are introduced into the concrete mix.

As a result of the conducted research, it was found that the plastic strength of cement paste with fiber increased several times compared to the composition without fiber. At the same time, the increase in tensile strength of concrete under bending with the use of coarse aggregate and various types of fiber is not

significant. The slight positive effect of fiber in concretes with coarse aggregates compared to cement paste can be explained by the neutralization of this effect due to the use of coarse aggregate, the grain size of which can be compared with the fiber length. Therefore, it is advisable to use fiber-containing concretes with fine aggregate.

It was found that the introduction of fiber into the concrete mix significantly reduces its shrinkage. The shrinkage of fiber-containing concrete, compared to concrete without fiber, in the early stages of hardening is 3-4 times less. The shrinkage of the concrete control samples is 0.23 mm/m, while for concrete with fiber, it is 0.075 mm/m. Thus, the introduction of basalt fiber into the concrete mix, reducing the shrinkage deformations of concrete in the early stages of hardening, respectively increases the crack resistance of reinforced concrete structures. Over time, this fine basalt fiber dissolves, but the concrete gains strength, compensating for the absence of the dissolved fiber. Thus, its high crack resistance is maintained. The obtained results form the basis for optimizing technological solutions for concreting structures in terms of section sizes.

It is shown that one of the cheapest types of fiber is basalt fiber, obtained from molten rocks like basalt. Basalt fibers do not release toxic substances into the air and wastewater and do not form toxic compounds in the presence of other substances. Basalt fiber has high physical and mechanical characteristics and a low thermal conductivity coefficient.

It is shown that the effectiveness of fiber introduction depends on the concrete composition. To achieve the maximum "strength" effect from fiber introduction, it is most advisable to use fine-grained concretes.

It is known that "fine" basalt fiber dissolves over time in hardening concrete. It retains its properties in concrete when the fiber diameter is more than 80 microns.

It was found that dispersed reinforcement with basalt fibers reduces the formation of shrinkage cracks in concrete containing coarse aggregate, even at the stage when the concrete is in a plastic state.

The introduction of basalt fiber into the concrete mix, reducing the shrinkage deformations of concrete in the early stages of hardening, respectively increases the crack resistance of reinforced concrete structures. Over time, this fine basalt fiber dissolves, but the concrete gains strength, compensating for the absence of the dissolved fiber. Thus, its crack resistance is maintained. The obtained results form the basis for optimizing technological solutions for concreting structures in terms of section sizes.

KEYWORDS: basalt fiber, concrete, durability, hardening, crack resistance, shrinkage

ВСТУП

Одним з найрозповсюдженіших матеріалів, що застосовують майже в усіх галузях будівництва, є бетон. Однак, поряд з перевагами, бетон харак-



теризуються низькою ударною міцністю, низьким опором на розрив і утворенням усадкових тріщин при твердненні. Для підвищення міцності бетону, запобігання появі тріщин, покращення інших характеристик бетону (стійкості до дії вібрації і ударних навантажень тощо) використовують введення до складу бетонної суміші різних видів фібри.

Фібробетон – композитний матеріал, який містить гідралічне в'язуче, дрібний, іноді і великий, заповнювач, дисперсні волокна із різних матеріалів та геометрії. Зміцнення волокнами ґрунтується на припущенні, що бетонна матриця передає їм прикладене навантаження за допомогою дотичних сил, які діють за поверхнею розділу. У разі, якщо модуль пружності волокна більший, ніж у цементної матриці, вважається, що основну частину прикладених навантажень сприймають волокна, а загальна міцність композиційного матеріалу пропорційна їх об'ємному вмісту [1].

Фібробетон не можна назвати матеріалом нового покоління, тому що теоретично бетон, армований сталевими волокнами, названий армованим бетоном, був представлений у 1963 році J. Romualdi та G. Watson, а потім введений у виробництво. У 1970-х роках почали використовувати сталеві волокна різних форм. У 20-му столітті також були розроблені методи армування бетону поліпропіленовими та скляними волокнами [1]. У 1980-х роках проводилися експерименти з природними волокнами, такими як сізаль, целюлоза, бамбук, сучасний вуглець, арамід та інші полімерні волокна.

Дисперсно-армований бетон (фібробетон) вигідно відрізняється від традиційного бетону, маючи в кілька разів вищі, у порівнянні з ним, міцність на розтяг, ударну міцність, тріщиностійкість, морозостійкість, водонепроникність, жаростійкість і пожежостійкість. За показником роботи руйнування фібробетон може в 15-20 разів перевершувати звичайний бетон [2-4]. Це забезпечує його високу техніко-економічну ефективність при застосуванні в будівельних конструкціях [5].

Матеріали, які використовують для виробництва армуючих волокон, класифікують на:

- металеві: відрізки дроту, рубана листового холоднопрокатна сталь, а також металеві волокна з геометричними характеристиками, що поліпшують зачеплення фібри в матриці;
- мінеральні: скляні, базальтові, що одержують шляхом витягування розплавленої сировини крізь фільтри плавильних печей;
- синтетичні: поліетилен, поліпропілен, акрил, полівінілацетат, поліамід, арамід, поліестер, вуглець [1, 6].

На сьогоднішній день у достатній мірі освоєні фібробетони на основі сталевих і скляних волокон, менше вивчені – на синтетичних та базальтових.

Армування бетонів з використанням базальтової фібри є перспективним, особливо враховуючи те, що поклади базальту знаходяться в багатьох країнах

світу, в тому числі значні – в Україні. Україна має у своєму розпорядженні практично необмежені ресурси гірських порід, таких як базальт, габро, діабаз, порфірит та інші, що представляють цінність не тільки як облицювальні матеріали, але і як сировина для виробництва базальтових волокон з унікальними властивостями [7].

Базальтова фібра є одним з найміцніших мінеральних волокон. Дослідження показують, що якість бетону значно поліпшується навіть при невеликих добавках базальтового волокна. Важливим є те, що застосування такого матеріалу дозволяє, без будь-якого зменшення міцності, знизити масу конструкцій у цілому.

Базальтові волокна нетоксичні, мають високі фізико-механічні характеристики, низький коефіцієнт теплопровідності, більш високу температуру застосування [8, 9]. Отже, базальтова фібра володіє рядом істотних переваг, починаючи від ціни й високих фізико-технічних характеристик і закінчуючи тим, що її важко підробити. Базальтові волокна можуть забезпечувати бетону тривимірну міцність, вони легко розподіляються при перемішуванні і отриманні бетонної суміші, не утворюючи згустків, навіть при додаванні в уже приготовлену бетонну суміш (на відміну від поліпропіленової фібри). Структура бетону із застосуванням базальтових волокон близька до структури армоцементу із арматурою зі сталевих сіток. Однак, базальтобетон характеризується більш високою міцністю і тріщиностійкістю, тому що базальт забезпечує більш високий ступінь дисперсності армування цементного каменю і має більшу міцність, ніж різні види сталевих сіток. Крім того, фібробетон на основі базальту може сприймати великі пружні деформації, тому що базальтове волокно при розтязі не має пластичних деформацій, а за пружністю перевершує сталь. Значне збільшення пружності і міцності цементного каменю відбувається за рахунок усунення базальтовими волокнами впливу концентрації напружень [1].

Основною причиною, що стримує використання більшості скляних (мінеральних) волокон в якості армуючого матеріалу для бетонних матриць, є їх недостатня стійкість до дії середовища гідратуючого портландцементу. Найбільш активним і агресивним, по відношенню до базальтових волокон, компонентом рідкої фази портландцементів, що гідратують, є $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Використання в'язучих, які не виділяють в процесі гідратації $\text{Ca}(\text{OH})_2$, наприклад, глиноземистого і гіпсоглиноземистого цементів, суттєво уповільнюють процеси руйнування скляних волокон, але не зупиняють ці процеси повністю [1, 7, 8]. В результаті взаємодії базальтового волокна з розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ відбувається розпушування поверхнього шару волокна, його «розчинення».

В Україні, також у Європі та США, загальноприйнятий факт, що базальтова фібра, яка є «скля-



ною фазою» каменю, перебуваючи в лужному середовищі бетону кородує, оскільки сам базальт хімічно нестійкий у лужному середовищі, тобто з часом спостерігається розчинення фібри в цементних системах [1, 7, 8, 21].

Як відомо, матеріал волокна (базальтове) під дією агресивного цементного середовища реагує з отриманням новоутворень [1, 7, 21]. Тому фібра, виготовлена з базальтового ровінгу, з часом втрачає міцність і іноді повністю розчиняється в цементному камені бетону [7]. В той же час, на межі волокна з матрицею виникає шар новоутворень у вигляді цементної кірки. Ця кірка, у вигляді оболонки, може запобігати подальшому хімічному руйнуванню базальтового волокна і зберігати його здатність сприймати напруження. Одночасно відбувається ріст міцності бетону, який може компенсувати фізико-механічні втрати міцності фібри. Необхідно відмітити, що реакції на поверхні «волокно-цементна матриця» можуть і покращувати властивості системи внаслідок підвищення адгезії матриці до волокна, монолітності системи та покращення умов сумісності навантаження волокон в композиті. Значний обсяг досліджень базальтофібробетону (БФБ) було проведено в ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», на основі яких було розроблено Інструкцію з технології виготовлення будівельних конструкцій із дисперсно армованого БФБ [10]. Згідно з [10], для тривалого збереження базальтових волокон в лужному середовищі бетонів класів С16/20 (В20) – С40/50 (В50) мінімальним розміром базальтових волокон є 80 мкм.

Отже, при отриманні фібробетонів з використанням базальтового волокна необхідно враховувати їх геометричні розміри.

Необхідно відмітити, що використанні фібри, виготовленої з базальтового ровінгу з замаслювачем, адгезія з цементною масою значно падає, що знижує ефективність її застосування.

На основі проведеного огляду висунуто припущення, що введення до складу бетонної суміші базальтової фібри повинно ефективно впливати на тріщиностійкість бетону (зниження його деформацій усадки) в ранні терміни тверднення, коли фібра ще не розчинилася. В цьому випадку базальтова фібра повинна буде сприймати напруження усадки бетону в ранні терміни його тверднення і, відповідно, спрощувати технологію виконання робіт.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Бетонна суміш, яка являє собою багатокомпонентну систему, ще до початку тужавлення і твердіння в'язучого утворює просторові структури, яким притаманна пластична міцність і які не змінюють свого стану без застосування енергетичного впливу зовні. При цьому основну структуроутворюючу роль в бетонній суміші виконує цементне тісто – тонкодисперсна система, яка складається з твердих частинок в'язучого, спеціально введених тонкомолотих

добавок, пилоподібних глинистих домішок в заповнювачах і води.

Для дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетонів та розчинів було проведено дослідження впливу фібри на пластичну міцність цементного тіста.

Дослідження проводилися з використанням базальтової фібри РБР – 18-Т10/24(1%), яка виробляється ТОВ «ТЕХНОБАЗАЛТ-ІНВЕСТ» і відповідає вимогам ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009. Фібра характеризується діаметром елементарних ниток – 18 ± 2 мкм, довжина рубаного волокна – 24 мм; масова частка вологи – 1%; частка речовин, що виділяються при проколюванні, – 0,03% [20].

Кінетика зростання міцності структури твердіючого пластичнов'язкого тіла (пластична міцність) характеризується граничною напругою зсуву дисперсної системи, що визначається за методом занурення конуса в масу, що твердіє [22].

Цемент зачиняли необхідною кількістю води (при цьому В/Ц всіх систем становив 0,28). Витрата фібри при проведенні досліджень становила 3 кг/м³ цементного тіста.

Після перемішування отримане цементне тісто (з фіброю та без) поміщали у металеву чашу з $d = 35-45$ мм і $A = 8-10$ мм; поверхню тесту в чаші загладжували ножом. Експеримент проводили згідно з методикою [22].

Граничне напруження зсуву (пластичну міцність) підраховували за формулою (1):

$$R_m = k \frac{P}{h^2}, \text{ кгс / см}^2 \quad (1)$$

де k – константа приладу, яка залежить від кута конуса при вершині (для кута конуса при вершині – 600, $k = 0,21$); P – навантаження, що діє на конус, кгс; h – глибина занурення конуса, см.

Результати досліджень наведені в табл. 1.

Результати досліджень демонструють, що пластична міцність цементного тіста з фіброю збільшилась в декілька разів у порівнянні зі складом, що фібру не містить. Аналіз отриманих результатів настановлює на те, що, якщо пластична міцність системи, що містить базальтову фібру, зростає, то повинна збільшуватись і міцність бетону з базальтовою фіброю.

Були проведені дослідження щодо впливу фібри на розтяг при згині бетону, а саме експериментально встановлено залежності міцності бетону на розтяг при згині в залежності від виду та кількості фібри в бетоні.

При проведенні досліджень за основу був прийнятий бетон класу С20/25, морозостійкістю F200, водонепроникністю W6, рухливість бетонної суміші – Р4.

Склади бетонної суміші, що використовували для визначення впливу виду і кількості фібри, наведено в табл. 2 і 3. Введення фібри та її кількість приймали відповідно до рекомендацій виробника.



Таблиця 1 – Вплив фібри на пластичну міцність цементного розчину

Показник	Терміни випробування, хв.		
	5	20	60
Цементне тісто без фібри			
Глибина занурення конуса масою 54 г, мм	9	4	2
Пластична міцність (R_m)	0,014	0,07	0,284
1/R	71,4	14,28	3,52
Цементне тісто з фіброю			
Глибина занурення конуса масою 54 г, мм	4	2	0
Пластична міцність (R_m)	0,07	0,011	-
1/R	14,28	90,9	
Глибина занурення конуса масою 94 г, мм		6	2
Пластична міцність (R_m)		0,055	0,49
1/R		18,18	2,04

Таблиця 2 – Рецептури бетонної суміші для визначення впливу виду і кількості фібри

Компоненти	Вміст, кг/м ³
Цемент М400	360
Пісок	724
Щебінь (фр. 5-20 мм)	1110
Вода	180
Добавка (SikaPlast 520)	згідно рекомендацій виробника [16]
Фібра	Табл. 3

Таблиця 3 – Види фібри і її вміст

Вид фібри	Вміст бетону, кг/м ³
Базальтова	1,0
	2,0
	3,0
Поліпропіленова	0,6
	0,9
Металева	25

Визначення міцності розтягу при згині бетону здійснювали на зразках-призмах розміром 100×100×400 мм, що формувались з різним вмістом за кількістю фібри. Зразки виготовляли серіями, кількість зразків-призм в кожній серії – 3 шт., в тому числі контрольних – 3 шт. Зразки зберігались протягом 28 діб в нормальних умовах (при температурі

(20±5)°C та відносній вологості повітря (60±5)%).

Результати випробувань зразків-призм наведені в табл. 4.

Аналіз отриманих результатів дозволив підтвердити, що введення до складу бетону різних видів фібри (базальтової, поліпропіленової та металевої) сприяє підвищенню міцності на розтяг при згині зразків-призм по відношенню до контрольних зразків, де фібра відсутня; при цьому найбільшою міцністю характеризуються зразки бетону з додаванням металевої фібри. Порівняння отриманих міцнісних результатів (міцність на розтяг при згині) демонструє, що введення базальтової фібри дозволяє отримати бетони з більшою міцністю у порівнянні з бетонами, в які вводили поліпропіленову фібру. Однак значення міцнісних показників всіх зразків, незалежно від виду фібри, дуже близькі. Незначний позитивний вплив фібри в бетонах на крупних заповнювачах порівняно з цементним тістом можна пояснити нівелюванням цього ефекту за рахунок використання крупного заповнювача, розмір зерен якого можна порівняти з довжиною волокна фібри. Тому доцільно використовувати з вмістом фібри бетони на дрібному заповнювачі.

При цьому вироби, армовані поліпропіленовими волокнами, як відомо з [23], характеризуються значними деформаціями. Основними недоліками бетонів з металевими волокнами є катодний ефект і понижена стійкість до агресивного середовища.

Для подальших досліджень впливу фібри на властивості бетонів розглядали вплив базальтової фібри в ранні терміни тверднення бетону.

Визначення деформацій бетонів в ранні терміни тверднення здійснювали за ДСТУ Б В.2.7-216 [12]. Суть методу полягає у визначенні деформацій усадки

шляхом їх вимірювання у напрямку поздовжньої осі ненавантаженого зразка. Але цей метод не передбачає визначення деформацій бетону з моменту кінця тужавлення бетону до отримання ним певної міцності, необхідної для розпалублення зразків і їх оснащення вимірювальним обладнанням. Тому було вирішено проводити дослідження



Таблиця 4 – Вплив фібри на міцність на розтяг при згині

Зразки бетону	Вміст фібри, кг/м ³	Міцність на розтяг при згині в віці 28 діб, МПа
з базальтовою фіброю	1,0	2,95
	2,0	2,88
	3,0	2,92
з поліпропіленовою фіброю	0,6	2,86
	0,9	2,85
з металевою фіброю	25	3,03
контрольні (без фібри)	–	2,84

деформацій бетону в ранні терміни тверднення за допомогою реперів, які вставлялись в бетонну суміш одразу після формування зразків.

Визначення деформації усадки/розширення бетонів здійснювали на зразках-призмах розміром 100 мм х 100 мм х 400 мм. Зразки виготовляли серіями, при цьому кожна серія містить 2 зразка-призми. Виготовлення зразків виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-214 [13]. Витримування зразків при дослідженні їх деформацій усадки здійснювали в приміщенні при температурі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $(60 \pm 5)\%$.

Віброущільнення бетону у формі здійснювали на лабораторному вібромайданчику у відповідності до вимог ДСТУ Б В.2.7-114 [14].

Під час формування зразків на верхній грані, в тілі бетону, встановлювали 2 репери (рис. 1), які розміщували по повздовжній вісі зразка та на відстані (100 ± 1) мм від торців форми – база приладу 200 мм.

Початковий розмір між реперами (рис. 1) визначали одразу після кінця тузавлення, для цього форму розкривали, але зразок залишався на її днищі.

Для зняття відліків зміни відстані між реперами використано вимірювач деформацій «SDM 50/500» (компаратор). Прилад оснащений індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Межа вимірів змін деформацій – до 10 мм. Частота вимірювань – 1 раз на добу.

Комплект штанг на приладі дає змогу проводити вимірювання на базі 50, 100, 200, 300, 400 та 500 мм (рис. 2). Закріплена на базі змінна ніжка слугує для фіксації вибраної довжини. Обидві ніжки знизу мають кулеподібні поверхні, що контактують з конічними заглибленнями (гніздами) на спостережних реперах (рис. 1).

В голівці репера передбачено конічне заглиблення (гніздо), в яке встановлюється ніжка приладу (компаратора) з кульковим наконечником. Конусне заглиблення марки та кульковий наконечник ніжки приладу забезпечують надійний контакт поверхонь цих елементів, в зв'язку з чим досягається зняття показань приладу з мінімальними помилками.

Величина деформацій визначається із різниці

нульового і наступних за ним в часі відліків. При кожному вимірі бази береться відлік на контрольній рейці. Результатом є різниця цих двох значень.

Температурні коливання контрольної рейки до уваги не беруться, так як вона виготовлена з інварного сплаву і має незначний коефіцієнт температурного розширення ($\approx 0,000002$).

Все обладнання, що використовували при проведенні досліджень, відкаліброване відповідними органами та/або метрологічними служ-

бами.

В якості компонентів бетонної суміші використовували наступні сировинні матеріали:

- сульфатостійкий шлакопортландцемент ССШПЦ 400-Д60, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-85, з вмістом C_3A у клінкері не більше 8 % та вмістом доменного гранульованого шлаку понад 20 % і не більше 60 % [15]. Застосування такого цементу повинно забезпечувати низьке тепловиділення і отримання бетону з пониженою екзотермією, який придатний для застосування для масивних залізобетонних конструкцій;
- пісок кварцовий митий з Мк-1,4, що відповідає ДСТУ Б В.2.7-32 [17];
- щебінь гранітний фракції 5-10 мм, згідно з

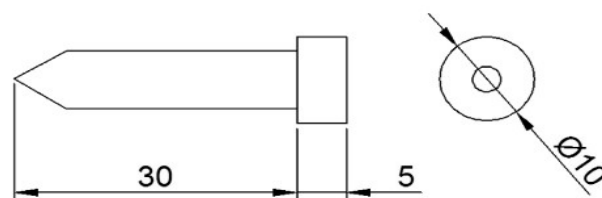


Рисунок 1 – Репер (розміри в мм)

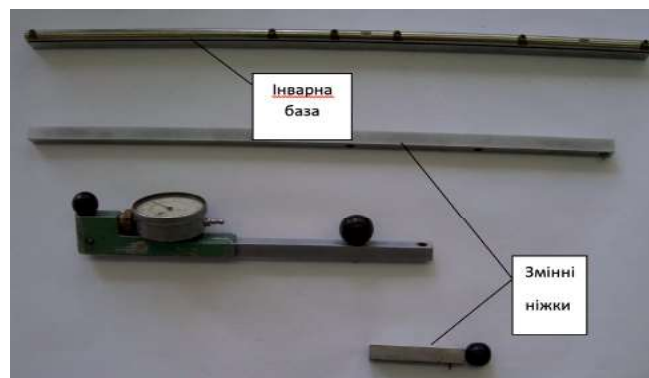


Рисунок 2 – Прилад «SDM 50/500» в комплекті із змінними ніжками та інварною базою



ДСТУ Б.В.2.7-75 [18];

- щебінь гранітний фракції 10-20 мм, згідно з ДСТУ Б.В.2.7-75 [18];
- вода для замішування бетонної суміші, згідно з ДСТУ Б.В.2.7-273 [19].
- фібра базальтова РБР-18-Т10/24 (1 %), згідно з ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002 [20].

Склади бетонної суміші, що використовували для визначення впливу фібри, наведено в табл. 5. В якості контрольного складу бетону був прийнятий склад бетону без вмісту базальтової фібри.

Результати визначення деформацій бетонів з додаванням фібри і без неї наведені на рис. 3.

Таблиця 5 – Рецептури бетонної суміші

Компоненти	Склади бетонної суміші	
	досліджуваний склад	контрольний склад
	вміст, кг/м ³	
Цемент	470	470
Пісок	650	650
Щебінь (фр. 5-10 мм)	200	200
Щебінь (фр. 10-20 мм)	950	950
Вода	155	155
Добавка (SikaPlast-3050W R Plus)	3,5	3,5
Базальтова фібра (ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009)	3,0	–



Рисунок 3 – Деформації усадки бетонів з і без фібри

Аналізуючи дані рис. 3 можна відмітити, що введення фібри до складу бетону значно зменшує його усадку. Усадка бетону з фіброю порівняно з бетоном без фібри в ранні терміни тверднення в 3-4 рази менша. При врахуванні бази вимірювань усадки бетонних зразків (20 см) отримуємо усадку для контрольних зразків 0,23 мм/м, а для бетону з фіброю - 0,075 мм/м. Тобто введення в склад бетону базальтової фібри, зменшуючи деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення, відповідно підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З

часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.

ВИСНОВКИ

Одним з найбільш дешевих видів фібри є базальтова, яку отримують з розплавлених гірських порід типу базальт. Базальтові волокна не виділяють токсичних речовин в повітряному середовищі і стічних водах, в присутності інших речовин не утворюють токсичних сполук. Базальтова фібра має високі фізико-механічні характеристики, низький коефіцієнт теплопровідності.

Ефективність введення фібри залежить від складу бетону. Для досягнення максимального «міцнісного» ефекту від введення фібри найбільш доцільно використовувати дрібнозернисті бетони (бетони, що не містять крупного заповнювача). При введенні фібри в систему, яка містить крупний заповнювач, підвищення міцнісних показників досить невелике.

Відомо, що «тонка» базальтова фібра з часом «розчиняється» в тверднучому бетоні. Свої властивості в бетоні вона зберігає при діаметрі волокна більше 80 мкм.

Встановлено, що дисперсне армування базальтовими волокнами зменшує утворення усадкових тріщин в бетоні, що містить крупний заповнювач, ще на стадії, коли бетон перебуває в пластичному стані.

Введення до складу бетону базальтової фібри, зменшуючи деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення, відповідно підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З часом ця тонка базальтова фібра

розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. Москва: Стройиздат, 1989. 176 с.



2. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. Москва: Стройиздат, 1962. 96 с.
3. Волков Ю.С. Применение сверхпрочных бетонов в строительстве. Бетон и железобетон. 1994. №7. С. 27 – 31.
4. Демьянова В.С., Ильина И.Е., Куликов И.М. Повышение эксплуатационных свойств бетона комплексными добавками. Композиционные строительные материалы. Теория и практика. Международная научно-практическая конференция, 2005. С. 38 – 43.
5. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Шах Мд. Тахер. Интенсивная технология бетонов. Москва: Стройиздат, 1989. 264 с.
6. Satheskumar K., Karthik P. Comparative study on self-compacting concrete using steel fibre and basalt fibre. International Journal of Current Innovation Research. 2016. № 2 (5). P. 375-379.
7. Новицкий А.Г. Химическая стойкость базальтовых волокон для армирования бетонов. Хімічна промисловість України. 2003. № 3. С. 16-19.
8. Коваль П.М., Юрковська Н.Р. Базальтові волокна в будівництві. Навчальний посібник. Київ: Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, 2016. 206 с.
9. Кузнєцова І.Г. Міцність фібробетонних елементів при місцевому стисненні. Автореферат дис. канд. тех. наук. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава, 2022.
10. Ситнік Н.И., Скибинський А.А. та ін. Методичні рекомендації по технології виготовлення конструкцій з базальтобетону. Київ: НДІБК, 1986. 16 с.
11. Abbas U. Materials Development of Steel and Basalt Fiber Reinforced Concretes. Norwegian University of Science and Technology, 2013. 162 p.
12. ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Метод визначення деформації усадки та повзучості. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 18 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000). Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. Київ: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 2002. 32 с.
15. ДСТУ Б В.2.7-85-99 Цементи сульфатостійкі. Технічні умови (ГОСТ 22266-94). Київ: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 1999. 13 с.
16. ТУ У В.2.7-20.5-33053410-004:2014. Добавки хімічні для бетонів і будівельних розчинів Sika. Технічні умови.
17. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ: Держкоммістобудування України, 1996. 35 с.
18. ДСТУ Б В.2.7-75-98. Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.). Київ: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 1998. 16 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD). Київ: Мінрегіон України, 2012. 18 с.
20. ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009. Ровінг з базальтових волокон. Технічні умови.
21. Дорошенко О.Ю. Базальтове волокно як компонент цементобетону., Зб. наук. праць Укр. держ. універс. заліз. трансп., сер. Будівництво та цивільна інженерія (192). 2021. № 198. С. 22-29
22. Рунова Р.Ф., Шейніч Л.О., Гелевера О.Г., Гоц В.І. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. Київ: КНУБА, 2001. 354с.
23. Бражник Г.В. Монолітні дорожні цементні бетони високої морозостійкості з органомінеральним комплексом та фіброю: автореферат дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук: 05.23.05. Харків, 2015. - 23 с.

REFERENCES

1. Rabinovich, F. N. (1989). Dispersed-reinforced concretes. Moscow: Stroyizdat.
2. Berg, O. Ya. (1962). Physical foundations of the theory of concrete and reinforced concrete strength. Moscow: Stroyizdat.
3. Volkov, Y. S. (1994). Application of ultra-high-strength concretes in construction. Concrete and Reinforced Concrete, (7), 27–31.
4. Demyanova, B. S., Ilyina, I. E., & Kulikov, I. M. (2005). Improving the operational properties of concrete with complex additives. In Composite Building Materials. Theory and Practice. International Scientific and Practical Conference (pp. 38–43).
5. Solomатов, V. I., Takhir, M. K., & Shah Md. Takhir. (1989). Intensive concrete technology. Moscow: Stroyizdat.
6. Satheskumar, K., & Karthik, P. (2016). Comparative study on self-compacting concrete using steel fibre and basalt fibre. International Journal of Current Innovation Research, 2(5), 375-379.
7. Novitsky, A. G. (2003). Chemical resistance of basalt fibers for concrete reinforcement. Chemical Industry of Ukraine, (3), 16-19.



8. Koval, P. M., & Yurkovska, N. R. (2016). Basalt fibers in construction. Textbook. Kyiv: National Academy of Fine Arts and Architecture.
9. Kuznetsova, I. G. (2022). Strength of fiber concrete elements under local compression. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk". Poltava.
10. Sitnik, N. I., Skibinsky, A. A., et al. (1986). Methodological recommendations for the technology of manufacturing basalt concrete structures. Kyiv: NDIBK.
11. Abbas, U. (2013). Materials Development of Steel-and Basalt Fiber Reinforced Concretes. Norwegian University of Science and Technology.
12. DSTU B V.2.7-216:2009. (2010). Building materials. Concretes. Method for determining shrinkage and creep deformations. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing of Ukraine.
13. DSTU B V.2.7-214:2009. (2010). Building materials. Concretes. Methods for determining strength by control samples. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing of Ukraine.
14. DSTU B V.2.7-114:2002 (GOST 10181-2000). (2002). Building materials. Concrete mixtures. Test methods. Kyiv: State Committee for Architecture, Construction, and Housing Policy of Ukraine.
15. DSTU B V.2.7-85-99. (1999). Sulfate-resistant cements. Technical conditions (GOST 22266-94). Kyiv: State Committee for Architecture, Construction, and Housing Policy of Ukraine.
16. TU U V.2.7-20.5-33053410-004:2014. Chemical additives for concretes and mortars Sika. Technical conditions.
17. DSTU B V.2.7-32-95. (1996). Building materials. Dense natural sand for building materials, products, structures, and works. Technical conditions. Kyiv: State Committee for Urban Development of Ukraine.
18. DSTU B V.2.7-75-98. (1998). Building materials. Crushed stone and gravel are dense natural for building materials, products, structures, and works. Technical conditions. Kyiv: State Committee for Architecture, Construction, and Housing Policy of Ukraine.
19. DSTU B V.2.7-273:2011. (2012). Water for concretes and mortars. Technical conditions (GOST 23732-79, MOD). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
20. TU U V.2.7-26.8-34323267-002:2009. Basalt fiber roving. Technical conditions.
21. Doroshenko, O. Yu. (2021). Basalt fiber as a component of cement concrete. In Collection of scientific works of Ukr. State Univ. of Railway Transport, Series: Construction and Civil Engineering (192), 198, 22-29.
22. Runova, R. F., Sheynich, L. O., Gelevera, O. G., & Gots, V. I. (2001). Fundamentals of the production of wall and finishing materials. Kyiv: KNUCA.
23. Brazhnik, G. V. (2015). Monolithic road cement concretes of high frost resistance with organomineral complex and fiber: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.23.05. Kharkiv.

Стаття надійшла до редакції 2.08.2024