

## МЕТОД ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК В БЕТОН

**А.В. Ушеров-Маршак, И.А. Михеев, А.В. Кабусь**

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
61002, Харьков, ул. Сумская, 40,  
тел. (057) 706-18-25, e-mail: calorimetry\_centra@ukr.net

**В.П. Слипушенко**

ННЦ «Институт метрологии»,  
61002, Харьков, ул. Мироносицкая, 42,  
тел. (057) 704-98-06, e-mail: [vsl@metrology.kharkov.ua](mailto:vsl@metrology.kharkov.ua)

*Development of calorimetric method of time-temperature monitoring of hardening cement with admixtures, which may allow evaluating the effectiveness of their use in various technologies of concrete, is discussed.*

**Введение.** 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. Не секрет, что основные технологические достижения связаны с освоением высокоэффективных добавок [1].

Явно неадекватны достигнутому технологическому уровню методы информационного обеспечения принимаемых решений в смысле оптимизации использования всё дорожающих материальных и энергетических ресурсов. Одно из перспективных, на наш взгляд, направлений решения столь сложных технологических задач – температурно-временной мониторинг влияния добавок на твердение цементов и бетонов методами калориметрии. Многочисленны зарубежные публикации, посвящены калориметрическому мониторингу твердения цементов в присутствии добавок [2,3]. Но практически все они носят качественный, описательный характер фиксирования изменения показателей тепловыделения под действием добавок, поэтому разработка метода количественной оценки с применением установленных критериев эффективности является актуальной задачей.

**Сущность исследований.** В калориметрическом центре ХНУСА был спроектирован строительный калориметр термосного типа (рис.1) [4] и проведены калориметрические исследования [5], которые создали предпосылки для разработки метода температурно-временного мониторинга твердения цементных систем, позволяющего количественно оценивать эффективность добавок.

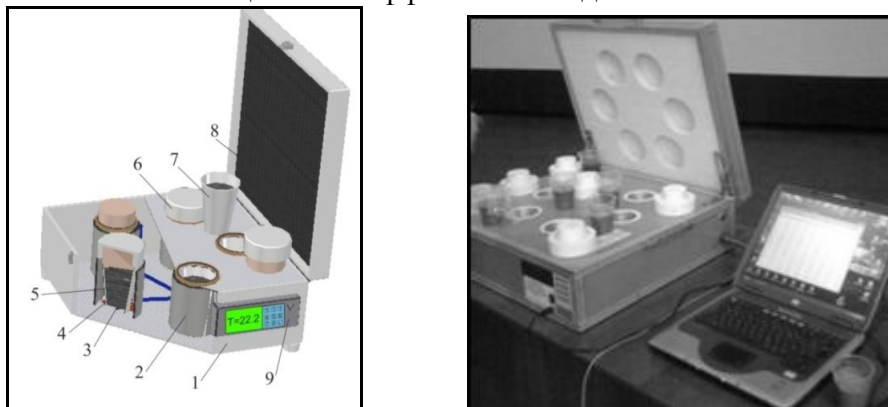


Рис.3. Полуадиабатический калориметр

1 – корпус; 2 – теплоизолирующая система; 3 – температурный тонкопленочный датчик; 4 – испытываемые образцы; 5 – измерительные ячейки; 6 – изолирующая крышка; 7 – затвердевший состав; 8 – крышка прибора; 9 – многоканальный измеритель.

Понятие «температурно-временной мониторинг (ТВМ)» охватывает систему непрерывного измерения, регистрации, обработки, хранения, анализа и прогноза кинетических параметров твердения цементных систем. Основная цель проведения ТВМ – получение количественной информации для корректировки и / или принятия рецептурно-технологических решений.

Для осуществления ТВМ и удобства его практического применения была создана информационная система поддержки принятия решений «ИС ТВМ», структура которой состоит из четырех функциональных уровней:

- аппаратный – включает полуадиабатический калориметр с автоматизированной системой регистрации и хранения температурных данных на компьютере;

- экспертный – основан на знаниях экспертов, глубоко ориентирующихся в области калориметрического анализа и технологий бетона. Поддерживается администрирующим персоналом, который анализирует и систематизирует результаты мониторинга и технологической информации, усовершенствуя динамическую модель обработки и представления экспериментальных данных;

- логический – представляет собой методологию (алгоритм) оценки эффективности в соответствии с установленными на экспертном уровне требованиями. Алгоритм состоит из последовательности продукционных правил вида:

«ЕСЛИ <условие> ТО <значение>»,

объединенных между собой логическими операторами «И», «ИЛИ»;

- информационный – обеспечивает возможность конечным пользователям, получать, модифицировать и хранить информацию в соответствии с заложенной в системе логикой. Он реализуется с помощью компьютерной программы (Рис.2).

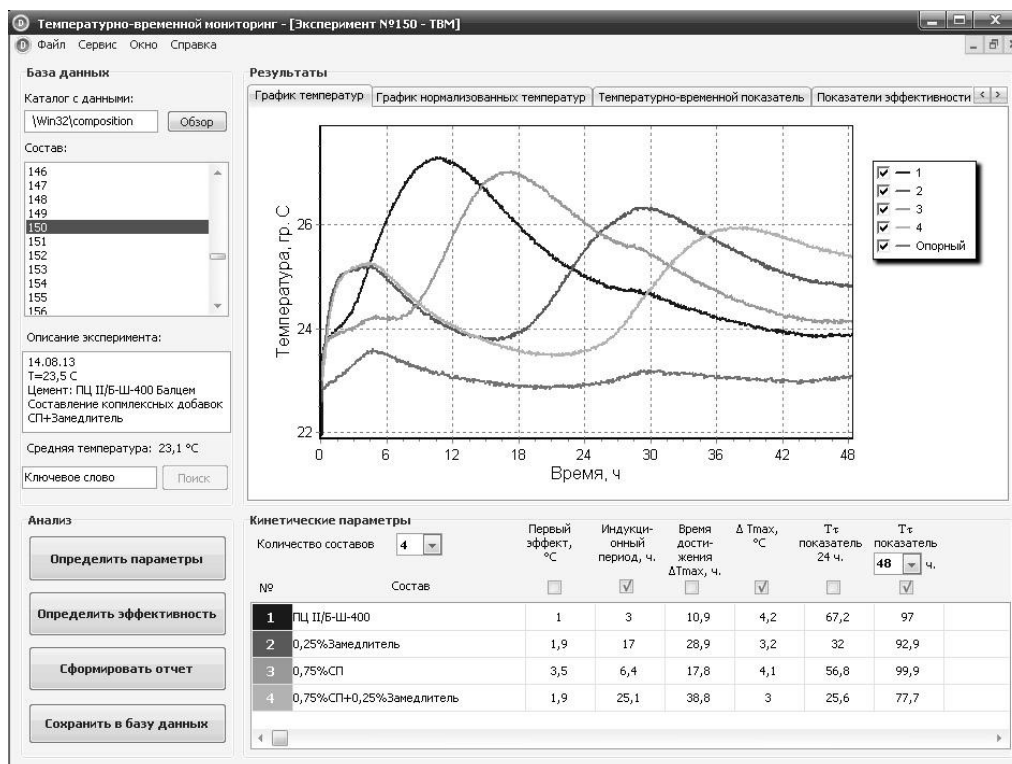


Рис. 2. Интерфейс компьютерной программы «ТВМ»

Основные функции программы «ТВМ»:

- построение зависимостей  $T = f(\tau)$ ;  $\Delta T = f(\tau)$  и  $T\tau = f(\tau)$ ;
- определение значений кинетических параметров и представление их в табличном виде;

- расчет критериев эффективности, визуализация полученных результатов с помощью диаграмм;
- определение схем влияния добавок на процессы твердения вяжущих веществ;
- оценка эффективности добавок в цементы и бетоны
- редактирование базы знаний (технологических правил оценки эффективности);
- сохранение в базу данных результатов и дополнительной информации о составах, условиях проведения эксперимента и т.д.;
- генерирование отчетной документации по результатам работы интеллектуальной информационно-измерительной системы мониторинга и оценки эффективности добавок в цементы и бетоны.

Наиболее важная часть ИС ТВМ – это формирование на основании установленных экспертами алгоритмов оценки эффективности уровня влияния добавки на твердение цемента, который может быть: высоким, средним, низким или негативным (рис.3.). Применение добавок с высоким уровнем влияние позволяет повысить эффективность их использования, и как следствие – оптимизировать рецептурно-технологическое решение.

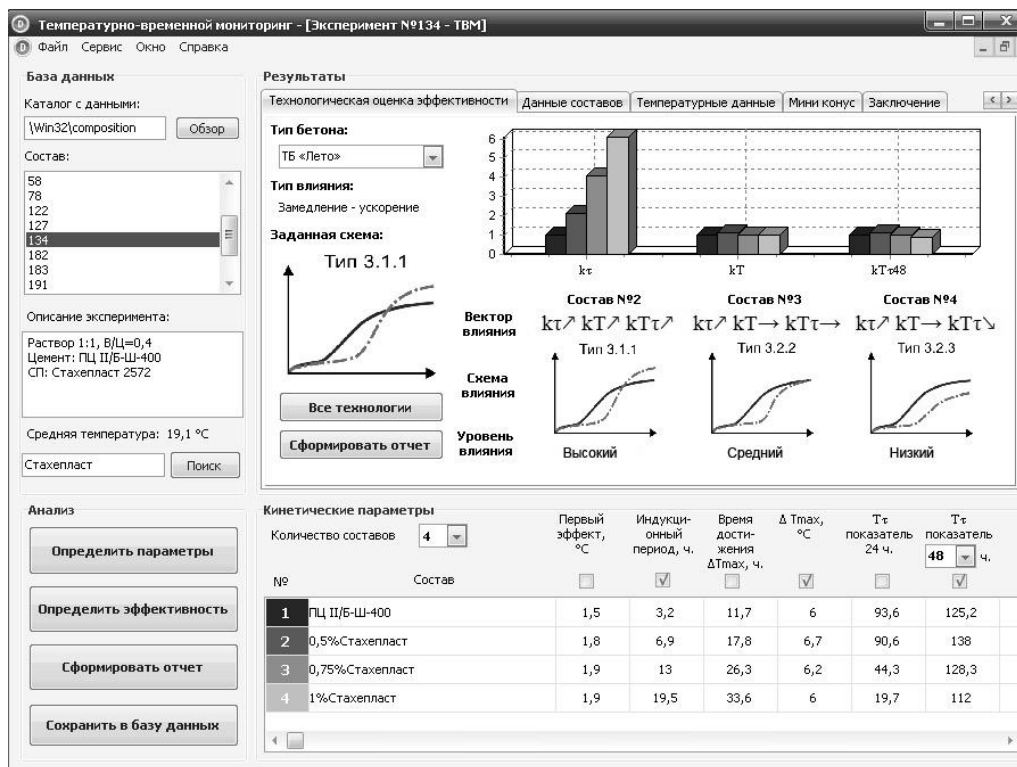


Рис. 3. Окно критериального анализа оценки эффективности добавок

**Вывод.** Оценены целесообразность и потенциальные возможности активного температурно-временного мониторинга процессов твердения, который характеризуется высокой информативностью и оперативностью получаемых данных. Применение современных информационных систем в сочетании с прогрессивными измерительными модулями, а также апробированными моделями представления знаний позволило существенно развить методологию решения актуальных практических задач мониторинга и оценки эффективности добавок, повысить результативность и точность принимаемых решений. Разработанный метод при соответствующей адаптации может быть использован в других областях температурных измерений, требующих систематизации и сложной обработки данных.

## Список литературы

1. Каприелов С.С. Новые модифицированные бетоны / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян – М.: «Навруз», 2010. – 258 с.
2. Standard practice for measuring hydration kinetics of hydraulic cementitious mixtures using isothermal calorimetry: ASTM C1679-08 - USA: ASTM International, 2008. – 14 p.
3. Sandberg P. Monitoring and Evaluation of Cement Hydration by Semi-Adiabatic Field Calorimetry / P. Sandberg, S. Liberman // ACI Special Publ. SP-241 – 2007. – P. 13-24.
4. Ушеров-Маршак А.В., Сопов В.П., Токарев В.А., Кабусь А.В., Краснонос Д.А. Универсальный калориметрический комплекс для анализа тепловыделения вяжущих и бетонов // Метрологія та вимірювальна техніка: VII міжн. наук.- техн..конф. Харків, 12-14 жовт.2010 р. – Харків, 2010. – С. 286-289.
5. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрический мониторинг ранних стадий твердения цементов в присутствии добавок / А.В. Ушеров-Маршак, А.В. Кабусь // Неорганические материалы, 2013, том 49, № 4. – С. 449-452.