

стану і обстеження житлових споруд і об'єктів громадського призначення, насамперед об'єктів з можливим скупченням людей, та вжити невідкладні заходи до забезпечення їх надійної експлуатації.



Фото 5. Руйнування цоколю внаслідок відсутності вимоцнення

Інститут проблем надійності машин і споруд, як уповноважена і спеціалізована організація, може надати допомогу у виконанні завдань, що випливають із згаданих Постанови КМУ № 409 та Розпорядження КМУ № 100-р.

УДК 69.07

А.Я. Мурин

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра мостів і будівельної механіки

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

© Мурин А.Я., 2010

Упродовж багатьох років приділяється значна увага посиленню конструкцій для підвищення їх механічних та експлуатаційних характеристик. У багатьох країнах проводяться дослідження та застосування неметалевої арматури як альтернативи традиційним підсиленням за допомогою металевих елементів. Основні переваги неметалевої арматури: висока міцність, корозійна стійкість, легкість і простота використання, відсутність необхідності стикування по довжині, висока втомна міцність, зручний та простий спосіб застосування. Особливо перспективним є застосування неметалевої арматури у великорозмірних конструкціях покриття будівель різного призначення, а також у конструкціях мостів і естакад.

При зростаючій інтенсивності руху, збільшенні ваги й габаритів транспортних засобів, необхідності частішого пропуску понаднормативних навантажень зростають вимоги до експлуатаційних якостей мостів, що спричиняє необхідність підвищення надійності й ефективності їх експлуатації.

У 50–60-роках минулого століття на території СРСР були масово побудовані мости малих і середніх прольотів, що запроектовані за старими нормами і не відповідають експлуатаційним вимогам щодо несучої здатності, довговічності і потребують реконструкції–підсилення для приведення споруди у відповідність до категорій дороги й класу навантажень.

Реконструкція і технічне переобладнання промислових об'єктів порівняно з новим будівництвом дозволяє істотно зменшити питомі капіталовкладення на одиницю виробничої потужності, скоротити тривалість будівництва за значного покращання якісних і техніко-економічних показників основного виробництва без залучення додаткових трудових ресурсів. Необхідність підсилення будівельних конструкцій під час експлуатації виникає не тільки у разі реконструкції, але й через їх передчасне зношення в результаті не передбачених за проектом змін технології виробництва при діючому обладнанні, різних пошкоджень тощо.

Одним з ефективних методів вирішення цієї проблеми є відновлення експлуатаційних властивостей будівель, споруд та їх конструктивних елементів шляхом ремонту й підсилення на основі оцінки їхнього фактичного стану. Це вимагає пошуку нових, ефективних методів посилення будівельних конструкцій.

Оскільки серед будівельних конструкцій, що використовують вже багато років в промислових будівлях і спорудах, переважають залізобетонні, тому пропозиції з проектування і застосування способів підсилення саме таких конструкцій мають важливе господарське значення.

Одним із найновітніших методів підсилення залізобетонних балок є використання конструкційних композитних матеріалів, до яких належать матеріали на основі вуглецевих волокон. У зв'язку із цим, реставрація з використанням композитів з високими експлуатаційними показниками є економічнішою, ніж під час використання традиційних матеріалів, якщо врахувати час, необхідність робочого устаткування, витрати в результаті припинення експлуатації об'єктів і термін служби подібних об'єктів. Завдяки своїй легкості, фібропластики зменшують витрати праці, до того ж їх можна застосовувати без використання допоміжних інструментів і устаткування, виконуючи роботу в найкоротший термін без переривання експлуатації об'єкта.

У разі підсилення залізобетонних конструкцій необхідно оцінювати переваги і недоліки способів підсилення, а також методи розрахунку, які б відображали їх реальний напружено-деформований стан на будь-якій стадії експлуатації. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження показали високу ефективність підсилення [1–6].

Інститут Бетону Америки (The American Concrete Institute) і інші групи, такі, як Японське співтовариство цивільних інженерів (Japan Society for Civil Engineers), розробили специфікації і методи тестування для конструкцій, підсиленних фібропластиками, багато з яких вже затверджені і використовуються в будівництві.

Загальні рекомендації проектування для згинаних бетонних конструкцій, підсиленних фібропластиками (FRP), описані у звіті ACI 440.1R-06 (2006), “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars”, розробленому Інститутом Бетону Америки (ACI).

Рекомендації ACI 440 засновані на принципах рівноваги і сумісності роботи матеріалів. Були прийняті нові підходи до проектування, які розглядають можливість руйнування елемента FRP, або руйнування стиснутої зони бетону; за основу прийнято метод граничних станів. Залізобетонний елемент, підсилений FRP, проектується з умов міцності, а потім перевіряється на втому, проковзування елементів підсилення та критерії експлуатаційної надійності. Здебільшого критерії експлуатаційної надійності або втома чи проковзування є визначальними.

Проектанти повинні розглядати доцільність підсилення бетону фібропластиками, враховуючи в проектах такі основні пункти:

- пряма заміна сталевий арматури у залізобетонному елементі на композитну не можлива в більшості випадків;
- нижчий модуль пружності і міцність на зріз обмежують області застосування FRP;

- у склопластиковій арматурі максимальні напруження не повинні перевищувати 25% гарантованої межі міцності;
- не можна використовувати склопластикову арматуру як елемент попереднього напруження або напружуючий елемент.

Проведення досліджень на міжнародному рівні привело до розвитку норм і директив для залізобетонних елементів, підсилених FRP. На даний час доступні такі публікації:

США

ACI 440R-07 (2007) "Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.

ACI 440.1R-06 (2006) "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.

ACI 440.5-08 (2008) "Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bar," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.

ACI 440.6-08 (2008) "Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.

ACI 440.3R-04 (2004) "Guide for Test Methods for Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures," ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.

Канада

CAN/CSA-S806-02, "Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers", Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (May 2002), 187p.

CAN/CSA-S6-06 "Canadian Highway Bridge Design Code" Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (December 2006), 800p.

The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures

Design Manual No. 3, "Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers"

Design Manual No. 4, "FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures"

Design Manual No. 5, "Prestressing Concrete Structures with FRPs"

Design Guide, "Specifications for FRP Product Certification"

Design Guide, "Durability Monograph"

Японія

Japan Society of Civil Engineers (JSCE) 1997 "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforced Materials," Concrete Engineering Series 23, ed. by A. Machida, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, Japan, 325 p.

Італія

CNR-DT 203/2006 - "Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars."

Європа

FIP Task Group 9.3 "FRP Reinforcement for Concrete Structures" (1999)

Report # STF 22 A 98741 "Eurocrete Modifications to NS3473 When Using FRP Reinforcement", Norway (1998)

Україна

Методика розрахунку підсилення мостових залізобетонних балок додатковим зовнішнім армуванням із застосуванням металевих і композитних підсилюючих елементів. 218-02071010-605:2006.

Росія

Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ГУП «НИИЖБ», ООО «Интераква». М. 2006, 48 с.

У Національному університеті "Львівська політехніка" експериментальні дослідження залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, проводяться з 1999 року [7, 8] під керівництвом д-ра техн. наук, проф. В.Г. Кваші та доц., канд. техн. наук І.В. Мельника [5].

У 2000–2001 рр. під керівництвом В.Г. Кваші були проведені експериментальні дослідження натурних залізобетонних мостових балок, підсилені неметалевою арматурою CFRP [9]. Завданням проведених досліджень було виконати порівняльні випробування статичним навантаженням натурних мостових балок після тривалого періоду експлуатації до та після підсилення стрічкою з вуглецевих волокон CFRP і визначити їхні основні експлуатаційні характеристики: міцність, жорсткість і тріщиностійкість.

Згинальний момент, який відповідав текучості арматури, у підсиленій балці був на 28,6 % більшим, ніж у непідсиленій; зменшення прогинів становило 12,5 %, зменшення ширини розкриття тріщин – на 40–50 %.

Руйнування підсиленої балки почалось з відриву нижньої стрічки з недостатнім анкеруванням. У разі максимального навантаження пройшло відривання другої стрічки від зони заанкерування вздовж прольоту.

Проведені випробування показали, що для надійної роботи підсилені балки необхідно забезпечити анкерування зовнішньої композитної арматури.

Для перевірки, аналізу та вдосконалення запропонованих пропозицій з розрахунку у Національному університеті «Львівська політехніка» були проведені дві серії експериментально-теоретичних досліджень залізобетонних балок, підсилені вуглепластиковою арматурою у вигляді стрічок (типу S512 фірми Sika). Програма випробувань експериментальних балок подана у табл. 1.

Прийняті такі умовні позначення: перша цифра вказує серію балок (1,2); Б – балка; П – підсилена; друга цифра – порядковий номер балки конкретної серії (1...8); третя цифра вказує на ширину стрічки підсилення (у частці до базової стрічки завширшки 50 мм: 1 – 50 мм ($\frac{1}{1}$), 2 – 25 мм ($\frac{1}{2}$), 3 – 16,7 мм ($\frac{1}{3}$), 4 – 12,5 мм ($\frac{1}{4}$)).

Експериментальні зразки були виготовлені завдовжки 2100 мм, завширшки 120 мм і заввишки 220 мм. В усіх балках поздовжньою робочою внутрішньою арматурою була стержнева арматура класу А-II ($R_s = 370 \text{ МПа}$, $E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$), а конструктивна і поперечна – класу А500С, крок поперечної арматури становив 40–62 мм.

Таблиця 1

Програма випробувань експериментальних балок

№ з/п балки	Шифр балок
1	1Б-1
2	1БП-2-1
3	1БП-3-1
4	1БП-4-1
5	1БП-5-2
6	1БП-6-2
7	1БП-7-3
8	1БП-8-4
9	2Б-1
10	2БП-2-2
11	2БП-3-3
12	2БП-4-4

Загальний вигляд балок та конструкція арматурного каркасу подані на рис. 1.

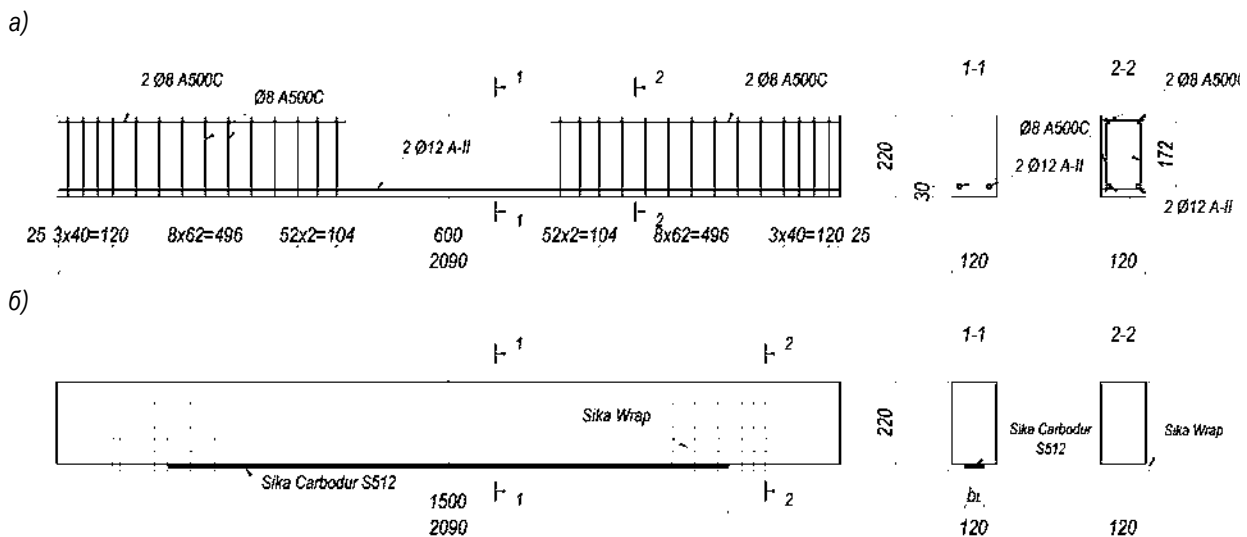


Рис. 1. Конструкція та армування експериментальних балок:
 а) до підсилення; б) після підсилення (внутрішня арматура умовно не показана)

Бетон для виготовлення залізобетонних балок 1 серії був прийнятий важкий класу В20 ($R_b = 28,3 \text{ МПа}$, $E_b = 34,2 \text{ МПа}$), 2 серії - В25 ($R_b = 34,0 \text{ МПа}$, $E_b = 38,0 \text{ МПа}$).

Стрічка підсилення використана типу S512 фірми Sika. Для перевірки фізико-механічних характеристик стрічки були проведені випробування її на розтяг до руйнування; метою проведених випробувань було отримання залежностей напруження-деформації для внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури та їх спільної роботи у складі підсиленої залізобетонної балки. Порівняльний графік напруження-деформації наведений на рис. 2.

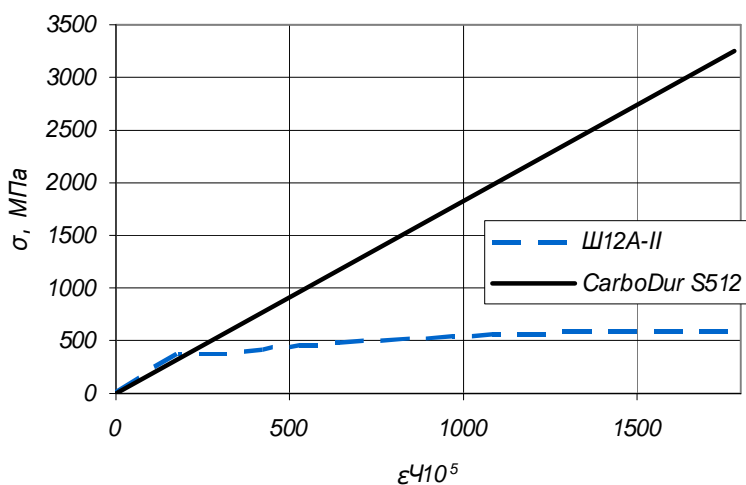


Рис. 2. Порівняльний графік напруження-деформації при розтягу внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури

Для дослідження впливу проценту зовнішнього армування балки підсилювались стрічкою S512 різної ширини. Підсилення залізобетонних балок проводили шляхом наклеювання на розтягнуту грань балки (нижню у робочому положенні). Роботи з приклеювання стрічки CFRP CarboDur проводились в приміщенні лабораторії №004 Нац. ун-ту "Львівська політехніка".

За базову була прийнята повна ширина стрічки CFRP CarboDur S512 – 50 мм. Зразки підсилювались стрічкою завтовшки 1,2 мм і завширшки 50 мм (1), 25 мм (1/2), 16,67 мм (1/3) та 12,5 мм (1/4). Наклеювання стрічки проводили з використанням двокомпонентного клею CFK SikaDur 30. Для забезпечення анкерування на приопорних ділянках використано тканину SikaWrap завширшки 30 см, що була наклеєна двома шарами – нижній шар охоплював всю висоту балки, а верхній заходив на бічні грані на 7 см. Це було зроблено для запобігання відривання стрічки з шаром бетону на рівні внутрішньої розтягнутої сталеві арматури (Рис. 4–5).



Рис. 3. Експериментальний зразок з наклеєною стрічкою CFRP та системою анкеруючих пластин



Рис. 4. Система анкеруючих пластин CFRP



Рис. 5. Підсилений експериментальний зразок



а)



б)

Рис. 6. Загальний вигляд стенда для випробувань балок на згин (а) та розташування вимірювальних приладів (б)

Підсилювання полягало ось у чому. На попередньо очищену шліфувальним каменем до чистого бетону нижню грань балки після зняття порошу накладался шар двокомпонентного клею CFK SikaDur 30 завтовшки 1–2 мм. Ще до накладання клею на поверхню балки проводилась підготовка до наклеювання стрічки CFRP CarboDur. Стрічку потрібної довжини очищували

шматками тканини, змоченої в спеціальному розчиннику Colma Reinger. Відбувалося також знежирювання стрічки. Після висихання стрічки на неї наносили шар клею завтовшки 3 мм за допомогою шпателя. Далі стрічку прикладали до поверхні балки і за допомогою валика притискали її аж до появи клею на боках. Виступ клею по боках за межі стрічки повинен становити приблизно 1–1,5 мм. Зайвий клей усували за допомогою шпателя.

Внаслідок недостатності анкерування у зразках № 2–6 руйнування відбувалося після проковзування кінців стрічки у системі анкерування Sika Wrap. Тому у зразках №9–12 було використано систему додаткового анкерування з частин стрічки CFRP CarboDur (Рис. 4). Випробування зразків із застосуванням такої системи показали високу ефективність такого способу анкерування.

Під час випробувань дослідних зразків у разі завантаження двома зосередженими силами в третирах прольоту одержали такі результати (табл. 2).

Таблиця 2

Основні результати випробувань експериментальних балок серії 1

Марка балки	Ширина стрічки d, мм	Руйнівне навантаження F, кН	Прогин f, см при		Ширина розкриття тріщин a _{сгс} , мм при		Ефект підсилення %		
			F=34кН	F=55кН	F=34кН	F=55кН	міцність	жорсткість	тріщиностійкість
Б-1	-	49	3,7	19,7	0,15	1,8	-	-	-
1БП-1	50	90	2,85	4,7	0,05	0,084	83,7	49,6	81,0
1БП-2	25	78	3,75	6,65	0,08	0,12	59,2	32,4	70,0
1БП-3	16	75	3,70	7,15	0,12	0,15	53,1	31,9	55,8
1БП-4	12	74	3,70	7,20	0,12	0,16	51,0	31,7	55,6

Міцність, деформативність та тріщиностійкість залізобетонних балок 2 серії були аналогічними. З аналізу отриманих експериментальних даних помітно, що ефект підсилення балок залежить від ширини стрічки, але ця залежність не є прямо пропорційною. Навіть при незначній (12мм), але оптимальній з умов міцності нормальних перерізів, ширині композитної арматури можна досягти істотного збільшення міцності, жорсткості і тріщиностійкості балкових елементів.

1. Meier U., Kaiser K. Strengthening of Structures with CFRP Laminates, Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures, Proceedings of the Specialty Conference (ASCE), Las Vegas, Nevada, 1991. p. 224-232.

2. Rybak M. Łagoda M.: Wzmacnianie mostów betonowych za pomocą przyklejanego zbrojenia zewnętrznego. XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 1997. - P.41-50.

3. Kaminska M.. Kotynia R. Badania żelbetowych belek z tasmami CFRP przyklejnymi na ich powierzchniach // XVI konferencja naukowo-techniczna "Beton i prefabrykacja". - Tom 2. - Jadwisin. - 1998. -S. 479-484.

4. Kybicki J. Badania doświadczalne zarysowanych belek żelbetowych z naklejonymi taśmami kompozytowymi z włókien węglowych // Prace instytutu techniki – kwartalnik №4 (124) 2002. – S. 43–59.

5. Кваша В., Мельник І., Собко Ю., Мурин А., Добрянський Р. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні. 9th International Scientific Conference “Current issues of civil and environmental engineering”. – Rzeszow, 3-4 September, 2004. – С. 221–227.

6. Мурин А.Я., Добрянський Р.З. Дослідження роботи залізобетонних балок, підсиленних наклеюванням композитної арматури // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, вип. 2005-4(52). Макіївка, 2005 р. – с.254–257.

7. Добрянський Р.З. Дослідження залізобетонних балок, підсиленних зовнішньою композитною арматурою // Магістерська кваліфікаційна робота. – Львів, 2000. – 88 с.

8. Мурин А.Я. Напружено-деформований стан залізобетонних балок при багаторазовому навантаженні // Магістерська кваліфікаційна робота. Львів, 2001 р. 80 с.

9. Кваша В.Г., Мельник І.В., Климуш М.Д., Шевчик О. Міцність і деформативність залізобетонних мостових балок, підсилених неметалевою арматурою CFRP // VI міжнар. конф. «Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля», Україна, Львів, 12–15 вересня 2001 р. – С. 223–230.

10. Мурин А.Я. Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – №627. – Львів, 2008. – С. 155–158.

УДК 666.942

М.А. Саницький, Х.С. Соболю, О.Р. Позняк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автомобільних шляхів

БЕТОНИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ТА ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА

© Саницький М.А., Соболю Х.С., Позняк О.Р., 2010

Описано бетони нової генерації, а також сучасні системи енергоощадного будівництва з врахуванням енергосмітності будівельних матеріалів та ефективного використання теплової енергії в житлово-комунальному господарстві.

The new generation concrete and modern energysaving building systems based on decreasing of building materials energycontaining and effective heat energy using in housing sector have been analyzed in this work.

Ефективність і відповідність світовому рівню конструкційних матеріалів нового покоління визначається загалом двома показниками – високою якістю та технологією їх застосування в конкретних умовах будівництва. Найголовнішою фундаментальною проблемою розробки та впровадження конструкційних матеріалів є забезпечення їх високої технологічності, що передбачає максимальне уникнення трудомістких операцій, і забезпечення властивостей, які окреслюють його довговічність.

Конструкційним матеріалом, що здатний вирішувати комплекс найскладніших задач у будівництві є бетон. Цей композит є складною, частково наномасштабною структурою з гідратованих цементних фаз, хімічних добавок, мікронаповнювачів і заповнювачів, регулювання та контроль властивостей якого здійснюється на нанотехнологічному рівні. Головне навантаження у формуванні властивостей конструкційних матеріалів нового покоління несе цементуюча матриця, що утворюється за рахунок процесів конденсації мінеральних дисперсних систем різної хімічної природи. Виявлення нових характеристик складових таких систем на рівні нано- і мікроструктури, а також поведінки системи на рівні коагуляційних явищ дозволить забезпечити тверднення цементуючих систем будівельного композиту з урахуванням можливостей їх модифікування в напрямку покращання їх властивостей. Використання модифікуючих добавок дозволить підвищити ефективність вкладання бетону, розпалубку монолітних споруд у найкоротші терміни при достатній якості останніх, виготовляти тонкостінні густоармовані будівельні конструкції підвищеної міцності. При цьому вирішуються складні завдання подолання суперечностей між необхідністю дотримання вимог до ведення технологічного процесу і проявом деяких небажаних явищ, що супроводжують гідратацію цементних систем і формування структури конструкційних матеріалів [1].