

УДК 666.972

**А. В. УШЕРОВ-МАРШАК, А. В. КАБУСЬ, И. А. МИХЕЕВ**

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК НА ТВЕРЖДЕНИЕ ЦЕМЕНТА И БЕТОНА**

Рассмотрены основные положения разработанной информационной системы температурно-временного мониторинга твердения цементов и бетонов с добавками. Предложен подход оценки эффективности добавок на твердение цементов в разных технологиях бетона. Приведены примеры оценки влияния добавок разных типов на твердение цементов.

**калориметрия, температурно-временной мониторинг, эффективность добавок**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Современная технология бетона базируется на росте наукоёмкости бетоноведения за счет вовлечения в его арсенал законов фундаментальных наук – физической и коллоидной химии, химии высокомолекулярных соединений, средств информатики и др. [1–3]. В практику прочно входят новые нормы и термины, методы испытаний некоторых свойств, преимущественно бетонных смесей. Не секрет, что основные технологические достижения связаны с освоением высокоэффективных добавок [4].

Очевидно значительное усложнение составов и многокомпонентности цементов, добавок и самих бетонов. Остается, однако, традиционно качественный, описательный уровень большинства разделов бетоноведения в исследовательском, прикладном и образовательном аспектах. Ряд, казалось бы, самых современных представлений принимаются *argiori*, т. е. бездоказательно. Известны нерезультативные попытки обращения к микроуровню механизмов гидратации и действия добавок.

Явно неадекватны достигнутому технологическому уровню методы информационного обеспечения принимаемых решений в смысле оптимизации использования всё дорожающих материальных и энергетических ресурсов, а также прогнозирования свойств бетона.

Вполне естественно, что параллельно с достижениями в технологиях бетона появляются проблемы. В их числе, безусловно, нерешённая пока проблема совместимости добавок с цементами [5].

### **АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Одно из более перспективных, на наш взгляд, направлений решения столь сложных технологических задач – температурно-временной мониторинг параметров влияния добавок на твердение цементов и бетонов методами калориметрии. Отметим бурный рост объёмов использования различных методов калориметрии в технологии бетона. Многочисленные зарубежные публикации посвящены калориметрическому мониторингу твердения цементов в присутствии добавок [6, 7]. Но практически все они также носят качественный, описательный характер фиксирования изменения показателей тепловыделения под действием добавок. Продолжаются ссылки на применение стандартизированного в США метода вычисления «зрелости» бетона – («Maturity») по температурным данным [8].

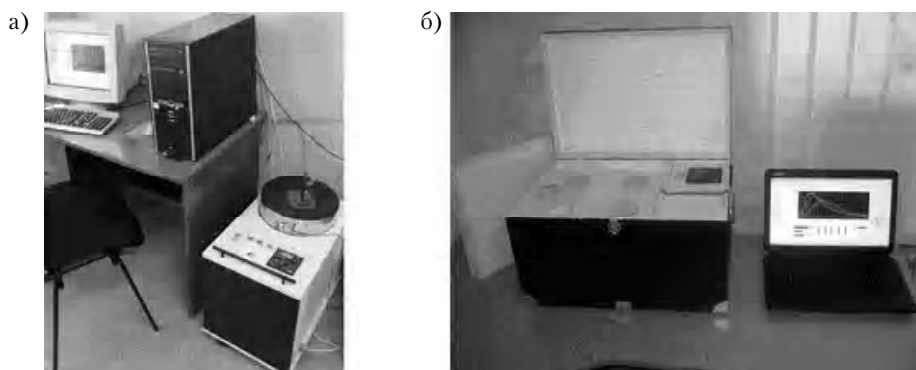
## ЦЕЛЬ

Разработка информационной системы температурно-временного мониторинга (ИС ТВМ) параметров влияния добавок на твердение цементных систем, которая позволит оперативно оценивать совместимость «цемент-добавка» и прогнозировать эффективность влияния добавок в разных технологиях бетона.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В основу разработки положена концепция о количественной оценке влияния добавок на показатели скорости и полноты гидратационного взаимодействия по термокинетическим данным. Температурно-временной мониторинг основан на получении и анализе информации о параметрах непрерывных температурных  $\Delta T = f(\tau)$  и температурно-временных  $T\tau = f(\tau)$  зависимостей твердения цементных систем. При этом мониторинг рассматривается как система непрерывного измерения, регистрации, обработки, хранения, анализа и прогноза температурных параметров с целью принятия и корректировки технологических решений.

Построена система из измерительного и информационного модулей. Измерительный модуль включает прецизионный дифференциальный микрокалориметр (рис. 1, а), используемый на исследовательском этапе, и многоканальный полуадиабатический калориметр (рис. 1, б), применяемый в практических целях.



**Рисунок 1** – Измерительный модуль: а) изотермический микрокалориметр; б) многоканальный полуадиабатический калориметр.

Информационный модуль представлен программным обеспечением в виде многоуровневой системы (рис. 2), которая содержит блок первичного анализа и специализированный блок. Блок первичного анализа предназначен для построения зависимостей  $\Delta T = f(\tau)$  и  $T\tau = f(\tau)$ , выделения основных термокинетических параметров и хранения информации (рис. 3). Значимо выделение трех основных термокинетических параметров:

- 1)  $\tau_i$  – длительность индукционного периода твердения (гидратации);
- 2)  $T_{\max}$  – характеристика интенсивности протекания процессов;
- 3)  $T\tau_n$  – характеристика полноты протекающих реакций в определенный промежуток времени п.

Специализированный блок позволяет оценивать эффективность влияния добавок на твердение в разных технологиях бетона. Для этого рассчитываются показатели эффективности ( $k_r, k_T, k_{T\tau}$ ), как отношения значений термокинетических параметров твердения исследуемых составов к аналогичным параметрам базового состава, определяются схемы влияния добавок, которые сопоставляются с технологическими задачами. Например, технологии летнего товарного бетона соответствует схема «замедление с ускорением». Всего определено 3 основные («ускорение», «замедление», «нейтральное действие») и 24 комбинированные схемы влияния добавок на кинетику твердения («ускорение-замедление», «замедление-ускорение» и т. п.). На рис. 4 представлены наиболее представительные схемы, полученные по температурным данным.

С использованием разработанной методологии температурно-временного мониторинга выполнены масштабные исследования по определению эффективности влияния добавок на твердение цементов [9]. Необходимо отметить, что принципиальные аспекты механизмов гидратации цементов в присутствии добавок органической и неорганической природы до сего времени не ясны. К примеру,

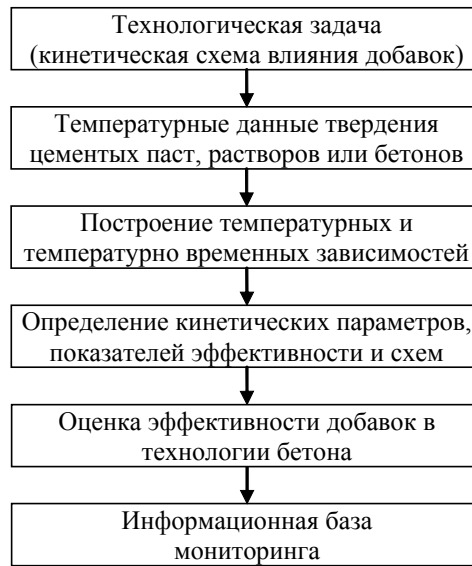


Рисунок 2 – Блок-схема «ИС ТВМ».

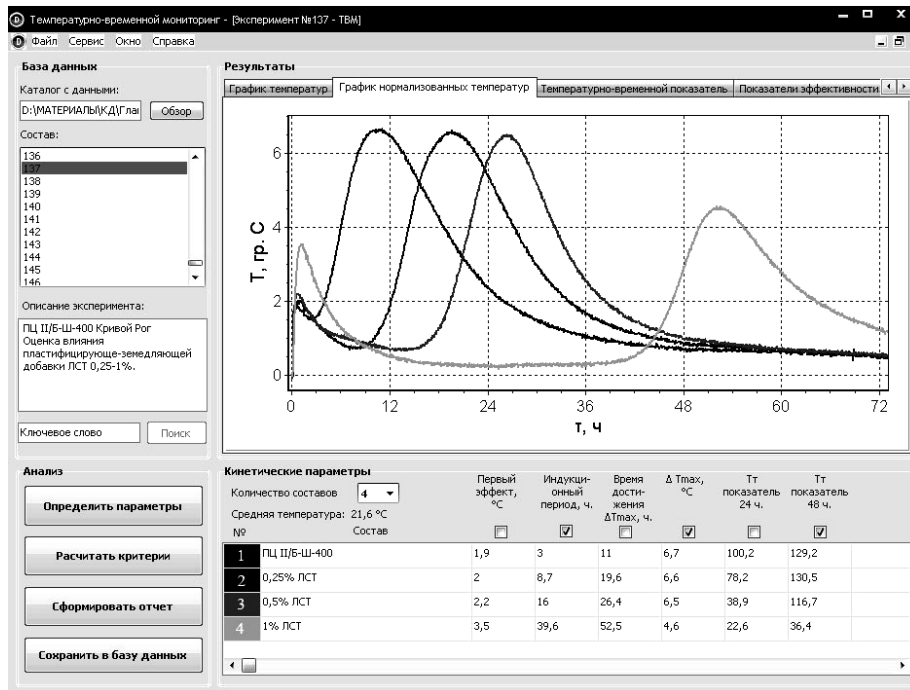
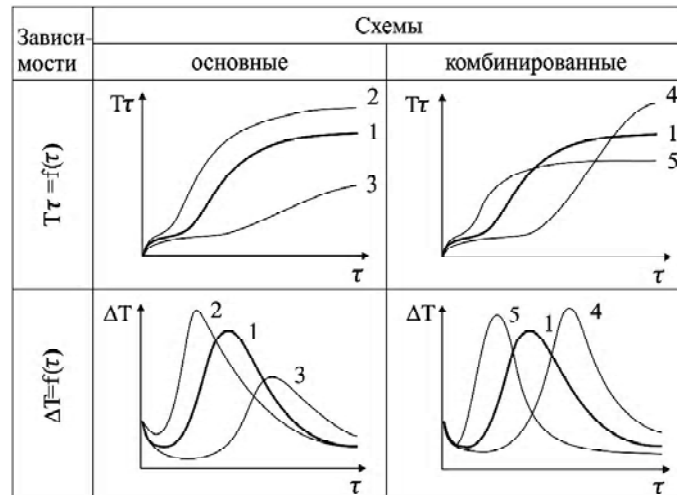


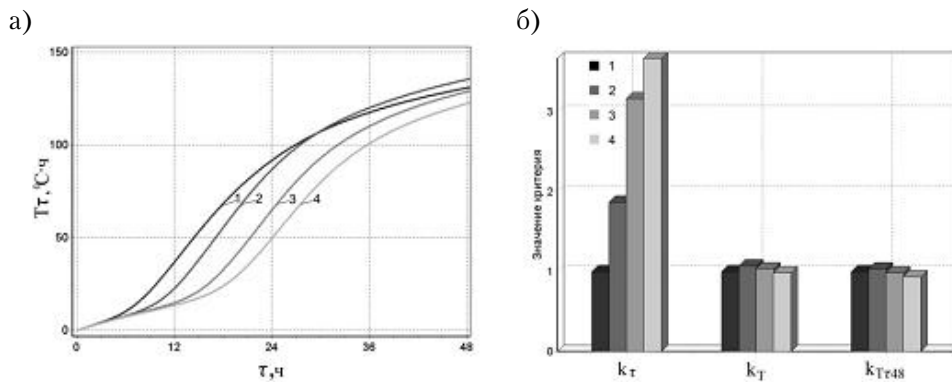
Рисунок 3 – Главное окно программы «ТВМ».

высокая эффективность действия ПАВ поликарбоксилатного типов обеспечивается за счет наложения адсорбционных, электростатических и стерических механизмов действия добавок на самой ранней стадии твердения. Результаты экспериментальных исследований (рис. 5) свидетельствуют об увеличении продолжительности индукционного периода, что взаимосвязано с технологическими эффектами водопонижения, пластифицирования с некоторым замедлением гидратации и темпа нарастания прочности.

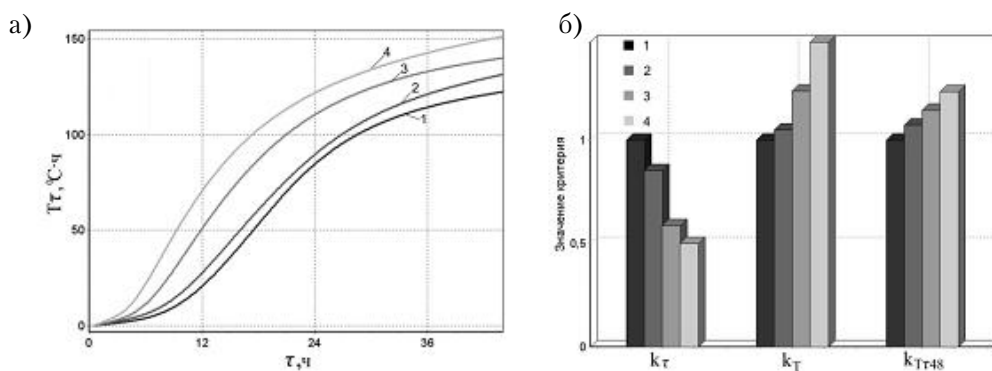
Напротив, лучший ускоритель твердения вяжущих – хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ) резко интенсифицирует гидратационное взаимодействие (рис. 6), о чем свидетельствуют зависимости  $T\tau = f(\tau)$  и значения критериев эффективности –  $k_\tau$ ,  $k_T$  и  $k_{T\tau}$ .



**Рисунок 4** – Схемы влияния добавок: 1 – нейтрального действия; 2 – ускорение; 3 – замедление; 4 – замедление с ускорением; 5 – ускорение с замедлением.

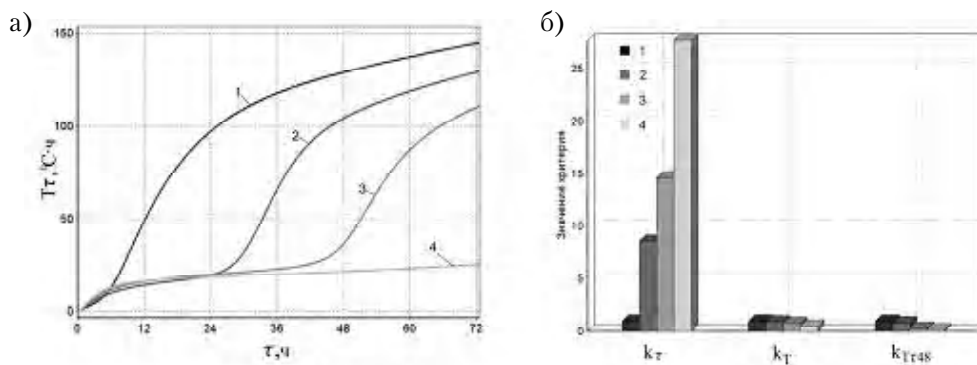


**Рисунок 5** – Влияние суперпластификатора поликарбоксилатной основы на процессы твердения цемента ПЦ II/Б-Ш-400: а) температурно-временной показатель; б) критерии эффективности влияния: 1 – базовый состав; 2, 3 и 4 – 0,5, 1 и 1,5 % добавки от массы цемента, соответственно.



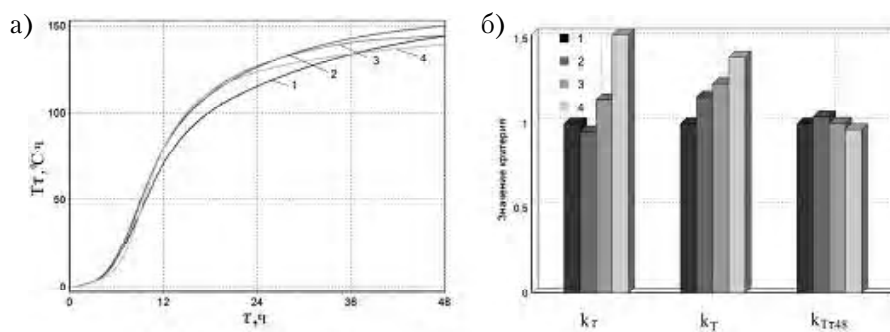
**Рисунок 6** – Влияние ускорителя «CaCl<sub>2</sub>» на твердение цемента ПЦ II/Б-Ш-400: а) температурно-временной показатель; б) критерии эффективности влияния; 1 – базовый состав; 2, 3 и 4 – 0,5, 1,5 и 2,5 % добавки от массы цемента, соответственно.

Ярко выражено влияние замедлителя гидратации – глюкозы (рис. 7). Наблюдается значительный рост продолжительности индукционного периода и подавление процессов твердения за весь экспериментальный период.



**Рисунок 7** – Влияние замедлителя «глюкозы» на твердение цемента ПЦ П/Б-III-400: а) температурно-временной показатель; б) критерии эффективности влияния; 1 – базовый состав; 2, 3 и 4 – 0,15, 0,25 и 0,5 % добавки от массы цемента, соответственно.

Интересен результат изучения влияния специальной добавки суперпластификатора на полиарилсульфонсульфонатой основе [10], которая фактически не замедляет начальную стадию твердения. Незначительный рост длительности индукционного периода компенсируется повышенной интенсивностью твердения цементного раствора (рис.8).



**Рисунок 8** – Влияние суперпластификатора на полиарилсульфонсульфонатой основе на твердение цемента ПЦ I-500: а) температурно-временной показатель; б) критерии эффективности влияния; 1 – базовый состав; 2, 3 и 4 – 0,5, 1 и 1,5 % добавки от массы цемента, соответственно.

Приведенные выше результаты влияния добавок на твердение цементов в рамках разработанной информационной системы «ИС ТВМ» могут быть обработаны в специализированном блоке программы, который позволяет прогнозировать эффективность влияния добавок на твердение в технологии товарного бетона, при изготовлении железобетонных изделий, возведении массивных сооружений и пр.

## ВЫВОДЫ

Оценены целесообразность и потенциальные возможности активного температурно-временного мониторинга процессов твердения, который характеризуется высокой информативностью и оперативностью получаемых данных. Информационная система температурно-временного мониторинга позволяет количественно оценивать влияние добавок любого типа на твердение цементов, что дает возможность судить о совместимости «цемент-добавка» и прогнозировать эффективность добавок в разных технологиях бетона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Collepari, M. The new concrete [Текст] / М. Collepari. – Villorba, Italia : Grafiche Tintoretto, 2006. – 421 p.

2. Neville, A. M. Właściwości betonu. Wyd. 5 [Текст] / A. M. Neville. – Krakow : Wydawnictwo Polski Cement, 2012. – 931 s.
3. Kurdowski, W. Chemia cement i betony. «Polski cementi» [Текст] / W. Kurdowski. – Warszawa : Wyd. Naukowe PWN, 2010. – 728 p.
4. Spiratos, N. Superplasticizers for Concrete : Fundamentals, Technology and Practice [Текст] / N. Spiratos, M. Pagé, N. P. Mailvaganam, V. M. Malhotra, C. Jolicoeur. – Ottawa, Canada: Marquis, 2006. – 322 p.
5. Ушеров-Маршак, А. В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы [Текст] / А. В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 8–12.
6. Possibilities of the use of isoperibolic calorimetry for assessing the hydration behavior of cementitious systems [Текст] / I. Brandstetr, J. Polcer, J. Kratky and oth. // Cem. Contr. Res. – 2001. – V. 31. – P. 941–947.
7. Sandberg, P. Cement-admixture interactions related of aluminate control by isothermal calorimetry [Текст] / P. Sandberg, L. Roberts // 7<sup>th</sup> CANMET / ACI Int. Conf. on Superplas. and Other Chem. Admixtures in Concrete. – Berlin, Germany, 2003. – SP-217. – P. 529–542.
8. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method : ASTM C1074-11 – ASTM International [Текст]. – 2011. – 10 p.
9. Ушеров-Маршак А. В. Калориметрический мониторинг ранних стадий твердения цементов в присутствии добавок [Текст] / А. В. Ушеров-Маршак, А. В. Кабусь // Неорганические материалы. – 2013. – Том 49, № 4. – С. 449–452.
10. Гувалов А. А. Управление структурообразованием цементных систем с полифункциональными суперпластификаторами [Текст] / А. А. Гувалов // Техника и технология силикатов. – 2011. – Т. 18, № 3. – С. 24–27.

Получено 10.12.2013

**О. В. УШЕРОВ-МАРШАК, О. В. КАБУСЬ, И. А. МИХЕЕВ**  
**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ТЕМПАРАТУРНО-ЧАСОВОГО МОНІТОРИНГУ**  
**ВПЛИВУ ДОБАВОК НА ТВЕРДНЕННЯ ЦЕМЕНТІВ І БЕТОНІВ**  
Харківський національний університет будівництва і архітектури

Розглянуто основні положення розробленої інформаційної системи температурно-часового моніторингу твердіння цементів і бетонів з добавками. Запропоновано підхід оцінки ефективності добавок на твердіння цементів в різних технологіях бетону. Наведені приклади оцінки впливу добавок різних типів на твердіння цементів.

**калориметрія, температурно-часовий моніторинг, ефективність добавок**

**ALEXANDER USHEROV-MARSHAK, ALEKSEY KABUS', IVAN MIKHEEV**  
**THE INFORMATION SYSTEM OF TEMPERATURE-TIME MONITORING**  
**EFFECT OF ADDITIVE ON THE HARDENING OF CEMENT AND CONCRETE**  
Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture

The main position by developed information system of time-temperature monitoring of hardening cement and concrete with additives have been discussed. The approach for evaluating the effectiveness of additives hardening cement concrete in different technologies has been proposed. The assessments of the impact of different types of additives on cement hardening have been made as an example.

**calorimetry, temperature-time monitoring, the effectiveness of additives**

**Ушеров-Маршак Олександр Володимирович** – доктор технічних наук, професор кафедри фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Наукові інтереси: термокінетичний аналіз процесів твердіння в'язучих речовин і бетонів, бетони, хімічні та мінеральні добавки.

**Кабусь Олексій Васильович** – аспірант, асистент кафедри фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Наукові інтереси: калориметрія цементу та бетону, добавки в бетон, самоущільнюючий бетон.

**Міхеев Іван Андрійович** – кандидат технічних наук, асистент кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій Харківського національного університету будівництва та архітектури. Наукові інтереси: інформаційні технології у будівництві, математичне і комп'ютерне моделювання, технології штучного інтелекту.

**Ушеров-Маршак Александр Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры физико-химической механики и технологии строительных материалов и изделий Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: термокинетический анализ процессов твердения вяжущих веществ и бетонов, бетоны, химические и минеральные добавки.

**Кабусь Алексей Васильевич** – аспирант, ассистент кафедры физико-химической механики и технологии строительных материалов и изделий Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: калориметрия цемента и бетона, добавки в бетон, самоуплотняющийся бетон.

**Михеев Иван Андреевич** – кандидат технических наук, ассистент кафедры экономической кибернетики и информационных технологий Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: информационные технологии в строительстве, математическое и компьютерное моделирование, технологии искусственного интеллекта.

**Usherov-Marshak Alexander** – DSc (Eng.), professor, Physico-Chemical Mechanics and Technology of Building Materials and Products Department, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermo-kinetic analysis of the processes of hardening binders and concrete, concrete, chemical and mineral additives.

**Kabus' Aleksey** – post-graduate student, assistant, Physico-Chemical Mechanics and Technology of Building Materials and Products Department, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calorimetry of cement and concrete, concrete additives, self-compacting concrete.

**Mikheev Ivan** – PhD (Eng.), assistant, Economic Cybernetics and Information Technologies Department, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: information technology in construction, mathematical and computer modeling, artificial intelligence technology.