УДК 626.816;627.43;627.82
DOI: 10.37890/jwt.vi88.740

Влияние температурного режима на напряженное состояние блоков бетонирования гидротехнических сооружений

Ю. И. Бик
ORCID: 0009-0008-9070-5210
Н. Н. Фомичева
ORCID: 0000-0003-1278-3199
Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. При проектировании и строительстве массивных бетонных гидротехнических сооружений необходимо поддерживать температурный режим конструкций, обеспечивающий трещиностойкость. Трещиностойкость зависит от возможности возникновения внутренних растягивающих напряжений. Чтобы исключить это, необходимо выполнить мероприятия по регулированию температурного режима блоков бетонирования, особенно в раннем возрасте. На больших строительных площадках используют различные способы поверхностного ухода. Данная работа посвящена актуальной проблеме в области расчета термонапряженного состояния блоков бетонирования. Выполнены натурные экспериментальные исследования влияния различных способов ухода за бетоном. Выявлено, что наибольший эффект дают увлажнение или полив бетонной поверхности при наличии шатра. Разработана методика расчета нагревания воды при поливе бетонной поверхности свежеуложенного бетона. Получена формула, которая может иметь практическое применение. Предложенная методика учитывает температуру воды полива, площади и температуру воздуха. Результаты лабораторных исследований показали влияние температурной нагрузки и возраста загружения бетонных образцов на их деформативные характеристики: модуль упругости бетона и термический коэффициент линейного расширения. Для обеспечения термической трещиностойкости рекомендовано придерживаться допустимого разогрева бетона.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, трещиностойкость бетона раннего возраста, термонапряженное состояние, способы ухода за бетоном, деформативные характеристики.

Temperature regime impact on the stress state of hydraulic structures concrete blocks

Yu. I. Bik
ORCID: logo 0009-0008-9070-5210
Nyailya N. Fomicheva
ORCID: 0000-0003-1278-3199
Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. When designing and constructing massive concrete hydraulic structures, it is necessary to maintain the temperature regime of structures that ensure crack resistance. Crack resistance depends on the possibility of internal tensile stresses. To eliminate this, it is necessary to take measures to regulate the temperature regime of concrete blocks, especially at an early age. On large construction sites, various methods of surface care are used. This work is devoted to an urgent problem in the field of calculating the thermally stressed state of concrete blocks. Full-scale experimental studies of the effect of various methods of concrete care have been performed. It was revealed that the greatest effect is provided by moistening or watering the concrete surface in the presence of a tent. A method has been developed for calculating the heating of water when watering the concrete surface of freshly laid concrete. A formula has been obtained that may have practical application. The proposed methodology

takes into account the temperature of irrigation water, area and air temperature. The results of laboratory studies showed the influence of the temperature load and the age of loading of concrete samples on their deformative characteristics: the modulus of elasticity of concrete and the thermal coefficient of linear expansion. To ensure thermal crack resistance, it is recommended to adhere to the permissible heating of concrete.

Keywords: hydraulic structures, crack resistance of early-age concrete, thermal stress state, methods of concrete care, deformative characteristics

Введение

В настоящее время ведется строительство крупных бетонных сооружений. Массивные бетонные конструкции особенно часто встречаются в гидротехническом строительстве. Гидротехнические сооружения имеют высокий уровень ответственности и поэтому к ним при проектировании и строительстве предъявляются высокие требования, в частности, это касается трещиностойкости [1,2,3]. Возможное развитие трещин в бетонных массивах определяется термонапряженным состоянием [4,5,6]. Опыт строительства крупных гидроузлов показал, что имели место случаи появления опасных температурных трещин как в строительный период, так и в эксплуатационный период. В качестве примеров можно назвать плотины [1]: Гувера (Hoover Dam), США; Дасу (Dasu Dam), Пакистан; Пикада (Picada Dam), Бразилия; Саяно-Шушенская ГЭС.

Причины возникновения температурных трещин – это усадочные процессы, экзотермия, сопровождающие процессы твердения бетона; разница температуры между ядром и поверхностью; жесткое защемление блоков бетонирования; нарушение технологии при уходе за свежеуложенным бетоном [7,8,9]. Регулирование температурного режима является обязательным в комплексе мероприятий по ограничению трещинообразования [1,10].

Трещиностойкость конструкции определяется сопоставлением напряженного состояния с предельно-допустимыми нормативными значениями. Расчеты термонапряженного состояния массивных бетонных сооружений выполняются с учетом температурных изменений в бетоне, защемления конструкции, изменения деформативных характеристик бетона раннего возраста [11,12,13]. В связи с этим необходимость оценки влияния температурного режима на напряженное состояние блоков бетонирования является *актуальным*.

Цель представленной работы*:* разработать рекомендации по регулированию температурного режима блоков бетонирования, обеспечивающие предотвращение трещинообразования в бетоне раннего возраста, базируясь на разработанной ранее методике расчета термонапряженного состояния блоков бетонирования гидротехнических сооружений в строительный период, и на практических результатах натурных и лабораторных исследований.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

– Разработать методику расчета нагревания воды при поливе бетонной поверхности.

– Проанализировать влияние различных способов ухода за свежеуложенным бетоном на температурный режим блоков бетонирования. Для решения этого вопроса были проведены комплексные натурные исследования на строящемся гидротехническом объекте.

– Провести экспериментальные лабораторные исследования деформативных характеристик бетона раннего возраста.

Анализируя схему работы блоков бетонирования при послойной укладке бетона, можно блоки рассматривать как плиты, которые имеют большие плановые размеры

по сравнению с высотой [14]. Такой способ укладки бетона в тело плотины применялся при строительстве Андижанского гидроузла.

При послойной укладке основным способом понижения температуры свежеуложенного бетона является полив его поверхности холодной водой, которая нагревается не только за счет отбора тепла от бетона, но и за счет температурного перепада между воздухом и водой. Очень часто этот фактор может иметь существенное значение и должен учитываться при расчете температурного .режима бетона во время строительства.

Материалы и методы

В основу разработки методики расчета нагревания воды при поливе поверхности бетонных блоков положена расчетная схема, включающая следующие предпосылки:

коэффициент теплоотдачи от бетона к воде много больше, чем от воды к воздуху, поэтому перепадом температур между поверхностью бетона и водой можно пренебречь;

толщина слоя воды незначительна и падение температуры в нем можно считать линейным. На рис. 1 представлена расчетная схема перепадов темпера тур и эпюра температуры в воде, отвечающая этим предположениям.

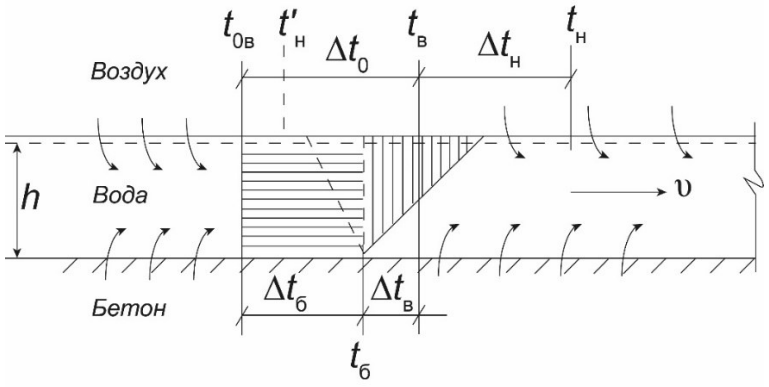


Рис. 1. Расчетная схема перепадов температур и эпюра температуры воды

Здесь $t_{0в}$ — начальная температура воды, $t_в$ — сливающейся с блока, $t_б$ — бетонной поверхности, $t_н$ — воздуха. Однако такая схема будет только до тех пор, пока температура воздуха больше температуры поверхности бетона. Когда они выравняются, нагревание воды за счет воздуха прекратится. При дальнейшем падении температуры воздуха вода начнет охлаждаться (пунктир на эпюре).

Для установления расчетных зависимостей на опытной площадке Андижанской плотины поставлен следующий эксперимент. Взяты два разных по площади блока с одинаковой интенсивностью полива q (л/м^2) и третий с большей. В одно и то же время производились замеры температуры поверхности бетона микротерморезисторами и температуры воды на сливе. Температура поверхности бетона принималась по среднему значению из множества замеров на большой площади.

Исходные данные и данные, полученные из опыта, показаны на схеме (рис. 2).

Площади опытных блоков составляли: I – 32,5 м^2; II – 12,5 м^2; III – 15,0 м^2.

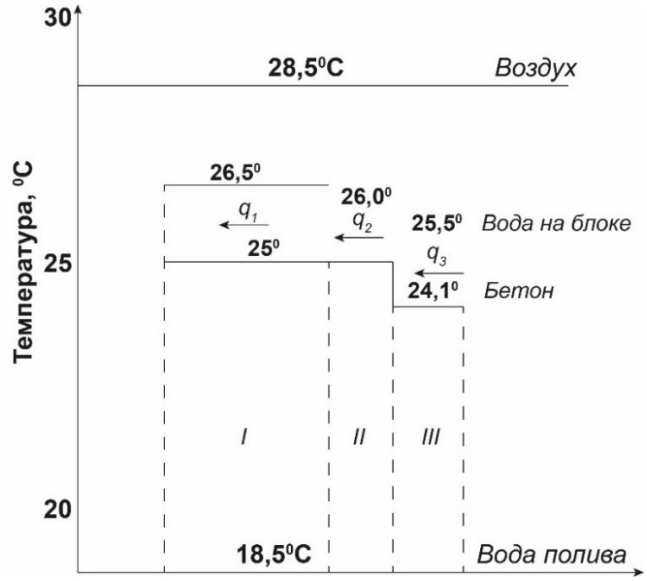


Рис. 2. Опытные данные

Как видим, температура поверхности бетона на блоках I и II одинакова, а сливающейся воды различна. Это происходит из-за того, что площадь поверхности блока I больше площади блока II. При постоянном тепловом потоке от воздуха к воде на большей площади водой поглощается большее количество тепла, а так как скорости потоков при одинаковой интенсивности полива равны, то это соответствует увеличению времени нагревания, и вода на сливе с большей площади имеет большую температуру.

Систему уравнений теплового баланса для части эпюры температуры воды, нагреваемой за счет бетона, и части, нагреваемой за счет воздуха, для блоков I и II можно записать в виде

$$\begin{aligned} \frac{\Delta t_{1б}}{\Delta t_{б}} \cdot \frac{\omega_1}{\omega} + \frac{\Delta t_{2б}}{\Delta t_{б}} \cdot \frac{\omega_2}{\omega} = 1; \\ \frac{\Delta t_{1в}}{\Delta t_{в}} \cdot \frac{\omega_1}{\omega} + \frac{\Delta t_{2в}}{\Delta t_{в}} \cdot \frac{\omega_2}{\omega} = 1, \end{aligned} \tag{1}$$

где ω, ω1, ω2 – полная площадь и ее части с одинаковой интенсивностью полива, $\Delta t_{б}$ — средневзвешенное нагревание воды за счет бетона; $\Delta t_{в}$ — то же, за счет воздуха.

Подставляя опытные данные (рис. 2) и решая эту систему относительно площадей, найдем $\frac{\omega_1}{\omega}$ = 0,72; $\frac{\omega_2}{\omega}$ = 0,28 или ω1 =32,5 м^2, ω2 =12,5 м^2, что соответствует эксперименту.

Таким образом, принятую предпосылку можно считать справедливой.

Полагая далее, что нагревание воды пропорционально площадям, а тепловой поток от воздуха к воде пропорционален перепаду $\Delta t_{н}$, по опытным данным (рис. 2) установлена связь между приращением температуры воды полива Δt приходящейся на 1 м^2 поверхности и $\lg \Delta t$. Как и следовало ожидать, характер связи – экспонента вида

$$\Delta t = e^{k\Delta t_i}, \tag{2}$$

где k — опытный коэффициент, который зависит от различных факторов (скорости ветра, толщины слоя воды, солнечной радиации и т. п.).
Для данного опыта формула (2) приобретает вид

$$10^3 \Delta t = e^{0,8\Delta t_i} \text{ C}^\circ/\text{м}^2 . \quad (3)$$

На блоке III наблюдается падение как температуры поверхности бетона, так и температуры воды на сливе (рис. 2).

Падение температуры поверхности бетона пропорционально изменению интенсивности полива и равно

$$\frac{q_3}{q_1} = \frac{\Delta t_{1б}}{\Delta t_{3б}} = \frac{6,2}{5,3} = 1,17 . \quad (4)$$

Изменение температуры воды на блоке происходит по двум причинам. За счет увеличения перепада $\Delta t_н$ на 3°С вода по формуле (3) должна нагреться на $11 \cdot 10^{-3}$ °С/м^2, что на всю площадь даст 1,65°С.

Однако за счет увеличения интенсивности полива скорости возрастут, время стояния воды на блоке уменьшится, и вода нагреется меньше на величину, пропорциональную увеличению расхода (4) н составит 1,4° С, что соответствует результату эксперимента.

Таким образом, все принятые предпосылки имеют место, а само явление нагревания воды на блоке за счет температуры воздуха должно учитываться при расчете охлаждения бетона. Во-первых, оно может составлять значительную долю от величины нагревания воды за счет отбора тепла от бетона (в приведенном примере больше 10%). Во-вторых, температурный перепад между .водой и воздухом с ростом интенсивности полива также растет, следовательно, и интенсивность нагревания веды за счет воздуха увеличивается, то есть увеличиваются непроизводительные затраты воды.

Также целью проведения натурных исследований является оценка влияния различных способов ухода за бетоном на температурный режим и как следствие – напряженное состояние блоков бетонирования в строительный период.

Методика включала измерения температуры бетона и деформаций в блоках бетонирования, измерения метеорологических характеристик и наблюдения за трещинообразованием. Точность измерения температуры ≈ 0,1°С; для измерения деформаций использовались телетензометры БТ300М, разработанные НИСом Гидропроекта. Чувствительность – 0,00065 мм. Датчики закладывались во время бетонирования блоков. Исследования были проведены в условиях, максимально приближенных к производственным: одна площадка располагалась под шатром, другая – без шатра. Блоки имели размеры 2×2 м и выполнялись в теплоизолированной опалубке. Высота блоков 0,5; 0,75 и 1,0 м. В рамках эксперимента на опытных площадках применялись различные способы ухода, включая полив и увлажнение.
Использование шатра и поверхностного ухода можно оценить по графикам (рис. 3, 4 и 5).

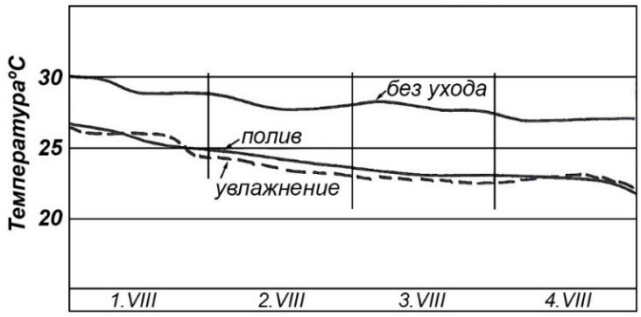


Рис.3. Распределение температур в центре блоков высотой 1,0 м (под шатром)

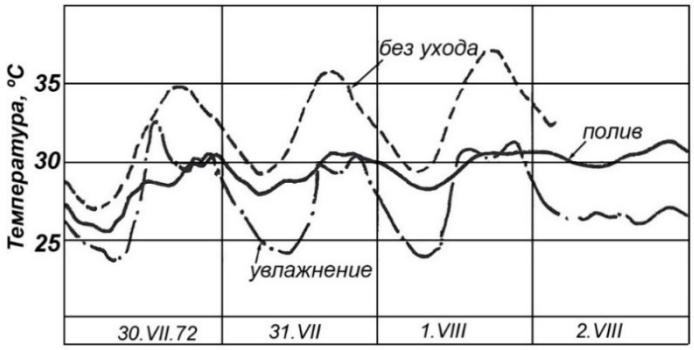


Рис. 4. Колебания температур на поверхности бетонных блоков высотой 0,5 м (под шатром)

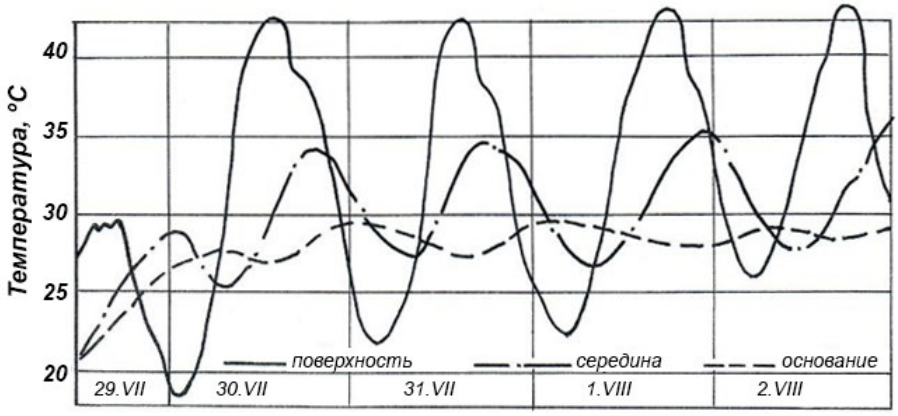


Рис.5. Изменения температур бетона в блоке высотой 0,5 м без ухода, без шатра

Во время проведения исследований температура воздуха колебалась от 16°С до 35°С, а воды полива: от 20°С до 24°С.

Проведенный анализ позволил установить, что шатер и полив под пленкой или мешковиной являются эффективными средствами понижения температуры поверхности бетона. Изучение деформированного состояния бетона раннего возраста проводилось в двух опытных створах (рис.6). Принятое расположение датчиков температуры и телетензометров позволило выявить влияние шатра и полива на температурный режим и деформированное состояние бетона.

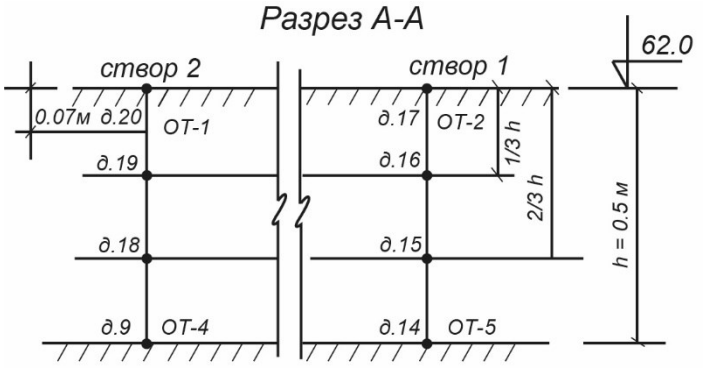


Рис. 6. Схема размещения датчиков температуры и телетензометров,
створ 2 – полив, шатер; створ 1 – без ухода
д.20 – датчик температуры №20; Т-2 – телетензометр №2

В реальных условиях при укладке бетона каждый блок имеет свои характеристики $E(t)$ – модуль упруго-мгновенных деформаций и F_0 – поперечный размер (площадь торца), а соседние блоки соответственно $E_c(t)$ и F_c. В зависимости от сочетания указанных параметров рассматриваемый блок может работать как блок со свободными или жесткозащемленными торцами, так и – с упругоподатливыми связями. Для учета этого фактора при исследовании деформативных характеристик бетона раннего возраста была специально разработана установка [15]. Эта экспериментальная установка позволяет изменять температурный режим бетонных образцов и обеспечивать условия опирания блока по торцам, соответствующих упругоподатливым связям.

Методика проведения экспериментальных лабораторных исследований включала моделирования состава бетона, создание требуемого температурного режима, измерения деформаций образцов, определение нарастания прочности бетона, модуля упруго-мгновенных деформаций бетона и температурного коэффициента линейного расширения [16].

Состав модельного бетона по весу 1:2,6:3,2 с водоцементным отношением 0,52. Размеры исследуемых бетонных образцов назначены исходя из требований, чтобы наименьший размер был в три раза больше наибольшей крупности заполнителя. Были приняты размеры исследуемых бетонных образцов $20\times20\times80$ см, каждому из которых присваивался соответствующий шифр. Подъем температуры образца осуществлялся в разном возрасте от 1 до 8 суток.

Результаты

По измеренным деформациям в натурных условиях вычислены напряжения (рис.7).

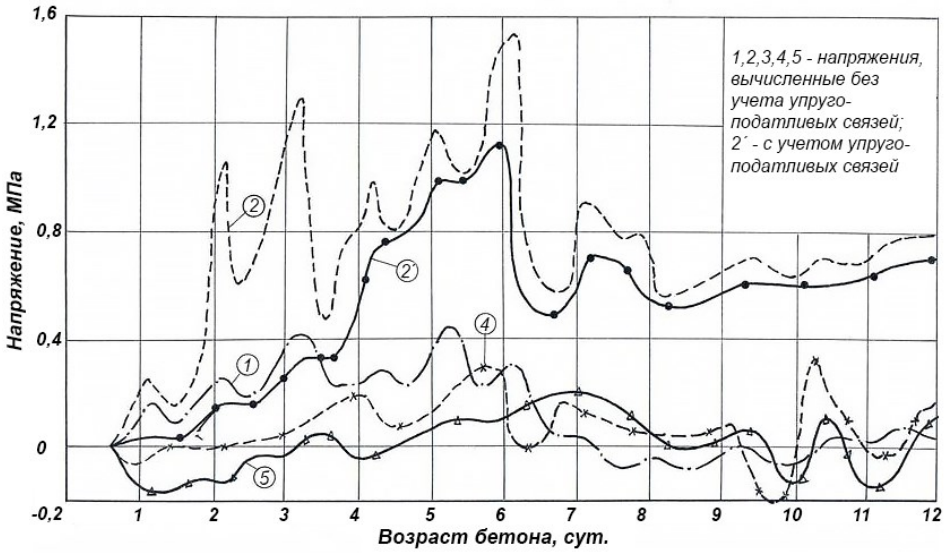


Рис.7. Напряжения в контрфорсе 22 секции Андижанской плотины в строительный период
1,4 – датчики в блоке с поливом; 2, 5 – в блоке без ухода

Результаты лабораторных исследований показали влияние температурного режима и возраста бетона на развитие деформаций и напряжений (рис.8).

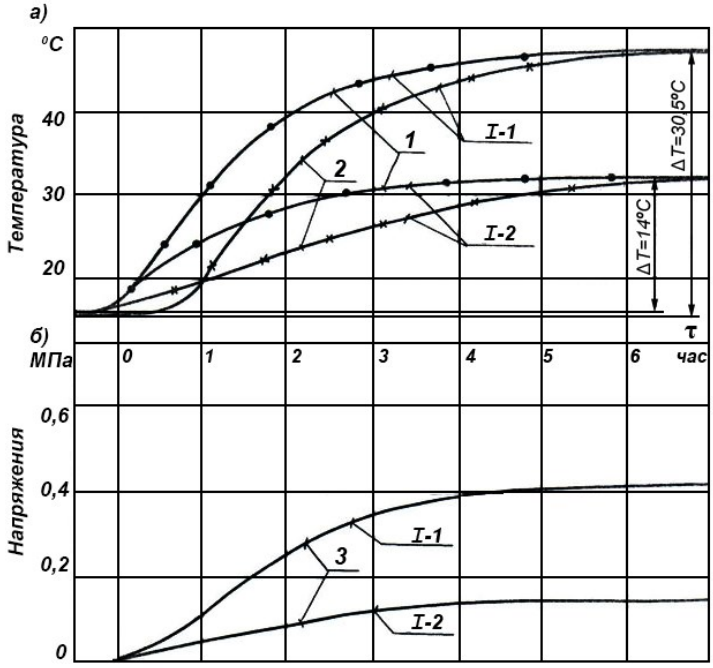


Рис. 8. Термонапряженное состояние опытных блоков I-1 и I-2, загруженных температурной нагрузкой в возрасте 1 суток
1, 2 – экспериментальные значения температур поверхности и центра образца;
3 – средние значения напряжений

Обсуждения

На примере образца I-1 видим, что температура поднялась с 17°С до 47,5°С за 7 часов, и уже через 7 часов после начала подъема температур в каждой точке сечения температура составляла 47,5°С. Графики позволяют заключить, что ход кривой температуры поверхности по виду приближается к экспоненте.

В первые дни после укладки бетона интенсивно изменяются все его основные свойства, в том числе и предельная растяжимость. Если интенсивность увеличения температурных напряжений σ(t) не превысит скорости роста предельной растяжимости $V\varepsilon_{\text{пред.}}$, то опасность образования трещин можно считать исключенной.

Исходя из этого, допустимая скорость остывания может быть найдена из уравнения

$$V_{\text{т}} \le \frac{V\varepsilon_{\text{пред.}}}{\alpha K_{\text{з}} K_{\text{р}}\left(t,\tau\right)}, \tag{5}$$

а расчет допустимого разогрева бетона над среднеустановившейся температурой из условий трещиностойкости проводится по формуле

$$\Delta T_{\text{доп.}} \le \frac{\varepsilon_{\text{пред.}}\left(1-\nu\right)}{\alpha K_{\text{р}}\left(t,\tau\right)K}, \tag{6}$$

где $V_{\text{т}}$ – понижение температуры бетона за одни сутки; α – температурный коэффициент линейного расширения; $K_{\text{з}}$ – коэффициент защемления блока в основание; $K_{\text{р}}\left(t,\tau\right)$ – коэффициент релаксации напряжений; $\varepsilon_{\text{пред.}}$ – предельная растяжимость бетона; K – коэффициент запаса по трещиностойкости, принимаемый 1,2÷1,3.

Заключение

1. Выполненные экспериментальные исследования показали значительное влияние температурного режима бетона и его возраста на термонапряженное состояние.

2. Предложена методика расчета нагревания воды полива при использовании этого способа ухода за свежеуложенным бетоном.

3. Представлены материалы натурных исследований влияния различных способов ухода за бетоном на его температурный режим и напряженное состояние.

4. Лабораторные экспериментальный исследования показали влияние температурной нагрузки и возраста бетона на деформативные характеристики.

5. Даны рекомендации по регулированию температурного режима с целью недопущения трещинообразования путем соблюдения условий по поддержанию допустимой скорости остывания и допустимого разогрева бетона.

Список литературы

1. Макеева А.В., Семенов К.В., Макеев А.А., Амелина А.В. Трещиностойкость массивных бетонных конструкций в строительный период с учетом температурных воздействий // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2019. №8. С. 30-37. DOI:10.34031/article_5d49408e0e0b61/97206550
2. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия с учетом ползучести.– М.: Стройиздат, 2004. 712 с.
3. Стручкова А.Я., Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В., Шайбакова А.А. Тепловыделение цемента и расчеты трещиностойкости бетонных массивов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 2(78). С. 128–135. doi: 10.18720/MCE.78.10.

4. Добрецова И.В., Галактионов Д.Е. Температурный режим и термонапряженное состояние массивных железобетонных элементов конструкций АЭС при их возведении. СПб: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Веденеева. 2013, с.55-60.
5. Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. №2(17), с.125-135.
6. Корянова Ю.И., Несветаев Г.В., Чепуренко А.С., Сухин Д.П. К вопросу моделирования температурных напряжений при бетонировании массивных железобетонных плит // Инженерный вестник Дона. – 2022. №7. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7691
7. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В., Стручкова А.Я., Мановицкий С.С. Оценка учета влияния температуры твердения на процесс тепловыделения в расчетах термонапряженного состояния массивных бетонных и железобетонных конструкций в строительный период // Приволжский научный вестник № 1 (65) – 2017. С. 11-17.
8. Стародубцев А.А. Анализ тепловыделения бетонных конструкций в стадии набора прочности / Стародубцев А.А. – DOI: 10.18411.ектшщ-04-2022-91 // Тенденции развития науки и техники. – 2022. - №84-2. – С.164-167.
9. Лазовский Д.Н., Тур В.В., Глухов Д.О., Лазовский Е.Д. Учет ползучести и усадки бетона по СП 5.03.01-2020 при расчете железобетонных конструкций на основе деформационной расчетной модели // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. С. 7-12.
10. Несветаев Г. В. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния массивной железобетонной фундаментной плиты в ранний период твердения / Г. В. Несветаев, Ю. И. Корянова, Д. П. Сухин // Вестник Евразийской науки. — 2023. — Т 15. — № 3. — URL: https://esj.today/PDF/17SAVN323.pdf (дата обращения: 02.06.2026).
11. Несветаев Г.В., Чепуренко А.С., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Оценка некоторых методик для расчета температурных напряжений при бетонировании массивных железобетонных фундаментных плит // Инженерный вестник Дона. – 2022. №7. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7817
12. Белов А. В. Температурные напряжения в бетонной призме прямоугольного поперечного сечения.– Изв. ВНИИГ, т. 51, 2013. С. 55-60.
13. Гинзбург С.М., Шейнкер Н.Я., Добрецова И.В., Вознесенская Н.В. Исследования по термике бетонных сооружений. СПб: Известия ВНИИГ. Том 263. 2012. С.87-97.
14. Зубков В.И., Фомичева Н.Н. Исследование термонапряженного состояния бетонных блоков плотины в строительный период. – В кн.: Новое в технологии бетона. Материалы VII Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Стройиздат, 1975, с.92-93.
15. Фомичева Н.Н., Фомичев Б.С. Экспериментальная установка для исследования термонапряженного состояния бетона раннего возраста // Изв. Вузов / Строительство и архитектура, 1982. - №8. – С.128-130.
16. Фомичева Н.Н. Деформативные характеристики бетона в его раннем возрасте // Сибирский научный вестник. ISBN 978-5-8119-0358-0. Вып.XII. – Новосибирск, 2009. – С. 217-221.

References

1. Makeeva A.V., Semenov K.V., Makeev A.A., Amelina A.V. Crack resistance of massive concrete structures during the construction period, taking into account temperature effects. Vestnik BSTU im. Shukhov. – 2019. No. 8. pp. 30-37. DOI:10.34031/article_5d49408e0e0b61/97206550
2. Alexandrovsky S. V. Calculation of concrete and reinforced concrete structures for temperature and humidity effects, taking creep into account. Moscow: Stroyizdat, 2004. 712 p.
3. Struchkova A.Ya., Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shaibakova A.A. Thermal separation of cement and calculations of crack resistance of concrete massifs // Civil Engineering magazine. 2018. No. 2(78). pp. 128-135. doi: 10.18720/MCE.78.10.
4. Dobretsova I.V., Galaktionov D.E. Temperature regime and thermally stressed state of massive reinforced concrete elements of NPP structures during their construction. Saint Petersburg: All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after Vedeneyeva. 2013, pp.55-60.
5. Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. Thermal crack resistance of massive concrete foundation slabs and its provision during the construction period // Construction of unique buildings and structures. – 2014. №2(17), pp.125-135.

6. Koryanova Yu.I., Nesvetaev G.V., Chepurenko A.S., Sukhin D.P. On the issue of modeling temperature stresses during concreting of massive reinforced concrete slabs // Engineering Bulletin of the Don. – 2022. №7. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7691
7. Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Struchkova A.Ya., Manovitsky S.S. Assessment of the effect of the hardening temperature on the heat release process in calculations of the thermal state of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // Privolzhsky Scientific Bulletin No. 1 (65) – 2017. pp. 11-17.
8. Starodubtsev A.A. Analysis of heat generation of concrete structures at the stage of strength gain / Starodubtsev A.A. – DOI: 10.18411.ectsh-04-2022-91 // Trends in the development of science and technology. – 2022. - No. 84-2. – pp.164-167.
9. Lazovsky D.N., Tur V.V., Glukhov D.O., Lazovsky E.D. Accounting for creep and shrinkage of concrete according to SP 5.03.01-2020 when calculating reinforced concrete structures based on a deformation calculation model // Bulletin of the Brest State Technical University. - 2021. pp. 7-12.
10. Nesvetaev G. V. Experimental study of the stress-strain state of a massive reinforced concrete foundation slab in the early period of hardening / G. V. Nesvetaev, Yu. I. Koryanova, D. P. Sukhin // Bulletin of Eurasian Science. — 2023. — T 15. — No. 3. — URL: https://esj.today/PDF/17SAVN323.pdf (date of notification: 06/02/2026).
11. Nesvetaev G.V., Chepurenko A.S., Koryanova Yu.I., Sukhin D.P. Evaluation of some techniques for calculating temperature stresses during concreting of massive reinforced concrete foundation slabs // Engineering Bulletin of the Don. – 2022. No. 7. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7817
12. Belov A.V. Temperature stresses in a rectangular cross-section concrete prism.– VNIIG Publishing House, vol. 51, 2013. pp. 55-60.
13. Ginzburg S.M., Sheinker N.Ya., Dobretsova I.V., Voznesenskaya N.V. Research on the thermology of concrete structures. St. Petersburg: Izvestiya VNIIG. Volume 263. 2012. pp.87-97.
14. Zubkov V.I., Fomicheva N.N. Investigation of the thermally stressed state of the concrete blocks of the dam during the construction period. – In: New in concrete technology. Materials of the VII All-Union Conference of Young Scientists and Specialists. Moscow: Stroyizdat, 1975, pp.92-93.
15. Fomicheva N.N., Fomichev B.S. Experimental installation for studying the thermally stressed state of early–age concrete // Izv. Vuzov / Construction and Architecture, 1982. - No. 8- P.128-130.
16. Fomicheva N.N. Deformative characteristics of concrete in its early age // Siberian Scientific Bulletin. ISBN 978-5-8119-0358-0. Issue XII. – Novosibirsk, 2009. – pp. 217-221.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бик Юрий Игоревич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой СПВПиГТС, Сибирский Государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: yibik@mail.ru

Yuri I. Bik– Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of SPVPiGTS, Siberian State University of Water Transport (FSBI VO «SGUVT»), 630099, Novosibirsk region, Novo-Sibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: yibik@mail.ru

Фомичева Няиля Николаевна, доцент кафедры Строительного производства, водных путей и гидротехнических сооружений, к.т.н., доцент, Сибирский Государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: ginelli1949@mail.ru.

Nyailya N. Fomicheva, Associate Professor of the Department of Construction Production, Waterways and Hydraulic Structures, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State University of Water Transport (FSBI VO «SGUVT»), 630099, Novosibirsk region, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: ginelli1949@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.06.2026; принята к публикации 10.08.2026; опубликована онлайн 20.09.2026. Received 16.06.2026; published online 20.09.2026.