

УДК 693.547.3:620.9

*ГНЫРЯ АЛЕКСЕЙ ИГНАТЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
tsp\_tgasu@mail.ru*

*БОЯРИНЦЕВ АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ, доцент,  
plus2001@rambler.ru*

*КОРОБКОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,  
korobkov@hotmail.ru*

*АБЗАЕВ ЮРИЙ АФАНАСЬЕВИЧ, докт. физ.-мат. наук, профессор,  
abzaev@tsuab.ru*

*МОКШИН ДМИТРИЙ ИЛЬИЧ, канд. техн. наук, доцент,  
i2ii@bk.ru*

*ГАУСС КСЕНИЯ СЕРГЕЕВНА, аспирант,  
gauss.ksyu@mail.ru*

*БИБИКОВ ИВАН АНАТОЛЬЕВИЧ, магистрант,  
ivan-bibikov@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,*

*ТИТОВ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
agd\_tmm48@mail.ru*

*Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет (Сибстрин),  
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113*

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ТЕМПЕРАТУРНО-ПРОЧНОСТНОГО КОНТРОЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ\***

Представлена методика оперативного компьютерного температурно-прочностного контроля нарастания прочности бетона в условиях строительной площадки при возведении монолитных железобетонных конструкций и в целом зданий.

Сопоставление результатов цикла лабораторных и натуральных исследований, выполненных в условиях строительной площадки с использованием компьютерного температурно-прочностного контроля, а также анализ данных по прочности, полученных аналитическим путем из графиков нарастания прочности через температуру твердения, и результатов, полученных неразрушающими методами, показали, что они сопоставимы.

Это дает основание говорить о том, что данная методика адекватна, позволяет с большой степенью вероятности контролировать нарастание прочности бетона во времени при отрицательных температурах в условиях строительной площадки и обеспечивает установленный уровень качества бетона во исполнение требований СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

Результатом является разработанный коллективом кафедры ТСП ТГАСУ стандарт НП СРО «Томские строители» на тему: «Температурно-прочностной контроль и оценка прочности бетона при возведении монолитных железобетонных конструкций».

---

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке администрации Томской области в рамках выполнения НИР в интересах экономики и социальной сферы Томской области в 2016 г. (гос. контракт № 108 от 03.10.2016 г.).

**Ключевые слова:** монолитное домостроение; зимние условия; температурно-прочностной контроль; тепловая обработка бетона.

*ALEKSEY I. GNYRYA, DSc, Professor,*

*tsp\_tgasu@mail.ru*

*ALEKSANDR P. BOYARINTSEV, A/Professor,*

*plus2001@rambler.ru*

*SERGEY V. KOROBKOV, PhD, A/Professor,*

*korobkov@hotmail.ru*

*YURI A. ABZAEV, DSc, Professor,*

*abzaev@tsuab.ru*

*DMITRII I. MOKSHIN, PhD, A/Professor,*

*i2ii@bk.ru*

*KSENIYA S. GAUSS, Research Assistant,*

*gauss.ksyu@mail.ru*

*IVAN A. BIBIKOV, Undergraduate Student,*

*ivan-bibikov@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,*

*2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,*

*MICHAIL M. TITOV, DSc, Professor,*

*agd\_tmm48@mail.ru*

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,*

*113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia*

## **JUSTIFICATION OF METHODS FOR TEMPERATURE AND STRENGTH MONITORING OF IN-SITU REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION**

The article presents a method the temperature and strength control for the concrete ageing in in situ construction of reinforced concrete buildings.

A comparison of the laboratory and field observation results obtained using the computerized temperature and strength control and the strength analysis of the concrete ageing detected by the non-destructive testing show a good agreement. This indicates that the proposed method is suitable and allows the most probable control for the concrete strength in time at negative temperatures in in situ construction carried out in accordance with the SNiP 70.13330.2012 'Load bearing and wall structures'.

As a result, the standard 'The temperature and strength control for and strength analysis of the concrete ageing in in situ construction' is designed at Tomsk State University of Architecture and Building.

**Keywords:** cast-in-place construction; winter conditions; temperature and strength control; heat concrete curing.

### **Введение**

Современное всесезонное, и прежде всего зимнее монолитное домостроение, диктует заданный темп возведения этажа за 7–10 дней, что вызывает необходимость организации интенсивного обогрева бетона и тщательного контроля его прочности в процессе выдерживания, особенно первые 24–48 ч.

Именно в этот период времени происходит начальное формирование структуры бетона, и производителю работ необходимо принимать оперативные решения:

- по прекращению или продолжению обогрева;
- снятию опалубки и возможному последующему догреву;
- устройству переопирания изготовленных пролетных конструкций, имеющих прочность 40–70 % от проектной.

При этом следует учитывать, что на реальной стройке ежедневно возникают еще и нештатные ситуации: аварийные отключения электроэнергии, недостаток энергетических мощностей, отсутствие средств обогрева, утеплителей и укывочных материалов, нарушение режимов обогрева, а также поставок бетона.

Чем вооружен руководитель строительства объекта, принимая ответственные решения по дальнейшему производству работ в эти 24–48 ч? Паспортом на поступивший бетон. Реальная информация о кубиковой прочности может быть получена через 7–28 дней, а в специальных случаях – через 3 дня, когда решения уже приняты, и методы неразрушающего контроля бетона, находящегося в опалубке, невозможны.

Остается рассчитывать на температурный контроль, предусмотренный СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» [1]. Вместе с тем как в СП 70.13330.2012, так и в стандарте Национального объединения строителей СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 «Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля» [2] вопросы контроля прочности бетона в зимних условиях недостаточно освещены.

Обычные средства (термометр в скважине, заполненной незамерзающей жидкостью) в современном строительстве нельзя считать достаточными и приемлемыми даже технически. Ведь число обязательных контрольных точек (или скважин) при 30–40 куб. м ежедневно бетонируемых тонкостенных конструкций должно быть в пределах от 30 до 50 [3–5]. В течение первых двух-трех суток их число достигает 70–90 из расчета по 2 скважины на каждой колонне и стене длиной 3–5 м, по одной скважине на 4 кв. м перекрытия и т. д. В современной дорогостоящей опалубке из ламинированной фанеры или алюминия выполнять многочисленные отверстия для термометров практически недопустимо. Замеры должны производиться через 2 ч в первые сутки и не реже 2 раз в последующие трое суток.

Поэтому данные термометрического контроля, полученные традиционным путем для массивных бетонных конструкций, могут носить недостоверный характер как по объему, так и по содержанию. Типовые технологические карты не в состоянии учесть все реальные условия на строительной площадке.

В общем случае требуется обеспечение режимов термовлажностной обработки бетона: контроль максимальных скоростей разогрева / остывания, максимальной температуры разогрева (прогрева), температурные перепады бетон-воздух, что и обеспечит равномерность температурного поля по сечению конструкции.

Анализ технологической документации на обогрев и выдерживание бетона показывает, что вопросы тепловой обработки бетона и температурно-прочностного контроля в раннем возрасте недостаточно проработаны и сводятся к ссылкам на нормативные документы. Причины этого обусловлены сложностью и высокой трудоемкостью теплотехнических, температурно-прочностных и электротехнических расчетов при моделировании поведения бетона несущих конструкций.

Поэтому на современном этапе скоростного, всесезонного и непрерывного строительства монолитных зданий и сооружений более приемлемым в температурно-прочностном контроле бетона является использование комплектов электронных температурных датчиков с регистрирующим электронным прибором для выполнения многократных прямых и косвенных (через опалубку) измерений температуры бетона [3–5].

В настоящее время с появлением инфракрасного измерителя (пирометры, тепловизоры) термодатчики можно устанавливать по наиболее проблемным точкам со сдвигом в сторону наиболее охлаждаемых зон. Это позволяет уменьшить материальные и трудовые затраты на комплекты термодатчиков.

Наиболее трудоемкая часть температурного контроля, связанная с непосредственными измерениями температуры бетона в выдерживаемых конструкциях, должна базироваться на использовании специального приборного комплекта для контактных измерений в комплексе с приборами дистанционной инфракрасной термометрии.

#### **Описание модели, постановка задачи, материал и методика исследования**

Целью настоящей научно-исследовательской работы являлась разработка общих требований (в виде стандарта) к температурно-прочностному контролю бетона монолитных конструкций, изготавливаемых на строительной площадке.

Для достижения поставленной цели было предложено решение следующих задач:

1. Изучить и проанализировать существующие методики температурно-прочностного контроля бетонов и сравнить их с требованиями нормативных документов.
2. Теоретически исследовать существующие режимы тепловой обработки бетона методами искусственного прогрева с применением компьютерного температурно-прочностного контроля нарастания прочности бетона.
3. Провести лабораторные исследования режимов тепловой обработки бетона с использованием греющих изолированных проводов, термоэлектрических гибких покрытий и электропрогрева с применением компьютерного температурно-прочностного контроля нарастания прочности бетона.
4. Провести натурные испытания в условиях строительной площадки по исследованию режимов тепловой обработки бетона с использованием вышеуказанных методов зимнего бетонирования с применением компьютерного температурно-прочностного контроля нарастания прочности бетона.
5. Провести испытания физико-механических характеристик бетона по контрольным образцам конструкций, изготовленных и исследованных в лабораторных условиях и в условиях строительной площадки по предложенным

методам зимнего бетонирования, в соответствии с требованиями государственных стандартов.

6. Сопоставить результаты лабораторных и натурных исследований на основе многоуровневого всестороннего изучения механических и структурных свойств бетона на стадии набора прочности, разработать общие требования к температурно-прочностному контролю бетона монолитных железобетонных конструкций, изготавливаемых на строительной площадке в зимних условиях, обеспечивающих установленный уровень качества бетона во исполнение требований СП 70.13330.2012.

7. Подготовить стандарт НП СРО «Томские строители», тема: «Температурно-прочностной контроль и оценка прочности бетона при возведении монолитных железобетонных конструкций».

В процессе работы проводились исследования с применением компьютерного температурно-прочностного контроля нарастания прочности бетона по следующим технологиям бетонных работ в зимних условиях:

– тепловая обработка бетона с использованием греющих изолированных проводов;

– тепловая обработка бетона с использованием термоэлектрических гибких покрытий;

– тепловая обработка бетона с использованием электропрогрева.

Для проверки адекватности теоретических расчетов к реальным условиям выбора режима электрообогрева и с целью обеспечения температурного режима и снятия температурных полей в теле бетона, а затем требуемой прочности и качества были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях. Исследования проводились в лаборатории «Аэродинамика и тепло- и массообменные процессы в строительстве» кафедры технологии строительного производства ТГАСУ.

Для контроля за набором прочности бетона по температуре его выдерживания были изготовлены образцы-кубики из мелкозернистого бетона класса В25 размером 100×100×100 мм на портландцементе марки М400. Образцы устанавливались в тело прогреваемого объема модели конструкции плиты перекрытия (рис. 1–3).

Средняя температура электрообогрева составляла +(40–50) °С. После окончания электрообогрева и последующего остывания бетонные образцы-кубики извлекались из объема экспериментальной установки и подвергались испытаниям для определения фактических физико-механических характеристик.

Испытания бетона проводились на оборудовании в Научно-исследовательском материаловедческом центре коллективного пользования ТГАСУ и в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

Натурные эксперименты в условиях реальной строительной площадки г. Томска проводились на строительстве «ТЦ Стройпарк» по адресу г. Томск, пр. Комсомольский. Подрядчик – Томская строительная фирма ООО «Лидер-М» (рис. 4). Исследования проводились в период с 17 октября по 24 ноября 2016 г. Материал конструкции перекрытия – бетон тяжелый класса В25. Температура наружного воздуха составляла минус (19–26) °С. Начальная температура бетона

после укладки в опалубку была в пределах  $+(12-15)^\circ\text{C}$ . Тепловая обработка бетона осуществлялась в течение 2,5–3 сут при средней температуре  $+(40-50)^\circ\text{C}$ .

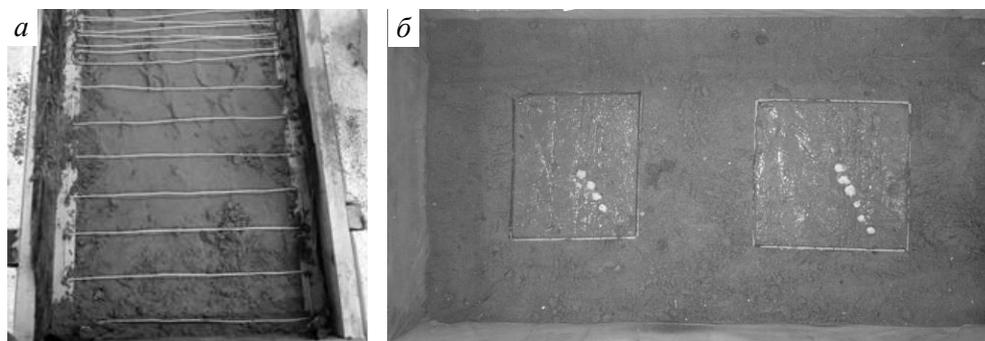


Рис. 1. Модель экспериментальной установки по электрообогреву бетона изолированными греющими проводами:  
*a* – общий вид; *б* – расстановка бетонных образцов и термопар в экспериментальной установке

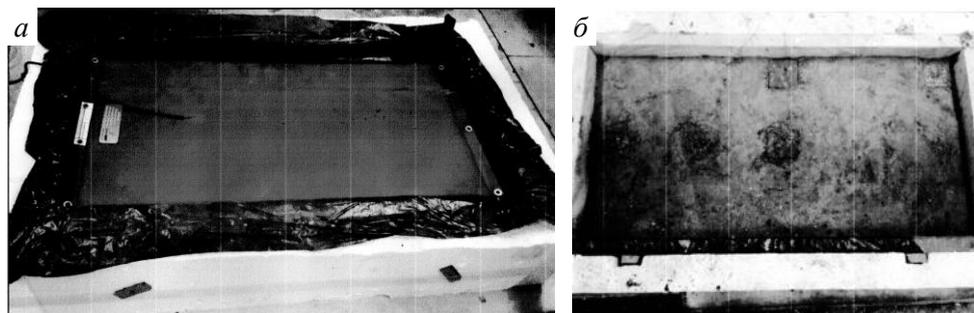


Рис. 2. Модель экспериментальной установки по электрообогреву бетона с использованием термоэлектрических гибких покрытий:  
*a* – общий вид; *б* – расстановка бетонных образцов и термопар в экспериментальной установке

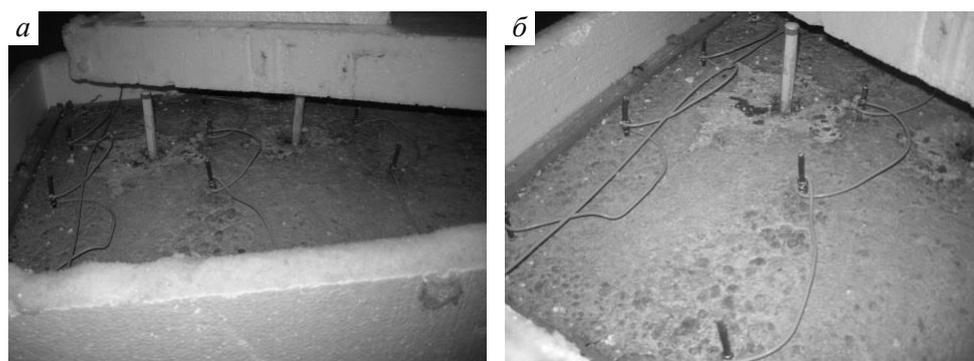


Рис. 3. Общий вид расстановки и коммутации стержневых электродов в бетоне плоскими группами



Рис. 4. Общий вид участка монолитной балочной плиты перекрытия толщиной 300 мм на строительстве «ТЦ Стройпарк» по адресу г. Томск, пр. Комсомольский

Функционирование системы температурно-прочностного контроля строится на использовании приборов инфракрасного излучения (пирометров), комплектов температурных датчиков с регистрирующим прибором для выполнения множественных прямых и косвенных (через опалубку) измерений температуры бетона.

Данные измерений температуры вводятся в компьютер, находящийся на объекте, и обрабатываются с помощью программы, выполняющей полный анализ температурных параметров бетона с определением прочности бетона в контрольных точках. Одновременно программа делает вероятностные оценки прочности бетона и дает рекомендации по времени продолжения обогрева и выдерживания по всему объему выборки однородных конструкций при сложившихся условиях выдерживания. Анализ и представление результатов расчетов осуществляются оперативно в графической форме. С помощью программы выполняется оформление температурных листов и заключений по прочности для журнала работ.

Достоверность температурно-прочностного контроля обеспечивается выборочным применением неразрушающих методов контроля бетона, как это и предписывается правилами производства работ. В частности, используется метод упругого отскока с применением молотка Шмидта, ОНИКС, ультразвуковой метод определения прочности бетона и др. Испытания прочности бетона выполняются сразу вслед за снятием опалубки в зонах контрольных точек наблюдения за температурой.

Результаты сравниваются с расчетными по введенным значениям температур, и при необходимости выполняется коррекция данных для расчетного определения прочности в соответствии с параметрами реального бетона.

#### **Обсуждение результатов**

На основе сравнения результатов лабораторных и натурных исследований, выполненных в условиях строительной площадки, а также анализа данных по прочности, полученных аналитическим путем из графиков нарастания

прочности через температуру твердения и результатов, полученных неразрушающим методом, можно сказать, что они сопоставимы.

Таким образом, можно сделать вывод, что методика компьютерного температурно-прочностного контроля позволяет контролировать нарастание прочности бетона во времени при отрицательных температурах в условиях строительной площадки и обеспечить установленный уровень качества бетона во исполнение требований СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

Данная методика изложена в подготовленном исполнителями НИР стандарте СТ-НП СРО ТС-03–2017 «Температурно-прочностной контроль бетона при возведении монолитных конструкций в зимний период». Данный стандарт рассмотрен и одобрен на заседании постоянно действующего коллегиального органа Саморегулируемой организации Ассоциации «Томские строители» (протокол № ПТ-СО-32-16 от 28 ноября 2016 г.).

При использовании данной методики предусматриваются:

- разработка проекта производства работ (ППР) или технологических регламентов в составе ППР (технологических карт) на обогрев и выдерживание бетона в монолитных конструкциях;
- организация круглосуточного контроля температуры бетона в соответствии с СП 70.13330.2012;
- расчетное определение прочности бетона по температуре выдерживания во всех контрольных точках в круглосуточном режиме с использованием компьютерной программы;
- ведение оперативной и исполнительной технической документации температурно-прочностного контроля с оформлением журнала бетонных работ;
- выборочный склерометрический контроль прочности бетона конструкций с применением современных приборов;
- приборное обеспечение температурно-прочностного контроля в комплекте;
- долговременное компьютерное прогнозирование прочности бетона при выдерживании монолитных конструкций в естественных условиях;
- оперативное решение нештатных ситуаций при выдерживании бетона;
- контроль догрева бетонных конструкций с целью достижения заданной прочности бетона;
- материально-техническое оснащение обогрева монолитных конструкций (станции обогрева с понижающими трансформаторами, нагревательные провода и др.);
- обучение персонала строительных организаций процессам выполнения обогрева и оперативного температурно-прочностного контроля по данной методике;
- в случае необходимости проведение технологического сопровождения с привлечением специалистов ТГАСУ.

При разработке ППР и регламентов для любого объекта экономически обосновываются методы тепловой обработки и их режимы, обеспечивающие необходимую прочность бетона.

При этом предлагаются правила и технологическая последовательность обогрева и выдерживания отдельных конструкций.

Электротехнические разделы регламентов должны включать сведения об используемых нагревателях, схемы их включения в цепь и размещения в объеме бетонируемых конструкций или на опалубке по принятым захваткам и участкам бетонирования, указания по монтажу и коммутации нагревателей, спецификации материалов и оборудования.

Отсутствие этих компонентов в составе технологических карт и регламентов приводит к бессистемному и неквалифицированному осуществлению электротехнических работ в ходе возведения здания.

Регламенты обогрева и выдерживания монолитных железобетонных конструкций должны включать:

- раздел, рассматривающий условия, технику и правила догрева бетона при раннем распалубливании конструкций;

- раздел, рассматривающий правила выполнения аварийного обогрева бетона при нештатных ситуациях (прекращение подачи электроэнергии, резкое снижение температуры наружного воздуха и т. п.);

- раздел, регламентирующий порядок установки и снятия временных опор пролетных конструкций здания (монолитные плиты перекрытия, ригели, балки) при недостаточной для восприятия технологических нагрузок прочности бетона.

Все компоненты методики оперативного контроля прочности бетона в раннем возрасте взаимосвязаны и формируют современную эффективную производственную систему управления тепловой обработки бетона при возведении монолитных зданий. При объемах суточной укладки 40–60 куб. м бетона требуется организовать круглосуточные измерения в 30–40 контрольных точках забетонированных стен и перекрытий.

Использование методов косвенного (через опалубку) замера температуры бетона, таких как пирометрический метод, метод замера температурными датчиками, размещенными в контрольных точках либо непосредственно в бетоне, либо на опалубке, позволяет значительно уменьшить количество контрольных замеров и, соответственно, трудоемкость выполнения работ.

Оперативный температурно-прочностной контроль не исключает лабораторного кубикового контроля и методов неразрушающего контроля. Вместе с тем необходимо отметить, что поздние кубиковые испытания (через 7–28 дней) и методы неразрушающего контроля, производимые после распалубки, а чаще всего спустя много дней и даже месяцев, фиксируют следствия и практически не могут влиять на формирование прочности в процессе выдерживания бетона.

Методика температурно-прочностного контроля качества бетона в конструкциях в значительной мере позволяет управлять процессом на ранней стадии и таким образом устранять будущие финансовые и временные потери.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *СП 70.13330.2012*. Несущие и ограждающие конструкции (актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87) / Минрегион России. – М., 2012. – 280 с.

2. *СТО НОСТРОЙ 2.6.54–2011*. Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля / Национальное объединение строителей. – М., 2011. – 157 с.
3. *Пикус, Г.А.* Оценка необходимого количества контрольных температурных точек при выдерживании монолитных плитных конструкций в зимнее время / Г.А. Пикус, К.М. Мозгалева // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2014. – № 3. – С. 82–83.
4. *Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях* / С.Г. Головнев, Г.А. Пикус, К.М. Мозгалева, С.А. Савинов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2010. – № 2. – С. 75–78.
5. *Журов, Н.Н.* Система температурно-прочностного контроля бетона в раннем возрасте / Н.Н. Журов, С.В. Комиссаров // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 296–300.

## REFERENCES

1. *SNiP 70.13330.2012*. Nesushchie i ogradhdayushchie konstruksii [Load bearing and wall structures]. Moscow: Minregion Rossii Publ., 2012. 280 p. (rus)
2. *Corporate Standard NOSTROY 2.6.54–2011*. Konstruksii monolitnye betonnye i zhelezobetonnye. Tekhnicheskie trebovaniya k proizvodstvu rabot, pravila i metody kontrolya [Cast-in-place and reinforced concrete structures. Technical requirements]. Natsional'noe ob'edinenie stroitelei. Moscow, 2011. 157 p. (rus)
3. *Pikus G.A., Mozgaleva K.M.* Otsenka neobkhodimogo kolichestva kontrol'nykh temperaturnykh tochek pri vyderzhivanii monolitnykh plitnykh konstruksii v zimnee vremya [Estimation of required number of temperature control points in monolithic slab-like constructions in winter]. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2014. No. 3. Pp. 70–71. (rus)
4. *Golovnev S.G., Pikus G.A., Mozgaleva K.M., Savinov S.A.* Komp'yuternyi kontrol' i regulirovanie protsessov vyderzhivaniya betona v zimnikh usloviyakh [Computer process control and regulation of concrete curing in winter conditions]. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2010. No. 2. Pp. 75–78. (rus)
5. *Zhurov N.N., Komissarov S.V.* Sistema temperaturno-prochnostnogo kontrolya betona v ranem vozraste [System temperature and strength concrete control at early ageing]. Moscow. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4. Pp. 296–300. (rus)