



АСПАП ЖАСАУ  
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ  
INSTRUMENT MANUFACTURE

DOI 10.51885/1561-4212\_2021\_1\_91  
MPHTI 59.45.31

**Е.Б. Утепов<sup>1,2</sup>, А.С. Тулебекова<sup>1,2</sup>, Ш.Ж. Жарасов<sup>2</sup>, С.А. Абдулина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «CSI Research & Lab», Нур-Султан, Қазақстан

<sup>1</sup>E-mail: [utepov-elbek@mail.ru](mailto:utepov-elbek@mail.ru)

<sup>1</sup>E-mail: [krasavka5@mail.ru](mailto:krasavka5@mail.ru)

<sup>2</sup>НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Қазақстан

<sup>2</sup>E-mail: [zhshzh95@gmail.com](mailto:zhshzh95@gmail.com)

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Қазақстан

<sup>3</sup>E-mail: [Abdulina.saule@mail.ru](mailto:Abdulina.saule@mail.ru)\*

## ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

### БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІН ӨЛШЕУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУДЫҢ ЕҢ ҮЗДІК ТӘЖІРИБЕЛЕРІ

#### BEST PRACTICE IN CONCRETE STRENGTH MEASUREMENT SYSTEMS

**Аннотация.** Строительство монолитных зданий и сооружений в настоящее время является скоростным, всесезонным и круглосуточным технологическим процессом, проводимым в любых климатических условиях. Знание и понимание внешних и внутренних характеристик твердения бетона, таких как относительная влажность и температура, позволяет определить полную картину о наборе прочности бетона. Сегодня методы прогнозирования прочности бетона основаны на современных технологиях, таких как встроенные датчики и сенсоры, машинное обучение и искусственный интеллект. В статье представлен обзор измерительных систем для температурно-прочностного контроля бетона. Обсуждение применения данных систем, технологических особенностей, преимуществ и недостатков является важным для понимания различных моментов. В работе приводятся лучшие практики мира и результаты их применения, на основании чего представлены преимущества «умных технологий».

**Ключевые слова:** датчик, бетон, температурно-прочностной контроль, анализ, опыт

**Аңдатпа.** Монолитті ғимараттар мен құрылыстарды салу қазіргі уақытта кез келген климаттық жағдайда жүргізілетін жоғары жылдамдықты, барлық маусымдық және тәулік бойы жұмыс істейтін технологиялық процесс болып табылады. Салыстырмалы ылғалдылық пен температура сияқты бетонның қатаюының сыртқы және ішкі сипаттамаларын білу және түсіну бетонның беріктігінің толық көрінісін анықтауға мүмкіндік береді. Бүгінгі таңда бетонның беріктігін болжау әдістері кіріктірілген датчиктер мен сенсорлар, машиналық оқыту және жасанды интеллект сияқты заманауи технологияларға негізделген. Мақалада бетонның температурасын және беріктігін бақылауға арналған өлшеу жүйелеріне шолу жасалады. Өртүрлі мәселелерді түсіну үшін осы жүйелерді, технологиялық ерекшеліктерді, артықшылықтар мен кемшіліктерді қолдануды талқылау маңызды болып табылады. Жұмыста әлемнің үздік тәжіри-

белері және оларды қолдану нәтижелері келтірілген, соның негізінде «ақылды технологиялардың» артықшылықтары ұсынылған.

**Түйін сөздер:** датчик, бетон, температура мен беріктігін бақылау, анализ, тәжірибесі.

**Abstract.** Construction of monolithic buildings and structures nowadays is a high-speed, all-season and round-the-clock technological process carried out in any climatic conditions. Knowing and understanding the external and internal curing characteristics of concrete, such as relative humidity and temperature, allows you to determine a complete picture of concrete strength gain. Today, methods of predicting concrete strength are based on modern technology such as embedded sensors and sensors, machine learning and artificial intelligence. This article presents an overview of measuring systems for temperature and strength control of concrete. Discusses the applications of these systems, technological features, advantages and disadvantages that are important to understand the various points. The paper cites the best practices of the world and the results of their application, based on which the advantages of «smart technology» are presented.

**Keywords:** sensor, concrete, temperature and strength control, analysis, experience.

*Введение.* Для оценки состояния конструкций зданий и сооружений необходим всесторонний анализ факторов, влияющих на их эксплуатационные характеристики – прочность бетона, защитный слой и диаметр арматуры, теплопроводность и влажность бетона, адгезия защитных и облицовочных покрытий, морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Однако при всем многообразии контролируемых параметров контроль прочности бетона занимает особое место, поскольку при оценке состояния конструкции определяющим фактором является соответствие фактической прочности бетона проектным требованиям [1]. В связи с этим большинство работ на стройплощадке могут быть начаты только в том случае, если бетон достиг достаточной прочности (обычно 75 % от указанной прочности на сжатие бетона) [2]. Если бетон после заливки не затвердевает должным образом в благоприятном температурном диапазоне, то дальнейшие работы не могут быть начаты. График твердения бетона зависит от разных факторов. Температура затвердевания также важна. При опускании температурных показателей процесс замедляется, а нулевая отметка термометра приостанавливает его, поскольку жидкость в составе начинает замерзать, а качество материала ухудшается [3].

В связи с этим на ранней стадии выдерживания наиболее адаптированным является способ температурно-прочностного контроля, базирующийся на взаимосвязи температуры бетона и времени его выдерживания [4, 5].

И сегодня во всем мире наблюдается интерес к применению новых технологий зондирования и мониторинга различных конструкций. Преимущество беспроводных систем мониторинга, включая температурно-прочностной контроль бетона, находит отражение во многих исследованиях. Исследователи отмечают, что применение датчиков – это захватывающая технология, которая позволяет получить данные о конструкции [6-9].

*Лучшие практики мира.* При выборе датчиков и оборудования для измерения температуры или «зрелости» бетона руководствуются несколькими главными характеристиками, такими как: точность, простота использования, соответствие стоимости и бюджету.

Имеющиеся измерительные системы подразделяются на следующие категории [10]: термомпары; проводные регистраторы температуры и зрелости; проводные датчики с внешним беспроводным передатчиком; полностью встраиваемые беспроводные бетонные датчики.

Каждая из этих систем имеет свои преимущества и недостатки. «Бетонная термомпара» состоит из двух проводов из различных металлов, соединенных друг с другом, скрученных на одном конце для образования электрического соединения [10]. Термомпара вырабатывает зависящее от температуры напряжение благодаря своим термоэлектрическим свойствам. Это напряжение измеряется внешним оборудованием и затем используется

для оценки температуры бетона. Базовый металл термопары является наиболее часто используемым типом термопар в бетонной промышленности, так как они являются относительно недорогими с широким диапазоном измерения температуры [11].

Хотя термопары относительно недороги у них есть несколько недостатков. Наиболее важным является низкая точность измерения термопар. Термопары типов J и K имеют стандартный предел погрешности не более 2,2 °C для типичных температурных диапазонов бетона. Эта погрешность более чем в два раза превышает минимальную точность измерений, требуемую в большинстве спецификаций по измерению температуры бетона (например, ASTM C1064 требует точность 0,5 °C для измерения температуры свежего бетона) [12]. Кроме того, очень трудно перерезать провода, крепить их к вилке и устанавливать установку на месте. Тонкие термопарные провода также очень склонны к порезам, повреждениям и, следовательно, к ошибкам измерения, так как они обычно не рассчитаны на жесткие условия эксплуатации. Кроме того, провода, выходящие из бетона, и внешний блок должны быть защищены в течение всего периода измерения температуры [10].

Для устранения некоторых недостатков в системах на основе термопар были разработаны проводные регистраторы температуры и зрелости. Эти регистраторы и счетчики имеют электронную плату, которая содержит батарею размером с монету и встроенный термистор для измерения температуры. Измерения через заданные промежутки времени записываются и хранятся на этой печатной плате. Вся печатная плата полностью герметизирована соединительным проводом, выходящим для загрузки измерений с помощью внешнего устройства по мере необходимости, в отличие от датчиков на основе термопар, которые должны быть всегда подключены к внешнему оборудованию для записи данных [13-14]. Для установки этих систем в бетонные элементы регистратор (или герметичная печатная плата) размещается в том месте, где необходимо произвести измерения температуры и зрелости. Затем провода разъемов вытаскиваются из конструктивного элемента. После заливки бетона пользователи могут подключить к концу проводов ручной прибор, чтобы загрузить зарегистрированные значения температуры.

Однако данные типы регистраторов температуры и зрелости не имеют электрического переключателя и всегда включены. Поэтому их срок годности ограничен. Кроме того, соединительный кабель промышленного класса делает эти датчики громоздкими и сложными в установке, особенно при использовании длинных проводов для больших конструктивных элементов [15-16]. Как и термопары, конец проводов должен быть маркирован для идентификации после заливки и защищен от возможных порезов или других повреждений на рабочей площадке. Поиск кабельного провода в течение первых нескольких дней после заливки может быть затруднен, так как многие строительные инструменты, материалы и компоненты перемещаются на рабочей площадке, потенциально покрывая кабельный провод [10].

Использование термопар или проводных регистраторов для мониторинга температуры бетона, сложность подключения внешнего устройства и необходимость посещения рабочей площадки для сбора данных, а затем их загрузки на компьютер помешали широкому внедрению этих типов датчиков в промышленности.

Для решения вышеуказанных проблем с помощью электронных усовершенствований были разработаны беспроводные передатчики данных. Эти внешние устройства подключаются к концу проводов, выходящих из бетона для хранения и передачи измерений температуры по беспроводной сети: к компьютеру, подключенному к интернету; локальному беспроводному узлу или шлюзу, который затем передает данные в облако или непосред-

ственно в облако через такие сети, как LTE или Sigfox.

Основным преимуществом полностью встроенных беспроводных бетонных датчиков является то, что в отличие от проводных систем они не подвержены потенциальным повреждениям на строительной площадке после заливки. Данные надежно удерживаются на датчике внутри бетона и могут быть загружены с уверенностью в любое время.

Различные типы датчиков представлены компаниями-производителями в основном из США, Канады и Великобритании, являющимися лидерами в этой области. Применение различных датчиков, регистраторов температурно-прочностного контроля бетона нашло отражение на многих строительных объектах мира, одним из которых является One York Street, расположенный в самом центре Йорк-стрит в динамичном деловом районе Торонто. Проект включает в себя 4-этажное подиумное здание с тремя башнями, построенными на вершине: две 60-этажные жилые башни с северной стороны и 35-этажная коммерческая башня One York площадью 800 000 квадратных футов с южной стороны. Регистраторы данных термопар Нобо [13] были использованы при мониторинге прочности бетона.

Регистраторы данных размещаются рядом с опалубкой. Применение Нобо позволило получать данные в режиме реального времени (рис. 1) [14].



**Рисунок 1.** One York Street, Канада (справа – регистраторы данных термопар Нобо, слева – этап строительства) [14]

На объекте 16-этажного высотного здания в Гранд-Рапидс, штат Мичиган (США), большая часть бетона укладывалась зимой. Команде требовался надежный способ, чтобы бетон не промерзал и обеспечивал безопасность конструкции. В связи с этим, Компания Kent постоянно следила за температурой бетона, используя датчики Command Centre (рис. 2). Регулирование температуры бетона в холодную погоду необходимо для правильного развития прочности. Американский институт бетона (ACI) рекомендует минимальную температуру во время укладки, минимальную температуру при смешивании и максимально допустимое постепенное снижение температуры в течение 24 часов после окончания защиты от холода. Эти рекомендации часто отражаются в качестве требований в спецификациях работ. Для того чтобы внутренняя температура бетона соответствовала заданным требованиям датчики Command Centre встроены в бетон для постоянного контроля и регистрации температуры бетона через регулярные промежутки времени [15]. Маленькие датчики с автономным питанием автоматически регистрируют и сохраняют данные о температуре внутри бетона. Для доступа к данным пользователи подключают датчики к модулю считывания датчиков многократного использования (SRM), который передает конкретные дан-

ные в режиме реального времени через Bluetooth на устройство iOS. С помощью бесплатного приложения Command Center команды могут легко просматривать, анализировать и делиться конкретными данными на своем телефоне. Пользователи также могут создавать и отправлять по электронной почте отчеты об истории температур и данных о перепадах температур в приложении. Компания Kent использовала датчики Command Centre для всех бетонных плит перекрытий: по шесть датчиков на каждый этаж, при этом большинство датчиков контролировало температуру вблизи краев плит, которые труднее всего обогреть в зимний период. Для передачи данных со всех датчиков команда использовала один SRM. Мониторинг обошелся всего за 99 USD за многоразовые SRM, датчики – 37 USD за каждый. SRM и приложение сделали мониторинг простым и очень удобным.

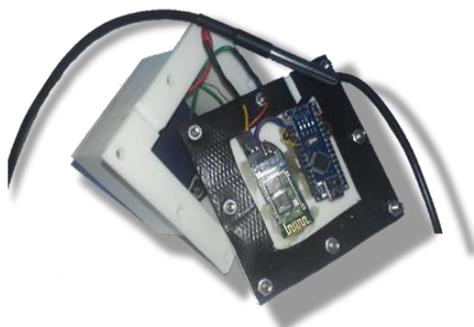


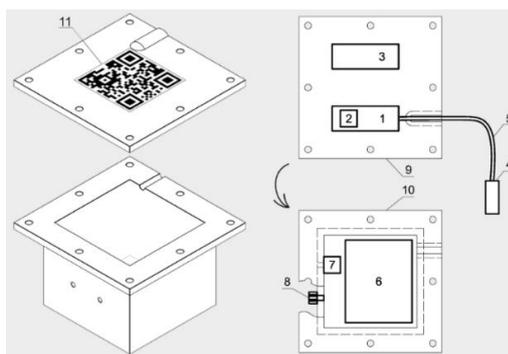
**Рисунок 2.** 16-этажное высотное здание, США (справа – этап строительства, слева – вид здания) [16]

Методы температурно-прочностного контроля бетона регулируются стандартами нескольких стран: США [12], Канады [17], Нидерландов [18], Германии [19], Южной Америки [20], России [21].

В Казахстане аналогов датчиков не имеется.

*Исследования.* Авторами был разработан прототип датчика для мониторинга железобетонных конструкций (рис. 3). Данный прототип представляет собой недорогую альтернативу имеющимся датчикам для определения прочности бетона.





- 1 – микроконтроллер; 2 – память; 3 – модуль беспроводной связи; 4 – температурный сенсор;  
 5 – кабель; 6 – источник питания; 7 – сенсор относительной влажности;  
 8 – переключатель; 9 – нижний элемент корпуса; 10 – верхний элемент корпуса;  
 11 – идентификационный QR код

**Рисунок 3.** Прототип беспроводного датчика для мониторинга железобетонных конструкций (справа – прототип, слева – ИТ-архитектура прототипа) [22]

ИТ-архитектура прототипа основана на концепции Интернета Вещей (IoT). Корпус прототипа был распечатан на 3Д-принтере. Прототип встраивается в тело бетона и в течение 28 суток собирает данные о внутренней температуре и влажности бетона. При этом, пользователь в любой момент времени может выгрузить собираемые данные через Bluetooth в мобильное приложение, а затем на персональный компьютер. Далее по методу зрелости бетона [12] рассчитывается текущая прочность бетона. На данную разработку авторами был получен патент на полезную модель № 3575 «Беспроводной датчик мониторинга железобетонных конструкций» [23].

*Заключение.* Согласно лучшим практикам, применение датчиков позволяет: обеспечивать безопасность конструкции, экономить средства за счет сокращения времени строительства или избегать дорогостоящего ремонта в результате использования низкопрочного бетона, сдавать проект в срок без простоев. Каждый датчик имеет свои особенности и технические характеристики, позволяющие ему быть «лучшим» в определенных параметрах. Преимущества применения «умных технологий»:

- информация, собранная с помощью встроенных датчиков, записывает температуру и прочность бетона в режиме реального времени. Данные записываются без перерывов, поэтому результаты, как правило, более последовательны;
- метод зрелости прогнозирует фактическую прочность бетона на месте;
- данные собираются мгновенно в режиме реального времени;
- значительная экономия затрат на определение прочности бетона, выполняемое одним инженером на месте.

*Финансирование.* Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP08052033).

#### Список литературы

1. Kibar H., Ozturk T. Determination of concrete quality with destructive and non-destructive methods // Comput. Concr. Techno-Press, 2015. – Vol. 15, № 3. – P. 473-484.
2. Зубков В.А. Определение прочности бетона: учебное пособие // Москва: Изд-во АСВ, 1998.
3. Thandavamoorthy T.S. Determination of concrete compressive strength: A novel approach // Pelagia Res. Libr. Adv. Appl. Sci. Res. 2015. – Vol. 6, № 10. – P. 88-96.

4. Несветаев Г.В., Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций // Вестник евразийской науки. – Общество с ограниченной ответственностью {\guillemotleft}Издательский центр {\guillemotleft}Науковедение{\guillemotright}, 2017. – Vol. 9, № 2 (39).
  5. Головнев С., Пикус Г., Мозгалёв К. Температурно-прочностной контроль бетона при возведении монолитных конструкций в зимний период: СТ-НП СРО ССК-04-2013 // НП СРО "ССК УрСиб", 2013.
  6. Uteпов Y. et al. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures // Comput. Concr. Techno-Press, 2019. – Vol. 24, № 2. – P. 95-102.
  7. Erdal H. et al. Prediction of concrete compressive strength using non-destructive test results // Comput. Concr. Techno-Press, 2018. – Vol. 21, № 4. – P. 407-417.
  8. Hannan M.A., Hassan K., Jern K.P. A review on sensors and systems in structural health monitoring: Current issues and challenges // Smart Struct. Syst. Techno Press, 2018. – Vol. 22, № 5. – P. 509-525.
  9. Giatec. The leading wireless concrete sensor for measuring temperature and strength [Electronic resource] // The leading wireless concrete sensor for measuring temperature and strength. 2019. – URL: <https://www.giatecscientific.com/products/concrete>.
  10. Giatec. The best concrete sensor in 2020 [Electronic resource]. – 2020. – URL: <https://www.giatecscientific.com/education/the-best-concrete-sensors-2020/> (accessed: 07.10.2020).
  11. Carino N.J., Lew H.S. Evaluation of concrete strength by monitoring concrete temperature using sensor // Int. Res. J. Eng. Technol. 2019. – Vol. 6, № 3. – P. 3058-3061.
  12. ASTM C1074. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. – West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 1998.
  13. Onset. HOBO UX100 Data Loggers [Electronic resource]. – 2020. – URL: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/UX100-data-loggers> (accessed: 07.10.2020).
  14. Onset. Monitoring Concrete Curing Temperatures with Data Loggers [Electronic resource]. – URL: [https://youtu.be/Y\\_bjWKcstys](https://youtu.be/Y_bjWKcstys).
  15. Center C. Kent Companies Uses COMMAND Center Wireless to Monitor Internal Concrete Temperatures in Cold Weather Placement [Electronic resource]. – URL: <https://www.commandcenterconcrete.com/kent-companies-uses-command-center-wireless-to-monitor-internal-concrete-temperatures-in-cold-weather-placement/>.
  16. Command Center. Kent Companies Uses COMMAND Center Wireless to Monitor Internal Concrete Temperatures in Cold Weather Placement [Electronic resource]. – 2020. – URL: <https://www.commandcenterconcrete.com/kent-companies-uses-command-center-wireless-to-monitor-internal-concrete-temperatures-in-cold-weather-placement/>.
  17. CSA A23.1/A23.2. Concrete Materials and Methods of Concrete Construction/Test Methods and Standard Practice for Concrete, 2014. – P. 22.
  18. NEN 5970. Determination of strength of fresh concrete with the method of weighted maturity, 2001. – P. 21.
  19. DIN 1045-3. Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 3: Execution of structures - application rules for DIN EN 13670. – Germany, 2013.
  20. NCH 170. Hormigon – Requisitos generales (Concrete – General requirements), 2016. – P. 32.
  21. СТ-НП СРО ССК-04-2013. Температурно-прочностной контроль бетона при возведении монолитных конструкций в зимний период, 2013. – С. 25.
  22. Uteпов Y. et al. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures // Comput. Concr., 2019. – Vol. 24, № 2.
  23. Uteпов Y. et al. Wireless sensor monitoring of concrete components: pat. 3575. Kazakhstan, 2019.
-

