

УДК: 691.322

ПІДГОТОВКА ФІБРОБЕТОННИХ КУБИКІВ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ, ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Кандидати техн. наук С. Ю. Берестянська, Є. І. Галагура,
Л. Б. Кравців, М. О. Ковальов

PREPARATION OF FIBER CONCRETE CUBES EXPERIENCED AT HIGH TEMPERATURE FOR EXPERIMENTAL STUDIES

Phd (Tech.) Berestyanskaya, Phd (Tech.) E. Galagurya,
Phd (Tech.) L. Kravtsiv, Phd (Tech.) M. Kovalov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336470>



Анотація. У статті проаналізовано останні публікації щодо впливу фібрового армування на міцнісні і деформативні характеристики фібробетонів і зроблено висновок про недостатню вивченість впливу температури на механічні властивості матеріалу. Проведено планування експерименту, в якому визначено необхідну кількість зразків. Показано склад бетонної суміші, технологію виготовлення зразків, а також висвітлено і обґрунтовано підготовку зразків до випробувань.

Ключові слова: фібра, фібробетон, сталеві фібробетон, базальтова фібра, бетонна матриця, температурний вплив, експериментальні дослідження.

Abstract. Problem. Fiber-reinforced concretes are varieties of composite materials. Such materials are commonly used nowadays. Concrete is fiber-reinforced using various fibrous materials, or fibers, which are evenly distributed over the volume of the concrete matrix and simultaneously provide its 3D reinforcement. Fiber-reinforced concrete has better stress-related strength characteristics than ordinary concrete. Since building structures must meet both the strength, rigidity and stability requirements, and the fire safety requirements, then for the extensive use of fiber-reinforced concrete structures, not only the external load design, but also temperature effect design should be conducted in the design phase. The strength and strain characteristics of fiber concrete exposed to high temperatures must be known for this purpose. In view of this, three series of prisms were manufactured and tested: the first series contained no fiber at all (control prisms), the second series contained basalt fiber, and the third series contained steel fiber. **Goal.** To determine the effect of temperature on the strength and deformation characteristics of fiber concretes, as well as to identify the dependences of these characteristics on temperature, it is necessary to conduct experimental studies. For this purpose, the experiment was planned. **Methodology.** Experiment planning is a procedure for determining the number and conditions for conducting research that are necessary and sufficient to solve the problem with the required accuracy. The purpose of the study is to determine the cubic strength of fiber concrete depending on the heating temperature and the type of fiber. **Results.** The article analyzes publications on the influence of fiber reinforcement on the strength and deformation characteristics of fiber concrete and concludes that the influence of temperature on the mechanical properties of the material is insufficiently studied. **Originality and practical value.** The experiment was planned, in which the required number of samples was determined. The composition of the concrete mixture, the technology of manufacturing samples is shown, as well as the method of preparing samples for research is described and justified.

Keywords: fiber, fiber-reinforced concrete, steel fiber-reinforced concrete, basalt fiber, concrete matrix, high temperature influence, experimental studies.

Вступ. Останнім часом до будівельних матеріалів висувають більш вибагливі умови. Конструкції мають відповідати підвищеним міцнісним і деформативним характеристикам. Одним із перспективних способів поліпшення механічних характеристик матеріалу є створення композитних матеріалів. Введення в бетон фібри є найбільш розповсюдженим композитним матеріалом, який відповідає сучасним вимогам. Спектр сфер застосування фібробетонів дуже широкий, і кожна зі сфер висуває свої специфічні вимоги як щодо механічних, так і реологічних властивостей.

Рівномірне розповсюдження фібри по об'єму бетонної матриці забезпечує її тримірне зміцнення, закріплюючи внутрішню структуру своїми волокнами. При цьому властивості фібробетону залежать від виду самої фібри, її вмісту в бетонній матриці та розмірів [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Армований фібрами бетон у декілька разів перевищує міцнісні і деформативні характеристики звичайного бетону, однак недостатня вивченість властивостей волокон у бетонній матриці обмежує сфери і об'єми застосування фібробетонів у будівництві, незважаючи на те, що використання неметалевих волокон виключає проблеми, пов'язані з корозією.

За останній час багатьма авторами проведені експериментальні дослідження, які показують вплив різних характеристик фібри на міцнісні і деформативні характеристики фібробетону за різних видів деформацій [3-7]. Разом із цим існує недостатність методів розрахунку таких матеріалів щодо різних впливів, а саме температурного впливу.

Мета та завдання дослідження. Проектуючи конструкції, визначають не тільки міцнісні і деформативні характеристики, а і межу вогнестійкості. Тому з проектуванням має бути розроблений математичний апарат, який давав би змогу виконувати розрахунки на

температурний вплив. Для цього необхідно знати залежності між температурою і механічними характеристиками фібробетону.

Аналіз літературних джерел виявив недостатню вивченість впливу температури на міцнісні та деформативні характеристики фібробетонів. Тому метою дослідження є підготовка фібробетонних кубиків, які зазнали температурного впливу, до експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження фібробетонних кубиків. *Планування експерименту.* Для визначення впливу температури на міцнісні і деформативні характеристики фібробетонів, а також виявлення залежностей цих характеристик від температури необхідно провести експериментальні дослідження. З цією метою було виконано планування експерименту. Планування експерименту – це процедура визначення кількості і умов проведення досліджень, необхідних і достатніх для вирішення сформульованого завдання з потрібною точністю. Метою дослідження є визначення кубикової міцності фібробетону залежно від температури нагрівання та виду фібрового волокна. Вміст фібри та її характеристики в цьому дослідженні не розглянуто, а прийнято за джерелами [3-7]. Отже, температура і вид фібри – це фактори, які впливають на відгук системи, тобто результат експерименту. У нашому випадку це межа міцності. У дослідженні розглянуто три види армування (сталева фібра, базальтова фібра і контрольний бетонний зразок без фібри). Властивості зразків будемо визначати для таких температур: 20 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C. Отже, кількість рівнів факторів є неоднаковою, і вони незалежні один від одного. Кількість можливих різних дослідів N визначають за виразом

$$N = p^k \cdot n = 72, \quad (1)$$

де $p = 3$ – кількість рівнів;

$k = 2$ – кількість факторів;

$n = 8$ – кількість значень температури.

Отже, необхідно виготовити 72 кубики: 24 – зі сталеву фібру, 24 – базальтовою і 24 – без фібри [8].

Склад і підготовка зразків. Марка бетону і відповідно склад бетонної суміші були розраховані для класу С 20/25: портландцемент М 400 – 437,5 кг/м³, щебінь фракції 5-10 мм – 1158,12 кг/м³, пісок річний – 552,6 кг/м³, вода – 210 л/м³ (визначали за графіками Міронова). Такий склад було розраховано виходячи з рухомості бетонної суміші 5 см. Аналіз впливу видів фібрового армування на міцнісні та деформативні характеристики розглянуто в роботах [7-9], де зроблено висновки про раціональні параметри фібрового армування для базальтової і сталеву фібри. Отже, для виготовлення зразків було використано:

- базальтову фібру довжиною 12 мм, яку додавали в кількості 0,2 % маси цементу;

- сталеву фібру «Чілябінка», яку додавали в кількості 32,536 кг/м³ бетону [10].

Фібру вводили в цемент і ретельно перемішували вручну. Усі компоненти засипали в бетонозмішувач і ретельно перемішували.

Для проведення випробувань виготовили три серії зразків: із базальтовою фібру (серія КББ), сталеву фібру (серія КСБ) і контрольна серія без додавання фібри (КОБ). Кожна серія – це 24 кубики. До відповідних температур нагрівали по три кубики. Усі зразки маркували (рис. 1).



Рис. 1. Три серії зразків, які були нагріті до температури 600 °С:
а – без додавання фібри; б – із додаванням базальтової фібри;
в – із додаванням сталеву фібри

Для виготовлення зразків застосовували металеві форми розміром 10х10х10 см, які змазували машинним маслом, а потім заповнювали бетонною сумішшю. Ущільнювали на вібростолі до появи цементного молочка. Залиту у форми бетонну суміш витримували у формах протягом трьох діб, після цього опалубку знімали, і зразки знаходились у вологій тирсі протягом 28 діб за нормальної температури [11]. Після виготовлення зразків їх необхідно було підготувати для випробувань. Для цього кубики нагрівали до температур 20 °С, 60 °С, 90 °С, 120 °С,

200 °С, 400 °С, 600 °С, 800 °С у муфельній печі зі швидкістю нагрівання 150 °С/год. Після досягнення заданої температури зразки витримували під впливом цієї температури 4 год, а потім залишали в печі до повного охолодження. Така схема нагрівання була застосована відповідно до роботи [12].

Висновки. Для виконання вимог протипожежної безпеки на стадії проектування виконують розрахунки з метою визначення межі вогнестійкості. Для цього необхідно знати залежність міцнісних і деформативних характеристик

фібробетонів від температури. Аналіз літературних джерел виявив недостатню вивченість цього питання. Тому провели планування експерименту, що дало змогу визначити необхідну кількість зразків для

випробування. Розраховано склад бетонної суміші, ретельно описано технологію виготовлення зразків, описано і обґрунтовано методику підготовки зразків до випробувань.

Список використаних джерел

1. Берестянская А. А., Гаврилко Н. Н., Быченко И. В. Особенности расчета и проектирования сталефибробетонных конструкций. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво*. 2014. Вип. 3(2). С. 20-25.
2. Попов С. В., Брагинский В. Г. О результатах использования волокна армирующего полипропиленового в качестве фибры для изготовления бетонов. *Вісник Донбаської ДАБА*. 2005. Вип. 1(49). С. 35-38.
3. Васильовская Н. Г., Енджиевской И. Г., Калугин И. Г. Цементные композиции дисперсно-армированные базальтовой фиброй. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2011. Вип. 3. С. 153-158.
4. Талантова К. В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.2001/ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Барнаул, 2009. 189 с.
5. Бугаевский С. А. Методы возведения каркасных систем нового типа. *Вестник Харьковского национального автомобильного университета*. 2012. Вып. 58. С. 78–84.
6. Пухаренко Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойства фибробетонов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.2005 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, 2004. 316 с.
7. Веревичева М. А., Берестянская А. А., Дериземля С. В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2015. Вып. 82. С. 60-69.
8. Vatulina G., Berestianskaya S., Opanasenko E., Berestianskaya A. Substantiation of concrete core rational parameters for bending composite structures. *DYN-WIND'2017 – MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 107. 00044 2017.
9. Vatulina G., Berestianskaya S., Berestianskaya A., Opanasenko E. Theoretical and Numerical Analyses of Thermal-Load Behavior of Steel-Concrete and Steel-Fiber-Concrete Slabs. *Journal of Civil Engineering and Construction*. 2016. Vol. 5(2). P. 98-104.
10. Берестянская С. Ю., Опанасенко Е. В., Берестянская А. А. Предпосылки для проведения экспериментальных исследований фибробетонов на температурные воздействия. *Тези доповідей 6-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності на довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. 2017. С. 101-102.
11. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. Чинний від 2009-12-22. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 20 с.
12. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций при пожаре. Москва: Стройиздат, 1986. 225 с.

Берестянська Світлана Юріївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: s.berestyanskaya@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0002-4111-3138.

Галагура Євгеній Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: evgeniygalagurya@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0002-3075-8651.

Кравців Лариса Богданівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: kravtsiv_bmg@kart.edu.ua.
ORCID ID: 0000-0003-4632-6148.

Ковальов Максим Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: kovalev_bmg@kart.edu.ua.
ORCID ID: 0000-0003-2104-3061.

Berestianskaya Svetlana, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID ID: 0000-0002-4111-3138. Tel.: (057) 730-10-70.

E-mail: s.berestianskaya@gmail.com.

Galagurya Evgeniy, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID ID: 0000-0002-3075-8651. Tel.: (057) 730-10-70.

E-mail: evgeniygalagurya@gmail.com.

Kravtsiv Larysa, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID ID: 0000-0003-4632-6148. Tel.: (057) 730-10-70.

E-mail: Laura_Kravtsiv@ukr.net.

Kovalov Maksym, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID ID: 0000-0003-2104-3061. Tel.: (057) 730-10-70.

E-mail: maks_kov@ukr.net.

Статтю прийнято 30.06.2025 р.