

С.С. ЖОРОБАЕВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (1747139@mail.ru);
И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук, зав. лабораторией температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, почетный строитель Москвы (1747139@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании

Рассматривается один из наиболее простых и эффективных способов конвективного прогрева бетона стен и колонн в условиях зимнего бетонирования. Актуальность данного вопроса обусловлена потребностью в качественной термообработке бетона при заданных режимах прогрева и сокращении энергетических затрат за счет экономичного использования горячего воздуха, вырабатываемого в замкнутом прогреваемом пространстве. Новизна представленного способа прогрева бетона в условиях зимнего бетонирования заключается в одновременном использовании нагревательного и вентиляторного устройств, эффективно устанавливаемых в рационально организованном обогреваемом пространстве. При этом обеспечивается однородность температуры по высоте и в объеме прогреваемого пространства. Приведена методика расчета параметров выдерживания бетона монолитных конструкций в зимних условиях с использованием конвективного прогрева, принцип работы и конструктивные особенности устройства.

Ключевые слова: метод зимнего бетонирования, монолитные железобетонные стены и колонны, воздушный конвективный прогрев, конвективно-вентиляционный прогрев.

Для цитирования: Жоробаев С.С., Кузнецова И.С. Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании // Бетон и железобетон. 2022. № 3 (611). С. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-23-29>

S.S. ZHOROBAEV, Candidate of Sciences (Engineering), Leading Researcher of the Laboratory of Temperature Resistance and Diagnostics of Concrete and Reinforced Concrete Structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev (1747139@mail.ru);
I. S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Laboratory for Temperature Resistance and Diagnosis of Concrete and Reinforced Concrete Structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Honorary Builder of Moscow (1747139@mail.ru)
Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZhB named after A.A. Gvozdev,
JSC “Research Center “Construction” (building 5, 6, 2nd Institutskaya, Moscow, 109428, Russian Federation)

An Efficient Method of Convective Heating of Monolithic Reinforced Concrete Structures During Winter Concreting

The article discusses one of the simplest and most effective methods of convective heating of concrete walls and columns in winter concreting conditions. The relevance of this issue is due to the need for high-quality heat treatment of concrete under specified heating conditions and reduction of energy costs due to the economical use of hot air generated in a closed heated space. The novelty of the presented method of heating concrete in winter concreting conditions lies in the simultaneous use of heating and fan devices, effectively installed in a rationally organized heated space. This ensures uniformity of temperature in height and in the volume of the heated space. The method of calculating the parameters of concrete retention of monolithic structures in winter conditions using convective heating, the principle of operation and the design feature of the device are given.

Keywords: winter concreting method, monolithic reinforced concrete walls and columns, air convective heating, convective ventilation heating.

For citation: Zhorobaev S.S., Kuznetsova I.S. An efficient method of convective heating of monolithic reinforced concrete structures during winter concreting. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 23–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-23-29>

В современной России строительство зданий и сооружений из монолитного бетона является приоритетным и по объему значительно опережает сборное строительство. Как один из эффективных способов интенсификации темпов строительства зданий и сооружений, монолитное строительство наиболее полно отвечает современным функциональным и

архитектурным требованиям, позволяет создавать большое разнообразие объемно-планировочных и архитектурных решений объектов различного назначения.

В современных рыночных условиях производство строительно-монтажных работ (СМР) осуществляется круглый год и как минимум 40% общего

объема СМР, включая процессы бетонирования, выполняются в зимних условиях. От качества бетона и сроков его твердения зависят качество монолитных железобетонных конструкций и сроки строительства. При возведении зданий и сооружений из монолитного бетона наиболее продолжительным по времени и завершающим по производственному циклу этапом является период набора прочности бетона.

Основной процесс формирования бетонной структуры – гидратация цемента. Повышение температуры играет роль катализатора в этом процессе и обеспечивает ускорение формирования окончательной структуры и набора прочности бетона.

Оптимальной для набора прочности бетона является температура окружающей среды 18–20°C, при которой через 28 сут после бетонирования происходит набор 100% проектной прочности бетона. Снижение температуры замедляет процесс гидратации цемента, и при температуре укладываемой бетонной смеси +5°C бетон через четыре недели достигает только 70% необходимой прочности. При температуре ниже 0°C гидратация цементного камня приостанавливается из-за замерзания воды в порах, без которой этот процесс невозможен. Свободная и физически связанная вода превращается в лед, увеличиваясь в объеме приблизительно на 9%; в результате в бетоне возникают напряжения, нарушающие его структуру и вызывающие микротрещинообразование. При оттаивании процесс гидратации цемента возобновляется, но из-за нарушений структуры бетон может не набрать проектную прочность. Если бетон до замерзания набрал 30–50% от проектной прочности, то дальнейшее воздействие низкой температуры не оказывает существенного влияния на его физико-механические характеристики [1].

Таким образом, создание благоприятных условий твердения бетона в начальный период, особенно в зимних условиях, является важным аспектом для обеспечения требуемого качества монолитных железобетонных конструкций.

При возведении монолитных зданий производство бетонных работ в зимних условиях (при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже +5°C и минимальной суточной температуре ниже 0°C согласно п. 5.11.1 СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции») требует применения технологических приемов зимнего бетонирования. Разработка технологий зимнего бетонирования – залог повышения эффективности и надежности бетонных работ [2].

Выбор метода зимнего бетонирования производят в зависимости от ожидаемой температуры наружного воздуха, применяемых цементов, наличия

на строительстве источников тепла, химических добавок, а также от размеров и назначения конструкций [3].

При выборе рациональных методов выдерживания бетона из числа технически возможных в первую очередь рассматривают наиболее экономичный метод термоса. При невозможности получения указанным методом требуемой прочности бетона в заданные сроки последовательно рассматривают возможность применения методов термоса с применением противоморозных добавок, горячего термоса, термообработки, электротермообработки, обогрева паром, горячим воздухом или в тепляках [4–12].

Распространенным методом тепловой обработки бетона является конвективный прогрев забетонированных конструкций с устройством вокруг них ограждения с обогревом образованного пространства [13]. Такие сооружения называют тепляками. Обогрев бетона в тепляках (замкнутых ограждениях) производят для создания температурно-влажностных условий, необходимых для выдерживания бетона многоярусных конструкций (по высоте расположения блоков бетонирования) и конструкций, имеющих значительные размеры в плане. Внутри тепляков размещают нагревательные приборы: печи, калориферы и пр. Устройство и размеры тепляков не должны препятствовать циркуляции внутри их теплоносителя. Ограждения обогреваемого пространства должны иметь хорошую теплоизоляцию и не пропускать испаряющуюся из бетона влагу при его обогреве. Для повышения влажности воздуха в обогреваемом пространстве в тепляки помещают сосуды с водой или смачивают водой забетонированную конструкцию. Для бетонирования используют обычные бетонные смеси. Возводят тепляк до начала бетонирования конструкций.

Метод термообработки бетона в различных опалубках путем воздушного конвективного прогрева отличается универсальностью, низкой трудоемкостью и возможностью комбинирования с другими методами.

Значительная часть (до 65%) монолитных железобетонных конструкций жилых и общественных зданий являются тонкостенными (плиты перекрытий, стены с модулем поверхности $M_p > 10$). Как показывает практика, при термообработке монолитных тонкостенных конструкций в большинстве случаев применяется конвективный прогрев [4, 13].

По принципу подведения теплового потока к прогреваемой конструкции методы конвективного прогрева подразделяются на следующие группы [4, 14]:

- камерный прогрев;
- камерный прогрев с воздуховодами;

– конвективный прогрев с приопалубочными шторами.

Источниками тепла при конвективном прогреве, как правило, служат теплогенераторы, превращающие электрическую энергию в тепловую; пар; продукты сгорания топлива и т. п.

При камерном прогреве тепловой поток от теплогенератора подается в замкнутое прогреваемое пространство, образуемое между опалубкой конструкций и открытыми вертикальными поверхностями, которые закрыты тепло- и влагоизолирующими шторами. Далее передача тепла от теплогенератора к поверхности опалубки осуществляется конвекцией, и за счет теплопроводности бетона происходит нагрев внутренних слоев возводимой конструкции.

Несмотря на ряд имеющихся достоинств, камерный прогрев не лишен недостатков:

– большая часть тепла тратится на нагрев воздуха, так как объем воздуха в прогреваемом пространстве (тепляках) значительно больше, чем сам предмет нагрева – бетон;

– поскольку теплоемкость нагреваемого воздуха или продуктов сгорания невелика, прогрев таким методом требует больше времени из-за невысокой температуры прогрева (обычно 40–50°C) при значительном расходе электрической энергии или сжигаемого топлива;

– прогрев конструкций с неопалубленной поверхностью нагретыми газами приводит к быстрому испарению влаги с поверхности бетона и опасности его обезвоживания;

– для устройства замкнутого пространства требуется значительное количество материалов укрытия и трудозатраты на их устройства;

– внутри прогреваемого пространства образуется высокая влажность воздуха и обильное конденсатообразование на поверхностях опалубки и тепло- и влагозащитного укрытия;

– так как тепловой поток всегда стремится вверх, на потолке прогреваемого пространства температура всегда выше, чем в нижней части, что обуславливает неравномерное распределение температуры прогрева бетона по высоте конструкции. Соответственно в прогреваемом теле бетона образуется неравномерное температурное поле, приводящее к возникновению температурного и влажностного градиентов, образованию термонапряженного состояния в теле еще не затвердевшего бетона, которое отрицательно сказывается на формировании его конечной структуры.

Перечисленные недостатки метода камерного прогрева бетона частично были исключены в методе камерного прогрева с воздуховодами, когда

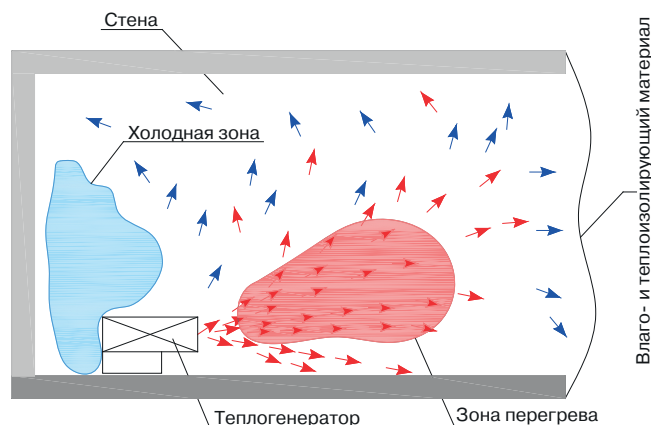


Рис. 1. Зона перегрева и холодная зона при камерном прогреве
Fig. 1. Overheating zone and cold zone during chamber heating

тепловой поток поступает в распределитель и далее в воздухопроводы по периметру возводимых конструкций стен. Несмотря на то что тепло напрямую подается на конструкцию, значительная часть тепла уходит в прогреваемое пространство (камеры тепляка).

Эта проблема решается с применением метода конвективного прогрева с приопалубочными шторами [14], при котором уход тепла в сторону пространства камеры тепляка изолируется шторами и опалубкой. Таким образом достигается значительное уменьшение объема прогреваемого пространства, и, соответственно вырабатываемое теплогенератором тепло эффективно тратится на прогрев бетона самой конструкции. Этот метод выгодно отличается от традиционного камерного прогрева в тепляках, позволяя сократить время термообработки бетона до 20% в условиях зимнего бетонирования [13].

Наряду с неоспоримым преимуществом метод конвективного прогрева с приопалубочными шторами также имеет недостатки, характерные для методов воздушного конвективного прогрева, а именно:

– неравномерное распределение температуры по высоте;

– интенсивное конденсатообразование на поверхностях опалубки и материалов тепло- и влагозащиты.

К отмеченным недостаткам при камерном прогреве с воздуховодами и конвективном прогреве с приопалубочными шторами можно добавить также неравномерность нагрева в пространстве тепляка с образованием зон перегрева из-за направленного потока горячего воздуха к опалубке конструкции (зоны повышенной температуры) и так называемых мертвых (холодных) зон в месте установки теплогенератора (рис. 1).

Из вышеизложенного очевидно, что потенциал совершенствования методов конвективного воздушно-го прогрева не исчерпан.

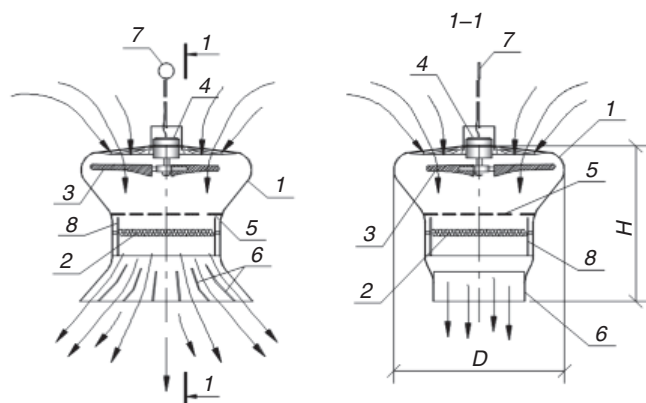


Рис. 2. Принципиальная схема устройства воздушного конвективно-вентиляторного прогрева (УВКП)
Fig. 2. Schematic diagram of the device for air convective-fan heating (UVKP)

Техническое решение, предложенное сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева [15] по совершенствованию метода конвективного прогрева бетона при бетонировании стен и колонн, позволяет устранить ряд указанных выше недостатков, таких как градиент температуры и влажности по высоте обогреваемой конструкции за счет принудительного смешивания теплого воздуха в максимально уменьшенном пространстве обогрева (тепняка). Это достигается применением устройства воздушного конвективно-вентиляторного прогрева (УВКП).

Устройство воздушного конвективно-вентиляторного прогрева (УВКП) состоит из наружного 1 и внутреннего 8 корпусов, изготовленных из прочной стали; электронагревателей 2; осевого вентилятора 3 с электродвигателем 4; металлического щита 5; сопла 6; петли для вывешивания и крепления устройства 7. Сопло 6 может быть выполнено направленным вниз и в сторону от устройства, а также под заданным углом. Принципиальная схема устройства воздушного конвективно-вентиляторного прогрева приведена на рис. 2.

Принцип работы устройства УВКП заключается в следующем. Осевой вентилятор засасывает нагретый воздух и побуждает его двигаться вниз, направляя в наименее нагретые нижние зоны пространства тепняка. За счет естественного стремления теплого потока воздуха вверх и принудительного его движения вниз в пространстве тепняка образуется воздушная масса с однородной температурой, значение которой может регулироваться электронагревателем, установленным в устройстве УВКП.

Устройство УВКП, как и традиционный теплогенератор, отличается простотой установки, высоким КПД, низкой стоимостью, возможностью быстрой замены в случае выхода из строя и безопасностью для здоровья обслуживающего персонала.

Мощность устройства зависит от количества тепла $Q_{\text{УВКП}}$, необходимого для нагрева, которое рассчитывается исходя из объема обогреваемого воздушного пространства, теплоемкости опалубочной системы, бетона и основания, величин теплопотерь в окружающую среду и эффективности теплоизолирующего материала (см. таблицу):

$$Q_{\text{УВКП}} > Q_{\text{огр}} + Q_{\text{н.возд}} + Q_{\text{н.оп}} + Q_{\text{н.б}} - Q_{\text{экз}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – теплопотери через наружные ограждения камеры (тепняка); $Q_{\text{н.возд}}$ – расход тепла на нагрев воздуха внутри камеры; $Q_{\text{н.оп}}$ – расход тепла на нагрев щитов опалубки; $Q_{\text{н.б}}$ – расход тепла на нагрев бетона; $Q_{\text{экз}}$ – тепловыделение бетона за счет экзотермии.

Теплопотери через наружные ограждения определяются:

$$Q_{\text{огр}} = \sum [(t_{\text{Ti}} - t_{\text{ni}}) \cdot F_i / R_i], \quad (2)$$

где t_{Ti} – расчетная температура воздуха внутри камеры; t_{ni} – температура наружного воздуха при расчете потерь теплоты через наружные ограждения камеры (тепняка); F_i – площадь ограждения; R_i – сопротивление теплопередаче ограждения.

Эффективные влаго- и теплоизолирующие материалы и их характеристики Effective moisture and heat insulating materials and their characteristics

Технические характеристики	Виды и марки укрывного материала			
	Энергофлекс	Изолон	Изофлекс	Пенотерм НПП
Толщина, мм	10, 13, 20, 25	2–10	2, 3, 4, 5, 8, 10	2–15
Плотность, кг/м ³	20–30	25–200	20–40	20–40
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,039–0,043	0,032	0,035	0,034
Водопоглощение по объему, не более, %	0,07–0,094	1	не более 2	0,9
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	–	0,001	0,00	0,001
Удельная теплоемкость, Вт/(м·°С)	–	1,35	–	–
Прочность при сжатии на 25%, МПа	–	0,035	–	–
Диапазон рабочей температуры, °С	–40 – +95	–60 – +75	–60 – +90	–50 – +150

Расход тепла на нагрев воздуха внутри камеры (тепняка) определяется:

$$Q_{\text{н.возд}} = G \cdot n \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{Ti}} - t_{\text{нач.и}}), \quad (3)$$

где G – производительность одного УВКП; n – необходимое количество УВКП для нагрева согласно требованиям (6); $c_{\text{в}}$ – массовая удельная теплоемкость воздуха; $t_{\text{нач.и}}$ – начальная температура воздуха внутри прогреваемого пространства.

Расход тепла на нагрев щитов опалубки определяется:

$$Q_{\text{н.о}} = V_0 \cdot c_0 \cdot \rho_0 \cdot (t_{\text{нач.о}} - t_{\text{T}}), \quad (4)$$

где c_0 – удельная теплоемкость материала внутренних щитов опалубки; V_0 , ρ_0 – соответственно объем и плотность материала внутренних щитов опалубки; $t_{\text{нач.о}}$ – начальная температура материала внутренних щитов опалубки.

Расход тепла на нагревание бетона, уложенного в опалубку, определяется:

$$Q_{\text{н.б}} = V_6 \cdot c_6 \cdot \rho_6 \cdot (t_{\text{нач.б}} - t_{\text{T}}^{\text{с}}), \quad (5)$$

где c_6 – удельная теплоемкость бетона; V_6 , ρ_6 – объем и плотность бетона соответственно; $t_{\text{нач.б}}$, $t_{\text{T}}^{\text{с}}$ – средняя температура бетона в начальный момент нагрева и через определенный период времени t .

Тепловыделение бетона за счет экзотермии определяется:

$$Q_{\text{экз}} = V_6 \cdot \text{Ц} \cdot \text{Э}, \quad (6)$$

где Ц – расход цемента в бетоне, кг/м³; Э – тепловыделение цемента, кДж/кг, за время твердения бетона при заданной температуре.

Проблема снижения потерь тепла в окружающую среду решается путем применения эффективных теплоизолирующих материалов при их плотном прилегании к основанию, отсутствии щелей, неплотностей и др.

Эффективность конвективного воздушного прогрева с применением УВКП значительно увеличивается при укрытии прогреваемого пространства эффективными теплоизолирующими и влаготеплоизолирующими материалами с улучшенными теплотехническими характеристиками. Некоторые современные эффективные влаготепло- и теплоизолирующие материалы и их характеристики приведены в таблице.

При устройстве обогреваемого пространства тепляка следует стремиться минимизировать параметр его ширины b , тем самым уменьшая объем прогреваемого воздушного пространства.

Во избежание влаготеплопотерь из твердеющего бетона открытые участки твердеющего бетона конструкций должны быть изолированы влаготеплозащитным покрытием.

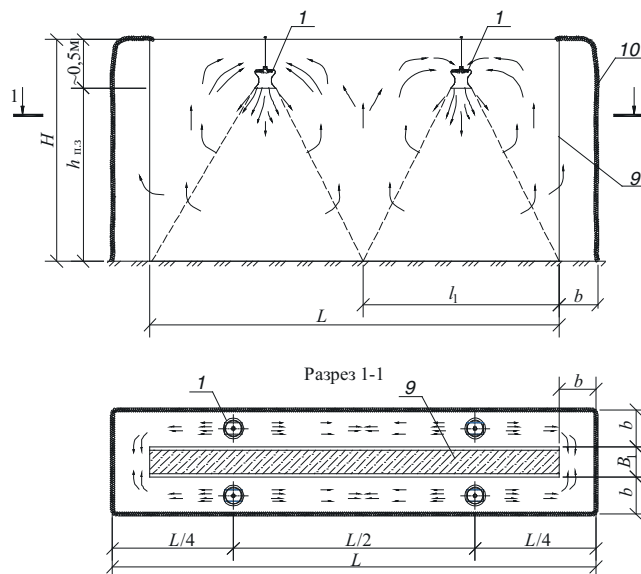


Рис. 3. Схема размещения УВКП для прогрева монолитной железобетонной стены. Обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. Scheme of placement of UVKP for heating a monolithic reinforced concrete wall. Designations see fig. 2

Для минимизации или исключения теплотерь при устройстве тепляка вокруг возводимой конструкции необходимо соблюдать нижеприведенные правила:

- обеспечение плотности стыков между полотнами укрывного материала;
- плотное прилегание укрывного материала к основанию, без образования щелей, отверстий, неплотностей.

Очень важным является рациональное размещение устройства УВКП в пространстве тепляка. Устройство УВКП следует размещать в припотолочной части пространства тепляка и в верхней зоне обогреваемой конструкции (9, рис. 3), подвешивая его через петлю к заранее предусмотренному крепежу. Если в обогреваемом пространстве предусмотрена установка нескольких устройств УВКП, то их необходимо располагать симметрично и равномерно по площади потолка прогреваемого пространства.

Рациональное расположение устройства УВКП в верхней зоне прогреваемого воздушного пространства и конструкции позволяет предотвратить скопление нагретого воздуха, образовавшегося за счет конвекции, в верхних частях пространства тепляка, снизить относительную влажность более чем на 20% и устранить образование конденсата (рис. 3).

Требуемое количество устройств УВКП зависит от геометрических параметров пространства тепляка и определяется из условия обслуживания тепляка одним устройством УВКП:

$$\frac{2 \cdot \sqrt{l_1 \cdot b}}{h_{\text{п.з}}} = 0,6 - 1,2, \quad (7)$$

где l_1 и b – длина и ширина прогреваемой зоны одним устройством УВКП, м; $h_{п.з}$ – высота прогреваемой зоны до низа устройства УВКП.

Для прогрева бетона монолитных конструкций целесообразно применять «мягкий режим» прогрева в интервале температуры $+25 - +60^\circ\text{C}$. Расчетный перепад температур Δt_0 между температурой в зоне установки устройства УВКП и в нижней зоне тепляка в пределах диапазона рационального применения УВКП составляет $\Delta t_0 = 3 - 5^\circ\text{C}$. Время набора необходимой температуры прогрева по данному методу составляет 3–6 ч, что связано с малой теплоемкостью нагреваемого воздуха.

Использование «мягкого режима» твердения, характерное для данного способа, позволяет обеспечить благоприятное термонапряженное состояние в бетоне конструкции и исключить образование трещин вследствие экзотермии, что обуславливает целесообразность применения этого метода для массивных и среднемаассивных конструкций при условии поддержания и контроля температуры в периферийных слоях прогреваемой конструкции на уровне температуры в ядре сечения [17].

Устройство УВКП должно устанавливаться на расстоянии не менее 100 мм от опалубки и теплоизолирующего укрытия. При этом следует также избегать прямое попадание струи горячего воздуха на стенки опалубки конструкций во избежание образования зон перегрева.

Для контроля температуры нагревателя используются термодатчики, которые располагаются на разной высоте прогреваемого пространства и поверхности нагреваемой конструкции, а также могут быть установлены в самом бетоне согласно указаниям СП 435.1325800.2018 «Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ».

Выводы

Применение метода конвективного прогрева с использованием устройства конвективно-вентиляционного прогрева (УВКП) и его рациональным располо-

жением на верхней зоне обогреваемого воздушного пространства тепляка позволяет обеспечить заданный уровень температуры и равномерность ее распределения по высоте прогреваемой конструкции.

За счет равномерности распределения температуры в пространстве тепляка и уменьшения объема прогреваемого воздушного пространства повышается эффективность использования тепловой энергии и обеспечивается равномерный по площади обогрев бетона конструкции. Равномерность прогрева бетонной поверхности по высоте позволит получить однородный бетон требуемого качества.

Уменьшение потерь тепла в окружающую среду достигается за счет применения эффективных теплоизолирующих материалов при их плотном прилегании к основанию, отсутствии щелей, неплотностей и др.

Использование «мягкого режима» твердения обеспечивает благоприятное термонапряженное состояние в бетоне конструкции, исключая образование трещин вследствие экзотермии в массивных и среднемаассивных конструкциях.

Предложенный метод конвективного прогрева с использованием устройства конвективно-вентиляционного прогрева также может применяться для нагрева опалубки, арматурного каркаса, грунта перед бетонированием в зимних условиях, будет способствовать сохранению тепла в свежееуложенном бетоне при предварительном разогреве бетонной смеси, а при совмещении с методом термоса или электродного прогрева будет создавать тепловую завесу (теплоизолирующий слой) между твердеющим бетоном в опалубке и окружающей средой.

Метод конвективного прогрева с использованием устройства конвективно-вентиляционного прогрева особенно актуален для специфических суровых климатических условий районов Крайнего Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока, Арктической зоны России, а также в условиях сухого жаркого климата при производстве бетонных работ в ночное время, когда отсутствует солнечная энергия. При этом будет обеспечиваться непрерывность изотермического режима прогрева бетона в конструкции.

Список литературы

1. Малахов С.А. Зимнее бетонирование: Дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2001.
2. Хубаев А.О., Байчоров Р.А., Урусов А.А. Системный анализ методов зимнего бетонирования при возведении монолитных жилых зданий и сооружений // *Известия Тульского гос. университета. Технические науки*. 2020. С. 309–312.
3. Юргайтис А.Ю., Царенко А.А. Возможности интенсификации строительного производства на

References

1. Malakhov S.A. Winter concreting. Cand. Diss. (Engineering). Nizhniy Novgorod. 2001.
2. Khubaev A. O., Baichorov R. A., Urusov A. A. System analysis of winter concreting methods in the construction of monolithic residential buildings and structures. *Izvestiya Tul'skogo gos. universiteta. Tekhnicheskije nauki*. 2020, pp. 309–312. (In Russian).
3. Yurgaytis A.Yu., Tzarenko A.A. Possibilities for intensifying construction work's dynamic on objects of the

- объектах годовой программы работ за счет применения технологий зимнего бетонирования // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 4.
4. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. НИИЖБ, 2005. 275 с.
5. Киреев И.А. Бетонные работы на морозе. Киев: Изд-во Н.К.З., 1919. 169 с.
6. Староверов В.Д., Соколов И.И., Попов Д.О., Шваб Д.М. Особенности зимнего бетонирования // *Технологии бетонов*. 2010. № 1–2. С. 38–41.
7. Усов Б.А., Волков В.В. Особенности зимнего бетонирования вертикальных элементов монолитных конструкций // *Технологии бетонов*. 2010. № 1–2. С. 56–58.
8. Гнам П.А., Кивихарью Р.К. Технологии зимнего бетонирования в России. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 9 (48). С. 7–25.
9. Brund A., Bohlin H. Accelerating hardening of plastic mixtures. U.S. Patent № 1808762. U.S.A: Rock Prod, 1932.
10. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: ЮУрГУ, 1999. 156 с.
11. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. М.: Стройиздат, 1975. 192 с.
12. Колчеданцев Л.М., Царенко А.А. Расширение границ применимости способа термоса. *Петербургская школа поточной организации строительства: I Всероссийская научно-практическая конференция*. СПб., 2018. С. 70–73.
13. Мельник А.А. Совершенствование технологии конвективного прогрева монолитных тонкостенных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2002. 165 с.
14. Мельник А.А. Расчет параметров термообработки бетона при воздушном конвективном прогреве тонкостенных монолитных конструкций. // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2021. Т. 21. № 3. С. 29–35.
15. Патент РФ 202192. *Устройство для тепловой обработки монолитных бетонных конструкций* / Жоробаев С.С., Зимин С.Г. Заявл. 26.08.2020.
16. Минаков Ю.А., Сленьков В.А. Возведение зданий из монолитного бетона в термоактивной опалубке. Йошкар-Ола: Марийский ГТУ, 2008. 260 с.
17. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1975. 700 с.
- annual production program by winter concreting technology. *Vestnik Yevraziyskoy nauki*. 2019. No. 4 (11). (In Russian).
4. Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnykh konstruktsiyakh / Pod red. B.A. Krylova, S.A. Ambartsumyana, A.I. Zvezdova [Guidelines for heating concrete in monolithic structures / Edited by B.A. Krylov, S.A. Ambartsumyan, A.I. Zvezdov]. Moscow: NIIZHB. 2005. 275 p.
5. Kireyenko I.A. Betonnyye raboty na moroze [Concrete work in the cold]. Kiyev: N.K.Z. 1919. 169 p.
6. Staroverov V.D., Sokolov I.I., Popov D.O., Shvab D.M. Features of winter concreting. *Tekhnologii Betonov*. 2010. No. 1–2, pp. 38–41. (In Russian).
7. Usov B.A., Volkov V.V. Features of winter concreting of vertical elements of monolithic structures. *Tekhnologii betonov*. 2010. No. 1–2, pp. 56–58. (In Russian).
8. Gnam P.A., Kivikhar'yu R.K. Technologies of winter concreting in Russia. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2016. No. 9 (48), pp. 7–25. (In Russian).
9. Brund A., Bohlin H. Accelerating hardening of plastic mixtures. U.S. Patent №1808762. U.S.A: Rock Prod. 1932.
10. Golovnev S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov [Winter concreting technology. Optimization of parameters and choice of methods]. Chelyabinsk: YUUrGU. 1999. 156 p.
11. Rukovodstvo po zimnemu betonirovaniyu s primeneniym metoda termososa [Guidelines for winter concreting using the thermos method]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 192 p.
12. Kolchedantsev L.M., Tsarenko A.A. Rasshireniye granits primenimosti sposoba termososa. *Peterburgskaya shkola potochnoy organizatsii stroitel'stva: I All-Russian Scientific and Practical Conference*. Saint Petersburg. 2018, pp. 70–73.
13. Melnik A.A. Improving the technology of convective heating of monolithic thin-walled structures. Cand. Diss (Engeneering). Chelyabinsk. 2002. 165 p.
14. Mel'nik A.A. Calculation of parameters of heat treatment of concrete during air convective heating of thin-walled monolithic structures. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2021. Vol. 21. No. 3, pp. 29–35. (In Russian).
15. Patent RF 202192. *Ustroystvo dlya teplovoy obrabotki monolitnykh betonnykh konstruktсий* [Device for heat treatment of monolithic concrete structures]. Zhorobaev S.S., Zimin S.G. Declared 26.08.2020. (In Russian).
16. Minakov YU.A., Slen'kov V.A. Vozvedeniye zdaniy iz monolitnogo betona v termoaktivnoy opalubke [Erection of buildings from monolithic concrete in thermoactive formwork]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy GTU, 2008. 260 p.
17. Mironov S.A. Teoriya i metody zimnego betonirovaniya [Theory and methods of winter concreting]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 700 p.