

УДК 666.972:693.5

## УПРАВЛІННЯ ВЛАСТИВОСТЯМИ БЕТОНІВ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ МАСИВНИХ СПОРУД, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

ПШІНЬКО О. М.<sup>1</sup>, д.т.н, проф.,  
ГРОМОВА О. В.<sup>2</sup>, к.т.н, доц.,  
ЗІНКЕВИЧ А. М.<sup>3\*</sup>, к.т.н, доц.  
СОЛОВЬОВ А. М.<sup>4</sup>, студ.

<sup>1</sup> Кафедра “Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-1598-2970

<sup>2</sup> Кафедра “Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-5149-4165

<sup>3\*</sup> Кафедра “Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-46, e-mail: zam-ukr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8609-1115

<sup>4</sup> Факультет “Промислове та цивільне будівництво” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна.

**Анотація. Мета.** Метою роботи є розвиток алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд, працюючих у водному середовищі, який дозволяв би приймати певні рецептурні та технологічні рішення, а також здійснювати їх коригування залежно від місцевих мінливих умов. **Методика.** Основні експлуатаційні властивості бетону, пов’язані з характеристиками його структури, можна об’єднати за достатньо чітким зв’язком з В/Ц (міцність, проникність). Наведені зв’язки використані в задачах багатопараметричного проектування складу бетону, де окремі властивості пов’язуються з міцністю на стиск кореляційними залежностями. Проте, ряд властивостей бетону не має однозначного зв’язку з його структурно-механічними характеристиками. Зокрема, тепловиділення – одна з найважливіших властивостей для бетону масивних конструкцій. Для отримання загального алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд необхідно проаналізувати зв’язок тепловиділення бетону при твердінні, температурної тріщиностійкості та його складу. **Результати.** Виконана оцінка вимог до властивостей бетону, що є критеріями управління певними рецептурними чи технологічними рішеннями для забезпечення нормативних та проектних вимог. Виходячи з заданих вимог, задача отримання якісного бетону масивної конструкції вирішується застосуванням рецептурних, технологічних та конструктивних заходів. При розробці алгоритму основними факторами впливу приймаються рецептурні рішення (вміст компонентів в складі бетону та їх характеристики). Технологічні та конструктивні рішення розглядаються як компенсуючі заходи, при неможливості (недоцільності) досягнення необхідного результату тільки за рахунок рецептурних рішень. Таким чином управління властивостями бетону для масивних конструкцій може здійснюватись в наступному порядку: виділення групи факторів, що впливають на основні властивості (теповиділення бетону); аналіз впливу цих факторів на інші контрольовані властивості бетону; обмеження поля допустимих значень факторів; пошук компенсуючих заходів при необхідності порушення поля допустимих значень факторів. **Наукова новизна.** Розглянуте доповнення алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд, працюючих у водному середовищі, який дозволяв би приймати певні рецептурні та технологічні рішення, а також здійснювати їх коригування залежно від місцевих мінливих умов. **Практична значимість.** Отримання алгоритму вирішення наведеної рецептурно-технологічної задачі дозволить для забезпечення необхідної якості бетону масивної конструкції приймати більш гнучкі рішення, коригуючи склад бетону або параметри технології в залежності від зміни деяких вхідних параметрів (умов експлуатації, вимог до бетону певної конструкції згідно з проектом).

**Ключевые слова:** масивні гідротехнічні споруди; тепловиділення бетону; температурна тріщиностійкість; багатопараметричне проектування складу бетону.

## УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ БЕТОНОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МАССИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

ПШІНЬКО А. Н.<sup>1</sup>, д.т.н, проф.,  
ГРОМОВА Е. В.<sup>2</sup>, к.т.н, доц.,  
ЗІНКЕВИЧ А. Н.<sup>3\*</sup>, к.т.н, доц.  
СОЛОВЬЕВ А. Н.<sup>4</sup>, студ.

<sup>1</sup> Кафедра “Управление проектами, здания и строительные материалы” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0002-1598-2970

<sup>2</sup> Кафедра “Управление проектами, здания и строительные материалы” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0002-5149-4165

<sup>3\*</sup> Кафедра “Управление проектами, здания и строительные материалы” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-46, e-mail: zam-ukr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8609-1115

<sup>4</sup> Факультет “Промышленное и гражданское строительство” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина.

**Аннотация. Цель.** Целью работы является развитие алгоритма управления свойствами бетонов для массивных сооружений, работающих в водной среде, позволяющего принимать определенные рецептурные и технологические решения, а также осуществлять их корректирование в зависимости от местных изменяемых условий. **Методика.** Основные эксплуатационные свойства бетона, связанные с характеристиками его структуры, можно объединить по достаточно четкой связи с В/Ц (прочность, проницаемость). Приведенные связи использованы в задачах многопараметрического проектирования состава бетона, где отдельные свойства связываются с прочностью на сжатие корреляционными зависимостями. Тем не менее, ряд свойств бетона не имеет однозначной связи с его структурно-механическими характеристиками. В частности, тепловыделение – одно из важнейших свойств для бетона массивных конструкций. Для получения общего алгоритма управления свойствами бетонов для массивных сооружений необходимо проанализировать связь тепловыделения бетона при твердении, температурной трещиностойкости и его состава. **Результаты.** Выполнена оценка требований к свойствам бетона, которые являются критериями управления определенными рецептурными или технологическими решениями для обеспечения нормативных и проектных требований. Исходя из заданных требований, задача получения качественного бетона массивной конструкции решается применением рецептурных, технологических и конструктивных мер. При разработке алгоритма основными факторами влияния принимаются рецептурные решения (содержание компонентов в составе бетона и их характеристики). Технологические и конструктивные решения рассматриваются как компенсирующие мероприятия, при невозможности (нецелесообразности) достижения необходимого результата только за счет рецептурных решений. Таким образом, управление свойствами бетона для массивных конструкций может осуществляться в следующем порядке: выделение группы факторов, влияющих на основные свойства (тепловыделение бетона); анализ влияния этих факторов на другие контролируемые свойства бетона; ограничение поля допустимых значений факторов; поиск компенсирующих мероприятий при необходимости нарушения поля допустимых значений факторов. **Научная новизна.** Рассмотрено дополнение алгоритма управления свойствами бетонов для массивных сооружений, работающих в водной среде, позволяющего принимать определенные рецептурные и технологические решения, а также осуществлять их корректирование в зависимости от местных изменчивых условий. **Практическая значимость.** Получение алгоритма решения приведенной рецептурно-технологической задачи позволит для обеспечения необходимого качества бетона массивной конструкции принимать более гибкие решения, корректируя состав бетона или параметры технологии в зависимости от изменения некоторых входных параметров (условий эксплуатации, требований к бетону определенной конструкции в соответствии с проектом).

**Ключевые слова:** массивные гидротехнические сооружения; тепловыделение бетона; температурная трещиностойкость; многопараметрическое проектирование состава бетона.

## CONCRETE PROPERTIES MANAGING FOR THE CONSTRUCTION OF MASSIVE STRUCTURES WORKING IN WATER ENVIRONMENT

PSHIN'KO O. M. <sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
GROMOVA O. V. <sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
ZINKEVYCH A. M. <sup>3\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
SOLOVYOV A. M. <sup>4</sup>, *stud.*

<sup>1</sup> Department “Project management, buildings and building material”, Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str., 2, 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-1598-2970

<sup>2</sup> Department “Project management, buildings and building material”, Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str., 2, 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-5149-4165

<sup>3\*</sup> Department “Project management, buildings and building material”, Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str., 2, 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine, +38 (056) 373-15-46, e-mail: zam-ukr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8609-1115

<sup>4</sup> Faculty “Industrial and civil building”, Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str., 2, 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine.

**Abstract. Purpose.** The purpose of the work is to develop an algorithm of concrete properties managing for massive structures, working in water environment, which allows to take certain prescription and technological solutions, as well as to carry out their

adjustments, depending on local conditions changing. **Methodology.** Main performance properties of concrete, connected with its structure characteristics, are possible to combine by sufficiently clear connection with the W/C ratio (strength, permeability). These connections are used in tasks of multi-parameter design of concrete, where some properties are associated with the compressive strength by correlation dependencies. Nevertheless, a number of concrete properties have not sufficiently clear connection with its structural and mechanical characteristics. In particular, the heat emission - one of the most important properties for a massive concrete structures. For obtaining the general algorithm of massive structures concrete properties managing it is necessary to analyze the relationships of hardening concrete heat emission, temperature crack resistance and its composition. **Findings.** The assessment of the requirements for concrete properties, which are the management criteria of certain prescription or technological solutions to provide the codes and design requirements is carried out. On the basis of specified requirements, the task of obtaining high-quality concrete for massive structure is solved using prescription, technological and structural solutions. During developing the algorithm prescription solutions are accepted as main influencing factors (the content of components in the composition of concrete and its characteristics). Technological and structural solutions are considered as compensatory solutions, if it is impossible (not appropriate) to achieve the desired result only by prescription solutions. Thus, massive structures concrete properties managing may be carried out in the order: groups of factors selection that influence on the basic properties (concrete heat emission); analysis of these factors influence on the other controlled properties of the concrete; restricting the allowable values of factors; search compensatory solutions if it is necessary to break the acceptable factors values. **Originality.** An addition for algorithm of concrete properties managing for massive structures, working in water environment, which allows to take certain prescription and technological solutions, as well as to carry out their adjustments, depending on local conditions changing is considered. **Practical value.** Obtaining of algorithm for solving thus prescription – technological task allows to make a more flexible decision for providing the required quality of massive structures concrete, adjusting the concrete mix or technology parameters depending on some input parameters changing (operating conditions, the requirements for a specific concrete structure in accordance with the project).

**Keywords:** massive hydrotechnical structures; concrete heat emission; temperature crack resistance; multi-parameter concrete mix design.

## Вступ

Бетони для виготовлення конструкцій цілого ряду споруд різного призначення, що працюють у водному середовищі, таких як опори мостів, гідротехнічні споруди, знаходяться в особливих умовах як на стадії зведення так і експлуатації. Основна особливість – масивність конструкцій таких споруд, що встановлює додаткові вимоги до обмеження тепловиділення бетону при твердінні. При експлуатації конструкції таких споруд можуть піддаватись агресивним впливам водного середовища, фізичному зношенню поверхні піском та гравієм, кавітаційному пошкодженню поверхні, циклічними впливами в зоні змінного рівня води.

Вивченню проблеми отримання бетонів зі спеціальними властивостями для масивних гідротехнічних споруд та питанням багатопараметричного проектування складу бетону присвячені праці Ю. М. Баженова [1], В. І. Большакова, Л. Й. Дворкіна, О. Л. Дворкіна [2], В. М. Пунагіна, О. М. Пшінька, Н. М. Руденко [3] та інших вчених.

Питання тепловиділення бетону при твердінні, температурного режиму бетону конструкцій та його регулювання, забезпечення термічної тріщиностійкості бетонів масивних конструкцій розглянуті в роботах І. Д. Запорожця, С. Д. Огорокова, А. А. Парійського [4], Л. П. Трапезнікова [5], М. М. Зайченка, О. І. Сердюка [6], М. Collepardi [7], J. Slusarek [8] та інших вчених.

Забезпечення необхідної якості бетону конструкції досягається шляхом вирішення рецептурно-технологічної задачі: підбору складу бетону – кількості складових бетону та їх властивостей, а також, використання певних

технологічних рішень. Цілий ряд рецептурних та технологічних рішень, використання яких дозволяє впливати на температурний режим масивних конструкцій та інші характеристики бетону представлено в наведених працях.

В багатьох випадках, при проектуванні складу бетону та прийнятті технологічних рішень значний вплив мають „місцеві” умови (особливості умов експлуатації, сировинної бази, доступності та вартості компонентів). Отримання алгоритму вирішення такої рецептурно-технологічної задачі з врахуванням комплексу отриманих результатів та розроблених методів дозволило б приймати більш гнучкі рішення, коригуючи склад бетону або параметри технології в залежності від зміни деяких вхідних параметрів (умов експлуатації, вимог до бетону певної конструкції згідно з проектом).

## Мета

Метою роботи є розвиток алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд, працюючих у водному середовищі, який дозволяв би приймати певні рецептурні та технологічні рішення, а також здійснювати їх коригування залежно від місцевих мінливих умов.

## Методика

Основні експлуатаційні властивості бетону, пов’язані з характеристиками його структури, можна об’єднати за достатньо чітким зв’язком з В/Ц (міцність, проникність). Крім того, деякі властивості можна пов’язати з міцністю бетону, а відповідно і з В/Ц, використовуючи додаткові показники (морозостійкість та необхідна кількість втягнутого в суміш повітря).

Наведені зв'язки використані в задачах багатопараметричного проектування складу бетону, де окремі властивості пов'язуються з міцністю на стиск кореляційними залежностями [2].

$$R_t = f(R_{c2}); W = f(R_{c3}); \dots \quad (1)$$

де  $R_t$  - міцність бетону на розтяг;  $W$  - марка бетону за водонепроникністю;  $R_{c2}$ ,  $R_{c3}$  - показники міцності бетону на стиск, що відповідають величинам  $R_t$  та  $W$  за кореляційними залежностями.

Для розрахунку складу бетону приймається найбільше значення міцності:

$$R_c = \max(R_{c1}, R_{c2}, \dots, R_{cn}) \quad (2)$$

Отриманий склад бетону дозволить забезпечити всі задані експлуатаційні властивості.

Проте, ряд властивостей бетону не має однозначного зв'язку з його структурно-механічними характеристиками. Зокрема, тепловиділення – одна з найважливіших властивостей для бетону масивних конструкцій.

Для отримання загального алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд необхідно проаналізувати зв'язок тепловиділення бетону при твердінні, температурної тріщиностійкості та його складу.

Основним фактором, що впливає на тепловиділення бетону в певному віці є екзотермія та вміст цементу [4]:

$$Q_\tau = q_\tau \ddot{O} \quad (3)$$

Аналіз розподілу температур в масиві конструкції дозволяє оцінити рівень температурних деформацій в поверхневому шарі  $\varepsilon_t$ , які, в свою чергу, порівнюються з граничними  $\varepsilon_u$ , тобто встановлюється температурна тріщиностійкість бетону конструкції. Крім того, оцінюється дотримання встановлених нормами вимог до значень максимальної температури розігріву масиву  $t_{\max}$  та різниці температур поверхні і ядра масиву  $\Delta t_u$ .

Таким чином, допустима величина тепловиділення бетону при твердінні, при якій його температурна тріщиностійкість буде забезпечена, встановлюється

$$Q_{\tau,u} = f(q_\tau, \ddot{O}, \varepsilon_t, \varepsilon_u, t_{\max}, \Delta t_u) \quad (4)$$

де  $q_\tau$  – питома тепловиділення цементу;  $\ddot{O}$  – вміст цементу в бетоні;  $\varepsilon_t$  – температурна деформація поверхневого шару бетону;  $\varepsilon_u$  – гранична деформація розтягу бетону;  $t_{\max}$  – допустима температура розігріву масиву;  $\Delta t_u$  – допустима різниця температур поверхні і ядра масиву.

В залежність (4) включені такі фактори як геометричні параметри конструкції, умови середовища твердіння бетону, вплив прийнятих технологічних рішень (через величину  $\varepsilon_t$ , яка визначається фактичною різницею температур

поверхні і ядра масиву  $\Delta t$ ) та структурно-механічні властивості бетону (через величину  $\varepsilon_u$ , що встановлюється відношенням міцності бетону на розтяг  $R_t$  та його модулем пружності  $E$ ).

Характеристики  $R_t$  та  $E$  кореляційними залежностями зв'язуються з міцністю бетону на стиск і враховуються в розрахунку складу за залежністю (2). Величина  $\varepsilon_t$  може вважатись вихідними даними залежно від умов експлуатації та попередньо прийнятих технологічних рішень.

Таким чином, задача обмеження  $Q_{\tau,u}$  та забезпечення температурної тріщиностійкості вирішується шляхом ітераційного коригування двох факторів  $q_\tau$  і  $\ddot{O}$  (показників складу бетону).

При необхідності можуть коригуватись технологічні рішення, впливаючи на величину  $\varepsilon_t$ .

## Результати

*Вимоги до бетону.* Критеріями, за якими здійснюється управління певними рецептурними чи технологічними рішеннями є необхідні властивості бетону, вибір кількісних значень яких здійснюється для забезпечення наступних вимог:

- нормативних – дотримання граничних значень, встановлених нормативними документами (мінімальні класи бетону за міцністю, марки за морозостійкістю та водонепроникністю, мінімально допустимий вміст цементу та максимально допустиме водо-цементне відношення);

- проектних – встановлених розрахунковими оцінками для забезпечення експлуатаційної придатності та терміну служби.

Вимоги до бетону для зведення бетонних та залізобетонних конструкцій споруд різного призначення встановлюються ДБН В.2.6-98:2009 [9], СНиП 2.06.08-87 [10], ДБН В.2.3-14:2006 [11].

Вимоги до гідротехнічних бетонів та їх класифікація встановлювались ГОСТ 4795-53\* [12], де здійснювався наступний поділ: бетон підводний, зони змінного рівня та надводний (за розташуванням в споруді відносно до горизонту води; бетон масивний та немасивний (залежно від масивності споруди); бетон зовнішньої та внутрішньої зони (залежно від розташування в масивній споруді); бетон напірних та безнапірних конструкцій. На сьогодні, ГОСТ 4795-53\* не дійсний, класифікація бетонів здійснюється за ДСТУ Б В.2.7-221:2009 [13] і не передбачає наведеного вище поділу. Загальні вимоги до бетонів, в тому числі масивних, гідротехнічних споруд, встановлюються ДСТУ Б В.2.7-43-96 [14], при чому, окремими пунктами виділяються вимоги до бетону для певних зон гідротехнічних споруд.

Забезпечення необхідної стійкості бетону в середовищі експлуатації обумовлюється виконанням вимог ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [15].

Оскільки умови експлуатації конструкції можуть змінюватись в широких межах (ступінь агресивності, інтенсивність та характер впливів) узагальнити весь комплекс вимог до бетонів масивних споруд, що експлуатуються у водному середовищі досить складно.

В табл. 1 наведено межі значень найбільш поширених вимог окремих нормативних документів до бетонів масивних споруд, що експлуатуються у водному середовищі.

Таблиця 1

**Вимоги до бетонів масивних, гідротехнічних споруд /  
Requirements for concrete of massive hydrotechnical structures**

Нормативний документ	Показники якості бетону			
	клас бетону за міцністю на стиск	клас бетону за міцністю на осьовий розтяг	марка бетону за морозостійкістю	марка бетону за водонепроникністю
СНиП 2.06.08-87 [10]	B5...B35	B <sub>0,8</sub> ...B <sub>3,2</sub>	F50...F600	W2...W20
ДБН В.2.3-14:2006 [11]	≥ B25		F100...F300	≥ W4
ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [15]	B10...B35		F35...F800	W4...W12
ГОСТ 4795-53* [12] (недійсний)	M75...M500		F25...F200	W2...W8

Крім того, в залежності від середовища експлуатації, виду цементу та інших факторів ДСТУ Б В.2.7-43-96 [14] і ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [15] можуть встановлюватись обмеження до мінімального вмісту цементу в бетоні та максимально допустимого водо-цементного відношення.

Важливим фактором, що має значний вплив на склад бетону та нормування його окремих характеристик є тепловиділення при твердінні. Врахування та коригування цієї властивості бетону дозволяє забезпечити вимоги до температурного режиму та термонапруженого стану бетону конструкції, які встановлюються СНиП 3.03.01-87 [16] та ВСН 31-83 [17]. Однією з основних таких вимог є забезпечення різниці температури між ядром та зовнішніми поверхнями масиву 14...20°C. Найбільша допустима температура розігріву масиву повинна встановлюватись розрахунком і не перевищувати 80...90°C, аналогічна характеристика в [7] обмежується 60...70°C.

Допустима швидкість охолодження масивної конструкції повинна встановлюватись розрахунком [16] та забезпечуватись відповідними технологічними рішеннями.

Також, проектом до бетону конструкцій може встановлюватись цілий ряд додаткових вимог, таких як деформативність, зносостійкість, кавітаційна стійкість та інші.

Передумовою ефективної роботи бетону конструкції під час експлуатації є отримання

необхідних показників якості на стадії виготовлення, формування та твердіння. Тобто, для того щоб бетон володів достатньою міцністю, непроникністю, стійкістю в середовищі експлуатації необхідно забезпечити його цілісність та певні характеристики структури – відсутність макродефектів та тріщин.

З усього комплексу вимог до бетонів в залежності від періоду впливу на якість та експлуатаційну придатність конструкції можна виділити дві групи властивостей.

I. Властивості, які забезпечують передумови отримання бетону з необхідними експлуатаційними показниками (отримання бездефектного бетону):

- технологічні характеристики (легкоукладальність, седиментаційна стійкість);
- тепловиділення бетону (забезпечення задовільного температурного режиму твердіння бетону конструкції);
- усадковість бетону.

II. Експлуатаційні показники бетону (забезпечують експлуатаційну придатність конструкції):

- показники міцності;
- проникність бетону (марка за водонепроникністю);
- стійкість в середовищі експлуатації (морозостійкість, зносостійкість і т.д.).

*Управління властивостями бетону.* Задача отримання якісного бетону масивної конструкції вирішується застосуванням наступних груп заходів:

1. Рецептурні: обмеження вмісту цементу; обмеження екзотермії цементу; використання наповнювача; підбір ефективної гранулометрії заповнювачів.

2. Технологічні: зменшення різниці температури поверхневого шару та ядра масиву (утеплення, прогрівання); охолодження вкладеного бетону конструкції (циркуляція холодної води трубопроводами системи охолодження); попереднє охолодження компонентів бетону.

3. Конструктивні: виконання температурно-деформаційних швів; розміщення армування.

При розробці алгоритму основними факторами впливу приймаються рецептурні рішення (вміст компонентів в складі бетону та їх характеристики).

Технологічні та конструктивні рішення розглядаються як компенсуючі заходи, при неможливості (недоцільності) досягнення необхідного результату тільки за рахунок рецептурних рішень. Зміна технологічних рішень в більшості випадків приведе до ускладнення технологічного процесу та збільшення його вартості. Крім того, значно зростає вплив людського фактору на кінцеву якість бетону конструкції.

З іншої сторони, при оптимізації розглянутих рішень за показником вартості рецептурні, технологічні та конструктивні рішення будуть конкурентними.

Основними загальноприйнятими рецептурними рішеннями, які застосовуються для зниження тепловиділення при твердінні бетону є, як вказувалось вище, обмеження вмісту цементу; обмеження екзотермії цементу; використання наповнювача; підбір ефективної гранулометрії заповнювачів.

Оскільки задача управління властивостями бетону є багатопараметричною, то зміна окремого фактору може мати неоднозначний вплив.

Так, низька витрата цементу в бетоні може вплинути на технологічні характеристики суміші – легкоукладальність, водовідділення та понижена зв'язність суміші, зниження щільності та водонепроникності бетону.

Зниження вмісту цементу в бетоні можливе при використанні дрібнодисперсних наповнювачів (наприклад, золи-виносу ТЕС). Проте, при незначних витратах цементу гранична розтяжність бетону може виявитись настільки низькою, що, не дивлячись на низьке тепловиділення, температурна тріщиностійкість бетону не буде забезпечуватись [6].

Крім того, при зниженні витрати цементу значно зростає роль заповнювачів в формуванні властивостей бетону. Забезпечення оптимальних значень поверхні зерен та об'єму порожнин суміші заповнювачів (щебеню та піску) дозволяє зменшити потребу цементного тіста, а отже і цементу, схильність до розшарування і, в той же час, забезпечити необхідну легкоукладальність суміші [2].

Зміна певного фактору (характеристики матеріалів, умов середовища і т.д.) приводить до необхідності коригування складу бетону або параметрів технології, що відображається на більшості властивостей.

Необхідно отримати залежності, за якими можна оцінювати цей вплив і контролювати виконання групи вимог (нормативних та проектних показників), або, при необхідності, використовувати компенсуючі заходи.

Таким чином управління властивостями бетону для масивних конструкцій може здійснюватись для забезпечення, в першу чергу, допустимого тепловиділення і виконуватись в наступному порядку:

- виділення групи факторів, що впливають на тепловиділення бетону;
- аналіз впливу цих факторів на інші контрольовані властивості бетону;

- обмеження поля допустимих значень факторів;
- пошук компенсуючих заходів при необхідності порушення поля допустимих значень факторів.

### Наукова новизна та практична значимість

Розглянуте доповнення алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд, працюючих у водному середовищі, який дозволяв би приймати певні рецептурні та технологічні рішення, а також здійснювати їх коригування залежно від місцевих мінливих умов.

Отримання алгоритму вирішення наведеної рецептурно-технологічної задачі дозволить для отримання необхідної якості бетону масивної конструкції приймати більш гнучкі рішення, коригуючи склад бетону або параметри технології в залежності від зміни деяких вхідних параметрів (умов експлуатації, вимог до бетону певної конструкції згідно з проектом).

### Висновки

1. Для отримання загального алгоритму управління властивостями бетонів для масивних споруд необхідно встановити залежності між деякими властивостями бетону та його структурно-механічними характеристиками, які можуть не мати однозначного зв'язку (теповиділення бетону при твердінні, температурна тріщиностійкість та його склад).

2. Задача отримання якісного бетону масивної конструкції може вирішуватись застосуванням рецептурних, технологічних та конструктивних заходів. При розробці алгоритму основними факторами впливу приймаються рецептурні рішення (вміст компонентів в складі бетону та їх характеристики). Технологічні та конструктивні рішення розглядаються як компенсуючі заходи, при неможливості (недоцільності) досягнення необхідного результату тільки за рахунок рецептурних рішень.

3. Отримання алгоритму вирішення наведеної рецептурно-технологічної задачі дозволить для отримання необхідної якості бетону масивної конструкції приймати більш гнучкі рішення, коригуючи склад бетону або параметри технології в залежності від зміни деяких вхідних параметрів (умов експлуатації, вимог до бетону певної конструкції згідно з проектом).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М.: Высшая школа, 1987. – 449 с.  
Vazhenov Yu. M. Tekhnolohiya betona [Concrete technology]. – Moscow, Vysshaya shkola Publ, 1987. – 449 p.
2. Большаков, В.И. Основы теории и методологии многопараметрического проектирования составов бетона :

Монография / В. И. Большаков, Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Днепропетровск : Континент, 2006. – 364с.

Bol'shakov V.I., Dvorkin L.Y., Dvorkin O.L. Osnovy teorii i metodolohii mnohoparametricheskoho proektirovaniya sostavov betona [Fundamentals of the theory and methodology of multi-parameter design of concrete compositions]: Monohrafiya. – Dnepropetrovsk : Kontynent Publ, 2006. – 364 p.

3. Пунагін, В.М. Проектування складу гідротехнічного бетону. Монографія. / Пунагін В.М.,

Пшінько О.М., Руденко Н.М. – Дніпропетровськ, Арт-Прес, 1998. – 192 с.

Punagin V.M., Pshin'ko O.M., Rudenko N.M. Proektuvannya skladu gidrotekhnichnogo betonu [Designing of hydrotechnical concrete]. Monografiya. – Dnipropetrovs'k, Art-Pres Publ, 1998. – 192 p.

4. Запорожец, И.Д. Тепловыделение бетона / И. Д. Запорожец, С. Д. Огороков, А. А. Парийский. – Ленинград Москва : Стройиздат, 1966. – 314 с.

Zaporozhets I.D., Okorokov S.D., Pariyskiy A.A. Teplovydelenie betona [Heat emission of concrete]. – Leningrad Moskva : Stroyizdat Publ, 1966. – 314 p.

5. Трапезников, Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений / Л. П. Трапезников. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.

Trapeznikov L.P. Temperaturnaya treschinostoykost' massivnykh betonnykh sooruzheniy [Thermal crack resistance of massive concrete structures]. – Moscow.: Energoatomizdat Publ, 1986. – 272 p.

6. Зайченко, Н.М. Бетоны с высоким содержанием золы для массивных железобетонных конструкций / Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, випуск 2013-1(99) С. 137-144.

Zaychenko N.M., Serdyuk A.I. Betony s vysokim sodержaniem zoly dlya massivnykh zhelezobetonnykh konstruksiy [Concrete with ash high content for massive concrete structures]. Visnyk Donbas'koyi natsional'noyi akademiyi budivnytstva i arhitektury [Bulletin of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture], 2013, issue 1(99), pp. 137-144.

7. Collepardi, M. Self-consolidating concrete in the presence of fly-ash for massive structures [Virtual Resource] / Mario Collepardi. Access Mode : URL : [www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/scc/1.pdf](http://www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/scc/1.pdf).

Collepardi M. Self-consolidating concrete in the presence of fly-ash for massive structures. Available at: URL : [www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/scc/1.pdf](http://www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/scc/1.pdf).

8. Slusarek, J. Hardening concrete effects in massive structures [Virtual Resource] / Jan Slusarek // EJPAU, 2008, Volume 11, Issue 2 Civil Engineering. Access Mode : URL : <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue2/art-06.pdf>. Date of Access: 10 April 2008.

Slusarek J. Hardening concrete effects in massive structures. EJPAU, 2008, Volume 11, Issue 2 Civil Engineering. Available at: URL : <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue2/art-06.pdf>. (Accessed 10 April 2008).

9. Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Введ. 2011-07-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya [State building codes V.2.6-98: 2009. Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete constructions. General provisions]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny Publ, 2011. – 71 p.

10. СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Введ. 1988-01-01. М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1988. - 32 с.

SNiP 2.06.08-87 Betonnyie i zhelezobetonnyie konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Building codes 2.06.08-87. Concrete and reinforced concrete constructions of hydrotechnical structures]. М.: TsITP Gosstroya SSSR Publ. 1988. - 32 p.

11. Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. Введ. 2007-02-01. Київ: Мінрегіонбуд України, 2006.

DBN V.2.3-14:2006 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya [State building codes V.2.3-14:2006 Transport structures. Bridges and pipes. Design rules]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny Publ, 2006.

12. ГОСТ 4795-53\* Бетон гидротехнический. Общие требования. Введ. 1957-04-01. М.: Стандартиз. 1957.

GOST 4795-53\* Beton gidrotekhnicheskij. Obschie trebovaniya [State Standard 4795-53\* Concrete hydrotechnical. General requirements]. М.: Standartgiz Publ. 1957.

13. Державний стандарт України ДСТУ Б В.2.7-221:2009 Бетони. Класифікація і загальні технічні вимоги. Введ. 2009-12-22. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 9 с.

DSTU B V.2.7-221:2009 Betony. Klasifikatsiya i zagal'ni tehnicni vymogy [State Standard B V.2.7-221:2009 Concretes. Classification and general technical requirements]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny Publ, 2010. – 9 p.

14. Державний стандарт України ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови. Введ. 1997-01-01. Київ: Держкоммістобудування України, 1997. – 16 с.

DSTU B V.2.7-43-96 Budivel'ni materialy. Betony vazhki. Tehnicni umovy [State Standard B V.2.7-43-96 Building materials. Concretes heavy. Specifications]. Kyiv: Derzhkommistobuduvannya Ukrayiny, 1997. – 16 p.

15. Державний стандарт України ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, NEQ). Введ. 2011-07-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 56 с.

DSTU B V.2.6-145:2010 Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Zahyst betonnykh i zalizobetonnykh konstruksiy vid koroziyi. Zagal'ni tehnicni vymogy [State Standard B V.2.6-145:2010 Buildings and facilities structures. Corrosion protection for concrete and reinforced concrete structures. General technical requirements]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny Publ, 2010. – 56 p.

16. СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции Введ. 1988-07-01. М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1988.

SNiP 3.03.01-87 Nesushchie i ogradhdayushchie konstruksii [Building codes 3.03.01-87 Bearing and fencing constructions]. М.: TsYTP Hosstroya SSSR Publ. 1988.

17. ВСН 31-83 Правила производства бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений. Введ. 1984-01-01. Минэнерго СССР. 1983.

VSN 31-83 Pravila proizvodstva betonnykh rabot pri vozvedenii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Concrete works rules in the construction of hydrotechnical structures]. Minenergo SSSR. 1983.