

УДК 691.328

НОВА ПОСТАНОВКА ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ БЕТОНОЗНАВСТВА

Доктори техн. наук **В. І. Кондращенко (МДУШС),
О. В. Кондращенко (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова),
ЦЗИН Гоцин (Пекинський транспортний університет),**
магістри **ВАН Чжуан (МДУШС), А. В. Єрохіна (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)**

НОВАЯ ПОСТАНОВКА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ БЕТОНОВЕДЕНИЯ

Доктора техн. наук **В. И. Кондращенко (МГУПС),
Е. В. Кондращенко (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова),
ЦЗИН Гоцин (Пекинский транспортный университет),**
магистры **ВАН Чжуан (МГУПС), А. В. Ерохина (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова)**

**NEW STATEMENT OF CONCRETE STUDIES OPTIMIZATION
PROBLEMS**

**Doctor Professor V. I. Kondrashchenko, E. V. Kondrashchenko, JING Guoqing,
master WANG Chuang, A. V. Yerokhina**

Запропоновано інтегрований підхід до призначення рецептури будівельних композитів, який передбачає оптимізацію рецептурно-технологічних параметрів отримання будівельних матеріалів і виробів за комплексом вимог, що висувуються не тільки до властивостей матеріалу і технологічних параметрів їх виготовлення, але і до властивостей самої конструкції, для виготовлення якої цей матеріал призначений.

***Ключові слова:** диференційований і інтегрований підхід, оптимізаційні завдання бетонознавства, рецептурно-технологічні параметри.*

Предложен интегрированный подход к назначению рецептуры строительных композитов, который предусматривает оптимизацию рецептурно-технологических параметров получения строительных материалов и изделий по комплексу требований, предъявляемых не только к свойствам материала и технологическим параметрам их изготовления, но и к свойствам самой конструкции, для изготовления которой этот материал предназначен.

Ключевые слова: дифференцированный и интегрированный подход, оптимизационные задачи бетоноведения, рецептурно-технологические параметры.

Civil engineering people differentiate between «process» and «design» approaches to problem solution. In the former case process engineers assign composition and process parameters without due consideration of material working terms in structure, whereas in the latter case designers calculate articles issuing from material normalized characteristics, without due consideration of its composition and manufacturing peculiarities of articles. Such an approach to solution of civil engineering problems may be called differentiated. On the contrary, integrated approach presupposes determination of composition and process parameters issuing from the integrity of requirements not only to material properties with due consideration of article manufacturing process, but to the properties of structure to making of which the material is intended. We formulated the problem of concrete mix formulating optimization issuing from a complex of requirements to concrete mix properties, article manufacturing process, as well as of consumption proportioning of concrete mix components, structure dimensions and its reinforcement. It is emphasized that the integrated approach meets the most efficient solution of the backbone problem of building materials science – obtaining building materials and articles with prescribed set of properties under optimal expense of feed materials and utilities.

Key words: a differentiated and integrated approach, concrete studies optimization problems, prescription technological parameter.

Вступ. Сучасні тенденції в будівельному матеріалознавстві відрізняються зростаючими вимогами до якості сировини, технології отримання будівельних композитів і експлуатаційних властивостей виробів. В основу цих вимог повинен бути покладений принцип сталого розвитку цивілізації, що передбачає врахування інтересів як сучасників, так і наступних поколінь. Стосовно до будівельного матеріалознавства домінантою такого принципу виступає пріоритетне забезпечення екологічної ефективності прийнятих рішень на всіх стадіях життєвого циклу виробів – від впливу сировини на довілля, технологічних процесів і готової продукції до утилізації останньої. Тим самим отримання екологічно безпечної і в той же час економічної продукції є складним багатоцільовим і багатопараметричним

завданням, ефективність вирішення якого багато в чому визначає застосовувана методологія призначення рецептури і технологічних параметрів виготовлення виробів.

У даний час у будівельній галузі в основу методології вирішення наукових та практичних завдань покладено диференційований підхід, при якому завдання поділяється на «технологічну» і «конструкторську» складові. У першому випадку рецептурно-технологічні параметри призначають технологи без урахування особливостей роботи матеріалу в конструкції («на марку»), а в другому – розрахунок виробів проводять конструктори за ДБН, не враховуючи вже рецептуру і технологічні параметри виготовлення виробів.

Тим самим не враховуються особливості роботи матеріалу в

конструкції, для виготовлення якої він призначений, в той час як варіюванням витрати складових можливе регулювання властивостей матеріалу в широкому діапазоні, що забезпечує, при тій же міцності бетону, підвищений модуль пружності або збільшення граничних деформацій розтягування бетону, а це забезпечить при тій же міцності конструкції зниження відповідно її деформативності і підвищення тріщиностійкості.

Таким чином, центральне завдання бетонознавства – визначення оптимальних складів бетону треба вирішувати не в традиційній постановці, коли визначають витрати складових компонентів тільки за властивостями бетонної суміші та бетону, але і з урахуванням властивостей залізобетонної конструкції, для виготовлення якої цей бетон призначений, – за вимогами до її міцності, деформативності і тріщиностійкості.

Такий підхід до постановки оптимізаційних задач бетонознавства стимулює розвиток нових напрямків наукових досліджень, що дозволять об'єднати «технологічний» і «конструкторський» напрямки у будівництві, а це має важливе практичне значення для розвитку будівельної галузі в цілому.

Аналіз виконаних досліджень і публікацій. У бетонознавстві диференційований підхід до призначення складів бетону був закладений класичними роботами Р. Фере, Д. Абрамса, Н. М. Беляєва, М. Болемея і І. Г. Малюги. На основі їх розвитку Б. Г. Скрамтаєвим, Ю. М. Баженовим, П. Ф. Шубенкіним [1, 2], І. А. Кирієнко [3], В. І. Сорокером [4], В. П. Сизовим [5], В. М. Шмігальським [6], І. М. Френкелем [7] та іншими вченими метод розрахунково-експериментального визначення складів бетону на щільних і пористих заповнювачах був регламентований [8, 9]. Подальший його розвиток йде шляхом уточнення структурних [10] і фізико-хімічних параметрів застосовуваних матеріалів [11-13], урахування неоднорідності макроструктурних напружень в бетоні [14-16], поширення кількості врахованих рецептурних факторів і властивостей бетонної суміші та бетону [17-24].

Перехід до багатопараметричних (багатофакторних) завдань визначення складів бетонної суміші відображає сучасні тенденції розвитку будівельної науки з отримання високоякісних композиційних матеріалів, зокрема, бетонів (типу *high-performance concrete*) для будівництва доріг, гідротехнічних споруд, зимового бетонування, будівництва в сухому і жаркому кліматі та ін. [21, 22, 25, 26, 33-35]. У зв'язку з цим поряд з традиційними показниками легкоукладальності і міцності як властивості бетонної суміші та бетону розглядаються показники нерозшарованості бетонної суміші, об'єму повітровтягування, морозостійкості, водонепроникності, тріщиностійкості та інших характеристик матеріалу.

Подальшим розвитком багатопараметричного підходу до визначення рецептури будівельних композитів є підхід, який, на відміну від диференційованого, назовемо *інтегрованим*. Інтегрований підхід передбачає проведення оптимізації рецептурно-технологічних параметрів отримання будівельних матеріалів і виробів за комплексом вимог, що висувуються не тільки до властивостей матеріалу і технологічних параметрів їх виготовлення, а й до властивостей самої конструкції, для виготовлення якої цей матеріал призначений.

Щодо термінів «диференційований» і «інтегрований» відзначимо, що вони використовуються при моделюванні систем [27], управлінні в конкурентному середовищі [28], розробці будівельних композитів («інтеграційний») [19, 29], оптимізації конструкцій [30] і за змістом є синонімами слів «роздільний» і «комплексний» відповідно.

Основна частина досліджень. Особливості методології інтегрованого підходу розглянемо на прикладі оптимізації

складів бетону залізобетонних конструкцій без урахування технологічних особливостей їх виготовлення, тобто при вирішенні тільки рецептурного завдання.

Стосовно до бетонознавства відмінність в диференційному і інтегрованому підходах до вирішення оптимізаційних задач пояснює рисунок.

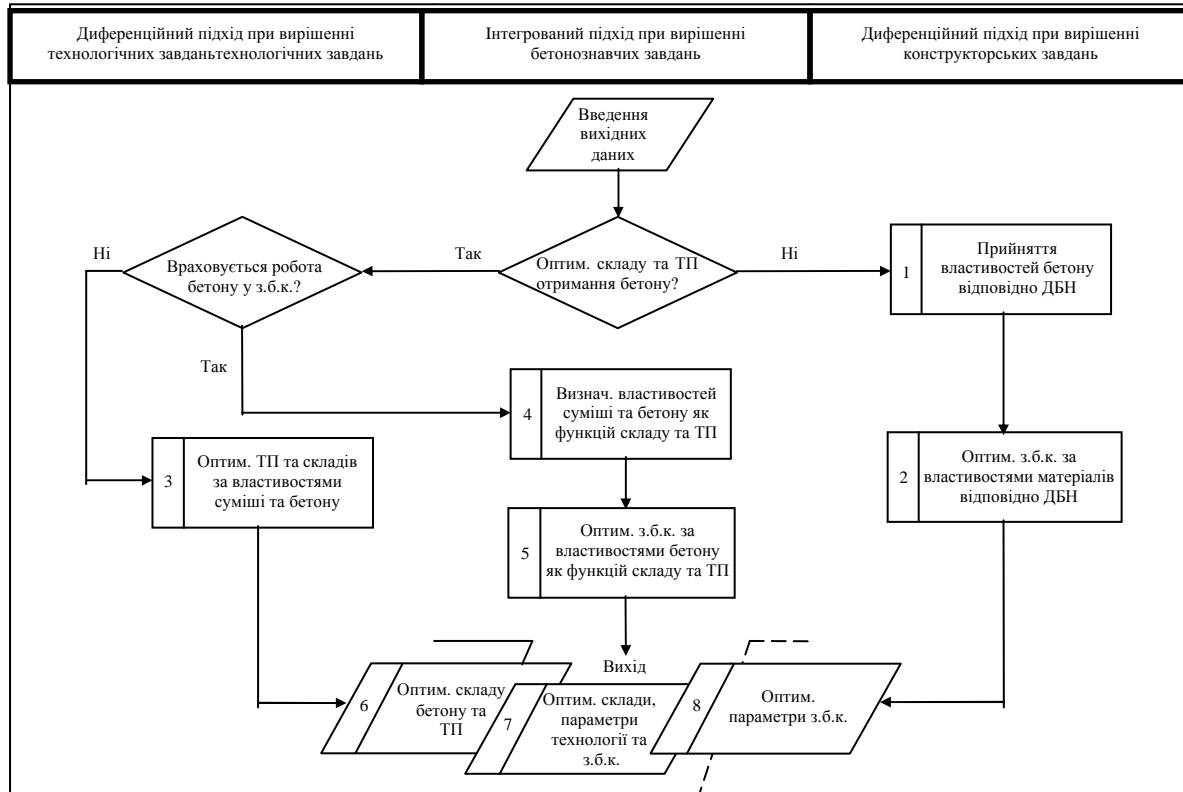


Рис. Блок-схема оптимізаційних завдань бетонознавства:

ТП – технологічні параметри; з.б.к. – залізобетонні конструкції; оптим. – оптимізація

Як видно з рисунка, результатом рішень в традиційній постановці технологічних завдань (п. 3) є оптимальний склад бетону і/або технологічні параметри його одержання (п. 6), а конструкторських завдань (п. 1 і 2) – оптимальні геометричні розміри конструкції, характеристики бетону і розташування арматури в залізобетонній конструкції, відповідно до норм ДБН (п. 8). При інтегрованому ж підході (п. 4 і 5) визначення складу бетону, технологічних параметрів виготовлення і параметрів залізобетонної конструкції розглядається як єдина задача, результатом вирішення якої є не тільки оптимальні склад і технологія виготовлення

залізобетонної конструкції, але і її оптимальні геометричні розміри і армування (п. 7).

У загальному випадку при інтегрованому підході для оптимізації складів бетону як цільову функцію доцільно прийняти вартість одиниці об'єму залізобетонної конструкції

$$C_{bc}(x) = \sum c_i + (\sum T_{ja} c_{ja})/V_b, \quad (1)$$

де V_b – об'єм бетону в конструкції, m^3 ; c_i – вартість i -ї ($i = 1, \dots, I$) складової бетонної суміші в одиниці об'єму бетону, $руб./m^3$; T_{ja} – маса арматури j -го класу ($j = 1, \dots, J$) у виробі, т; c_{ja} – вартість

одиниці маси арматури j -го класу, руб./т; x – варійовані параметри (у формулі (1) і далі в символі Σ індекси підсумовування вилучені).

Завдання оптимізації складу бетону з урахуванням вимог, що висувають як до властивостей бетонної суміші (наприклад, за рухливістю, нерозшарованістю, об'ємом зернових порожнин та ін.) і бетону (наприклад, за середньою густиною, міцністю, морозостійкістю та ін.), так і до залізобетонної конструкції, для виготовлення якої цей бетон призначений (наприклад, за міцністю, жорсткістю, тріщиностійкістю та ін.), сформулюємо таким чином: знайти витрати складових бетонної суміші x_i , при яких забезпечується мінімальна вартість матеріалів в одиниці об'єму залізобетонної конструкції $C_{bc}(x)$ і виконуються вимоги, що висувають як до властивостей бетонної суміші та бетону, так і до конструкції з цього бетону, або, в математичній постановці знайти значення

$$x \cdot (x_1, \dots, x_i), \quad (2)$$

при яких

$$C_{bc}(x) \Rightarrow \min \quad (3)$$

і одночасно виконуються вимоги, що висувають до таких чинників:

– властивостей бетонної суміші та бетону

$$\varphi_{mb}(x_i) \cdot \mathcal{R}[\varphi_{mb}(x_i)]; \quad (4)$$

– властивостей залізобетонної конструкції

$$\varphi_c(x_i, x_p, x_j) \cdot \mathcal{R}[\varphi_c(x_i, x_p, x_j)]; \quad (5)$$

– витрат складових бетонної суміші

$$x_i \cdot \mathcal{R}[x_i]; \quad (6)$$

– розмірів конструкції

$$x_p \cdot \mathcal{R}[x_p]; \quad (7)$$

– її армування

$$x_j \cdot \mathcal{R}[x_j], \quad (8)$$

де x_i – варійовані параметри, що показують витрати складових бетонної суміші в 1 м^3 бетону; x_p і x_j – параметри, що характеризують відповідно розміри і армування конструкції; $\varphi_{mb}(x_i)$ – функції відгуку, що являють собою властивості бетонної суміші і бетону, які залежать від складових бетонної суміші x_i ; $\varphi_c(x_i, x_p, x_j)$ – функції, що є властивостями конструкції і залежні від складових бетонної суміші x_i , її розмірів x_p і армування x_j ; $[\varphi_{mb}(x_i)]$, $[\varphi_c(x_i, x_p, x_j)]$ – допустимі значення функцій відгуку $\varphi_{mb}(x_i)$ і $\varphi_c(x_i, x_p, x_j)$; $[x_i]$, $[x_p]$ і $[x_j]$ – той же змінних параметрів x_i , x_p і x_j ; символ \mathcal{R} позначає знаки $<$, $=$, $>$, \leq або \geq , що використовують при складанні одно- (наприклад, вигляду $x_i \geq [x_i]$) і двосторонніх (наприклад, вигляду $[x_i]' \leq x_i \leq [x_i]''$) обмежень.

Інтегрований підхід відповідає найбільш ефективному вирішенню центральної проблеми будівельного матеріалознавства – отримання будівельних матеріалів і виробів із заданим комплексом властивостей при мінімальних витратах сировинних і енергетичних ресурсів. Така ефективність може бути досягнута при об'єднанні («інтегруванні») «технологічних» і «конструкторських» оптимізаційних задач на основі врахування особливостей роботи матеріалу в конструкції.

Ідея інтегрованого підходу вперше, мабуть, була сформульована і експериментально підтверджена в роботі [31] стосовно оптимізації складів бетону попередньо напружених плит перекриття на шлакопемзовому заповнювачі. Отриманий при цьому ефект обумовлений тим, що при розрахунку конструкцій з легких бетонів підвищення класу бетону на «марку», понад встановлену розрахунком, потрібно для забезпечення необхідної жорсткості або тріщиностійкості виробів.

Однак цього можна уникнути призначенням більш високої міцності на розтягнення або модуля пружності при тій же міцності бетону варіюванням витрат його складових.

Як відомо, діапазон зміни властивостей легких бетонів при цьому досить широкий. Наприклад, для шлакопемзобетону при фіксованій його міцності на стиск на мариупольській шлаковій пемзі він досягає для міцності на осьовий розтяг $\pm(14-18)\%$, модуля пружності $\pm(6-8)\%$, густини в сухому стані $\pm(60-110)\text{ кг/м}^3$; на липецькій шлаковій пемзі для міцності на розтяг при розколванні $\pm(9-16)\%$ і середній густині

ні бетону у сухому стані $\pm(30-75)\text{ кг/м}^3$ від їх середніх значень [31, 32].

Для важкого бетону діапазон зміни фізико-механічних властивостей також досить великий, особливо для величини повзучості бетону при стисненні – її мінімальні і максимальні значення відрізняються в десятки разів (див. таблицю). При цьому зниження деформацій повзучості важкого бетону важливо для забезпечення тріщиностійкості залізобетонних виробів, бо підвищена деформативність бетону призводить до зменшення рівня натягу арматури і появи в них поперечних тріщин.

Таблиця

Діапазони зміни властивостей важкого бетону

R, МПа	Стиснення [32]						Розтягування [32]	
	$C^{max};$ C^{min}	C^{max} $/C^{mi}$	$\epsilon^{max};$ ϵ^{min}	ϵ^{max} $/\epsilon^{min}$	$E^{max};$ E^{min}	$E^{max}/$ E^{min}	$R_p^{max};$ R_p^{min}	$R_p^{max}/$ R_p^{min}
15	$2,8 \cdot 10^{-5};$ $3,0 \cdot 10^{-7}$	93	$4,5 \cdot 10^{-4};$ $2,1 \cdot 10^{-4}$	2,1	$2,6 \cdot 10^3;$ $1,3 \cdot 10^3$	2,0	1,72; 0,26	6,6
20	$2,4 \cdot 10^{-5};$ $9,7 \cdot 10^{-7}$	25	$5,2 \cdot 10^{-4};$ $9,3 \cdot 10^{-5}$	5,6	$2,9 \cdot 10^3;$ $1,5 \cdot 10^3$	1,9	2,13; 0,39	5,5
25	$1,9 \cdot 10^{-5};$ $5,3 \cdot 10^{-7}$	36	$4,9 \cdot 10^{-4};$ $8,2 \cdot 10^{-5}$	6,0	$3,6 \cdot 10^3;$ $1,8 \cdot 10^3$	2,0	2,48; 0,32	7,8
30	$1,0 \cdot 10^{-5};$ $2,1 \cdot 10^{-7}$	48	$3,3 \cdot 10^{-4};$ $1,2 \cdot 10^{-4}$	2,8	$4,8 \cdot 10^3;$ $3,4 \cdot 10^3$	1,4	3,44; 0,87	4,0
R, МПа	Розтягування [32]				Тріщиностійкість [36]			
	$E_p^{max};$ E_p^{min}	$E_p^{max};$ E_p^{min}	$C_p^{max};$ C_p^{min}	$C_p^{max}/$ C_p^{min}	$K_{IC}^{max};$ K_{IC}^{min}	$K_{IC}^{max}/$ K_{IC}^{min}	$K_{IIC}^{max};$ K_{IIC}^{min}	$K_{IIC}^{max}/$ K_{IIC}^{min}
15	$4,1 \cdot 10^3;$ $1,5 \cdot 10^3$	2,7	$2,9 \cdot 10^{-5};$ $2,6 \cdot 10^{-6}$	11	0,58; 0,50	1,2	16,8; 15,8	1,1
20	$4,5 \cdot 10^3;$ $1,7 \cdot 10^3$	2,6	$2,3 \cdot 10^{-5};$ $2,8 \cdot 10^{-6}$	8	0,62; 0,30	2,1	17,0; 12,1	1,4
25	$4,8 \cdot 10^3;$ $2,0 \cdot 10^3$	2,4	$2,2 \cdot 10^{-5};$ $2,9 \cdot 10^{-6}$	7	0,62; 0,35	1,8	16,0; 9,2	1,7
30	$5,5 \cdot 10^3;$ $2,4 \cdot 10^3$	2,3	$1,3 \cdot 10^{-5};$ $3,8 \cdot 10^{-6}$	4	0,66; 0,41	1,6	16,6; 7,0	2,4

Примітка. R і R_p – міцності на стиск і розтяг, МПа; C і C_p – показники повзучості, $(\text{кг/см}^2)^{-1}$; E і E_p – модулі пружності, МПа; ϵ – відносні деформації повзучості, відн. одиниці; K_{IC} і K_{IIC} – критичні КІН при нормальному відриві і плоскому зсуві, $\text{МН/м}^{3/2}$.

Як це видно з таблиці, для забезпечення тріщиностійкості залізобетонних виробів є також значні резерви підвищення міцності бетону на розтяг R_p (від 4,0 до 7,8 разу) і опору розвитку в ньому тріщин відриву K_{IC} і зсуву K_{IIC} – до 2,4 разу.

На закінчення обговорення нового підходу до постановки оптимізаційних задач в бетонознавстві, а саме інтегрованого підходу, відзначимо його дещо відмінну інтерпретацію в роботі [30], в якій ідея інтеграції досліджень у галузі будівельного матеріалознавства і будівельних конструкцій розглядається стосовно раціонального управління властивостями матеріалу в конструкції (як при їх виготовленні, так і зміні властивостей під дією агресивних середовищ) і підпорядкування законів штучного структуроутворення (грунту)

критеріям оптимальності для споруд в цілому.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Сформульовано нову постановку оптимізаційних задач бетонознавства, при якій визначення складу бетону виконується не тільки за властивостями бетонної суміші та бетону, але і властивостями залізобетонної конструкції, для виготовлення якої він призначений. Цільовою функцією при цьому може бути вартість одиниці об'єму залізобетонної конструкції, а обмеженням – властивості бетонної суміші, бетону і залізобетонної конструкції за міцністю, жорсткістю і тріщиностійкістю. Перспектива подальших досліджень пов'язана з практичною реалізацією даного підходу для розрахунку оптимальних складів бетону залізобетонних конструкцій масового виробництва і унікальних об'єктів будівництва.

Список використаних джерел

1. Скрамтаев, Б. Г. Способы определения состава бетона различных видов [Текст] / Б. Г. Скрамтаев, П. Ф. Шубенкин, Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1966. – 159 с.
2. Баженов, Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов [Текст] / Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1975. – 272 с.
3. Кириенко, И. А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов [Текст] / И. А. Кириленко. – К.: Госстройиздат, 1961. – 145 с.
4. Сорокер, В. И. Производственные расчеты состава бетона [Текст] / В. И. Сорокер. – М.: Стройиздат, 1933. – 235 с.
5. Сизов, В. П. Рациональный подбор составов тяжелого бетона [Текст] / В. П. Сизов. – М.: Стройиздат, 1995. – 174 с.
6. Шмигальский, В. Н. Оптимизация составов цементобетонов [Текст] / В. Н. Шмигальский. – Кишинев, 1981. – 123 с.
7. Френкель, И. М. Основы технологии тяжелого бетона [Текст] / И. М. Френкель. – М.: Стройиздат, 1966. – 223 с.
8. Руководство по подбору составов тяжелого бетона [Текст]. – М.: Стройиздат, 1979. – 102 с.
9. Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях [Текст]. – М.: Стройиздат, 1974. – 54 с.
10. Рыбьев, И. А. Оптимизация состава бетона на основе теории ИСК с применением ЭВМ [Текст] / И. А. Рыбьев, Ф. Г. Сулейманов. – М.: ВЗИСИ, 1989. – 110 с.
11. Шеин, В. И. Физико-химические основы оптимизации технологии бетона [Текст] / В. И. Шеин; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – М.: Стройиздат, 1977. – 272 с.
12. Пунагін, В. М. Фізико-аналітичний метод проектування складів бетону [Текст] / В. М. Пунагін, Л. С. Савін [та ін.]. – Дніпропетровськ: НВО «Захист», 1994. – 154 с.

13. Бабушкин, В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст] / В. И. Бабушкин. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
14. Зазимко, В. Г. Оптимизация свойств строительных материалов [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В. Г. Зазимко. – М.: Транспорт, 1981. – 103 с.
15. Гусев, Б. В. Напряженно-деформированное состояние полидисперсного композиционного материала, типа цементного бетона [Текст] / Б. В. Гусев // Тр. Междунар. науч.-практ. конф.: Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее. – М.: РХТУ, 2003. – Т. 1. – С. 71-91.
16. Чернышов, Е. М. Неоднородность строения и закономерности формирования поля внутренних напряжений при силовом нагружении строительных композитов [Текст] / Е. М. Чернышов, Е. И. Дьяченко, А. И. Макеев // Вестник РААСН. – М., 2000. – Вып. 3. – С. 184-193.
17. Баженов, Ю. М. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона [Текст] / Ю. М. Баженов, В. А. Вознесенский. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
18. Дворкин, Л. И. Многофакторное прогнозирование свойств и проектирование составов бетона [Текст] / Л. И. Дворкин, И. Б. Шамбан. – М.: Стройиздат, 1992. – 132 с.
19. Ляшенко, Т. В. Поля свойств строительных материалов (концепция, анализ, оптимизация) [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / Ляшенко Татьяна Васильевна; [ОГАСА]. – Одесса, 2003. – 34 с.
20. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В. А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
21. Дворкин, Л. И. Оптимальное проектирование составов бетона [Текст] / Л. И. Дворкин. – Львов: Вища школа, 1981. – 159 с.
22. Дворкин, О. Л. Проектирование составов бетона (основы теории и методологии) [Текст]: монография / О. Л. Дворкин. – Ровно: УДУВГП, 2003. – 266 с.
23. Файнер, М. Ш. Введение в математическое моделирование технологии бетона [Текст] / М. Ш. Файнер. – Львов: Світ, 1993. – 240 с.
24. Сторк, Ю. Теория состава бетонной смеси [Текст] / Ю. Сторк. – Л.: Стройиздат, 1971. – 238 с.
25. Миронов, С. А. Теория и методы зимнего бетонирования [Текст] / С. А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
26. Пунагін, В. М. Призначення складів гідротехнічного бетону [Текст] / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1998. – 213 с.
27. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст]: учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая шк., 1998. – 319 с.
28. Prastacos, G. An integrated framework for managing change in the new competitive landscape [Text] / G. Prastacos, K. Soderquist, Y. Spanos, L. Wassenhove // Europ. management J., Oxford, 2002. – Vol. 20. – №. 1. – P. 55–71.
29. Грызлов, В. С. Информационно-физические аспекты макроструктурообразования бетона [Текст] / В. С. Грызлов, С. В. Демидов // Изв. вузов. Строительство. – М., 2000. – № 7-8. – С. 39-42.
30. Оптимизация материала конструкции [Текст] / В. М. Бондаренко, В. А. Ивахнюк, В. И. Колчунов [и др.] // Вестник РААСН. – М., 2000. – Вып. 3. – С. 23-25.
31. Кондращенко, В. И. Применение методов оптимизации составов бетона с целью повышения эффективности железобетонных изделий [Текст] / В. И. Кондращенко. – Харьков: ХИИТ, 1990. – 189 с.

32. Львовский, Е. Н. Экспериментально-статистические исследования деформаций ползучести заводского бетона с построением математических моделей второго порядка для их вычисления и прогнозирования [Текст] / Е. Н. Львовский, Г. В. Бордеяну // В кн.: Прочность, деформативность и устойчивость строительных конструкций. – Кишинев: Штиинца, 1977. – С. 3-11.
33. Hassan, A. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPC): A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques [Text] / A. Hassan, S. Jones // Construction and Building Materials, 2012. – Vol. 35. – P. 361–367.
34. Kim, K.Y. Determination of air-void parameters of hardened cement-based materials using X-ray computed tomography [Text] / K.Y. Kim, T.S. Yun, J. Choo, D.H. Kang, H.S. Shin // Construction and Building Materials, 2012. – Vol. 37. – P. 93-101.
35. Łazniewska-Piekarczyk, B. The type of air-entraining and viscosity modifying admixtures and porosity and frost durability of high performance self-compacting concrete [Text] / B. Łazniewska-Piekarczyk // Construction and Building Materials, 2013. – Vol. 40. – P. 659-671.
36. Физико-механические, силовые, энергетические и структуроформирующие параметры бетона [Текст] / К. А. Пирадов, Т. Л. Мамаев, Т. А. Кожабеков, С. М. Марченко // Бетон и железобетон. – 2002. – № 2. – С. 10-12.

Кондращенко Валерій Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів та технологій Московського державного університету шляхів сполучення. Тел. +7 (495) 684-22-75.
E-mail: kondrashchenko@mail.ru.

Кондращенко Олена Володимирівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельного виробництва та будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел. (057)707-31-10. E-mail: zalesk@gmail.com.

ЦЗИН Гоцин, д-р наук, професор Пекінського транспортного університету. Тел. +86 15901173248.
E-mail: gqiinq@bjti.edu.cn.

ВАН Чжуан, магістр кафедри будівельних матеріалів та технологій Московського державного університету шляхів сполучення. Тел. +7 (495) 684-22-75. E-mail: wssyxxjyb@qq.com.

Єрохіна Ганна Вікторівна магістр, кафедра технологій будівельного виробництва та будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел. (057)707-31-10.
E-mail: yerokhina0403@rambler.ru.

Kondrashchenko Valery Ivanovich, Doctor Professor of Department of building materials and technology, Moscow State University of Railway Engineering. Tel.+7 (495) 684-22-75. E-mail: kondrashchenko@mail.ru.

Kondrashchenko Elena Vladimirovna, Doctor Professor of Department of construction technology and building materials, A. N. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov. Tel. (057)707-31-10.
E-mail: zalesk@gmail.com.

JING Guoqing, Ph. D. of Beijing Jiaotong University. Tel.+86 15901173248. E-mail: gqiinq@bjti.edu.cn.

WANG Chuang, master of Department of building materials and technology, Moscow State University of Railway Engineering. Tel. +7 (495) 684-22-75. E-mail: wssyxxjyb@qq.com.

Yerokhina Anna Viktorovna master, Department of construction technology and building materials, A. N. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov. Tel. (057)707-31-10. E-mail: yerokhina0403@rambler.ru.

Стаття прийнята 14.03.2017 р.