

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА ПРИ ВОЗДУШНОМ КОНВЕКТИВНОМ ПРОГРЕВЕ ТОНКОСТЕННЫХ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.А. Мельник

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В статье рассматривается один из простых и эффективных способов термообработки бетона стен и перекрытий, возводимых в тоннельной опалубке, – метод конвективного прогрева. Актуальность данного вопроса обусловлена потребностью в качественной термообработке бетона тонкостенных конструкций при нормируемом времени выдерживания и сокращении энергетических затрат за счет повышения эффективности использования тепловой энергии. Классифицируются разновидности метода конвективного прогрева по принципу подведения теплового потока к прогреваемой конструкции: традиционный камерный прогрев, камерный прогрев с воздухопроводами, конвективный прогрев с приопалубочными шторами. Приведена методика расчета параметров выдерживания бетона тонкостенных монолитных конструкций в зимних условиях с использованием конвективного прогрева и основные принципы выбора генераторов тепла.

Ключевые слова: методы зимнего бетонирования, конвективный прогрев, расчет прочности бетона, распалубочная прочность.

Введение

Для выдерживания железобетонных тонкостенных монолитных плит перекрытий и стен с модулем поверхности более 10 в зимних условиях, возводимых с использованием тоннельной опалубки, широко применяются методы конвективного прогрева. Для создания пространства, в которое будет подаваться тепловой поток от генератора, открытые поверхности, граничащие с открытым воздухом, например, вход в тоннель, закрываются теплоизоляционными пологими (рис. 1). В образованном замкнутом пространстве нагретый воздух от теплокалорифера передает тепловую энергию посредством конвекции опалубке и далее за счет теплопередачи внутрь выдерживаемой бетонной конструкции. Наружные опалубочные щиты для повышения эффективности прогрева утепляют.



Рис. 1. Конвективный прогрев во время строительства жилого дома по ул. Гагарина в г. Челябинске

К плюсам использования конвективного прогрева можно отнести простоту монтажа оборудования, низкие трудозатраты, возможность быстрой замены генератора, возможность комбинации и прогрева бетона при повреждении греющего кабеля при электропрогреве бетона методом греющих проводов [1–6].

Анализ методов конвективного прогрева

Классификацию методов конвективного прогрева предложено проводить по способу подачи тепловой энергии воздушного потока к опалубке [7–9]. Основываясь на этом разделении, можно выделить разновидности конвективного прогрева:

- традиционный камерный,
- камерный с воздухопроводами,
- конвективный с приопалубочными шторами.

Наиболее простым и распространенным является метод традиционного камерного прогрева, который организуют с помощью подачи воздушного нагретого потока от калорифера в замкнутый контур тоннеля, и далее вследствие конвективного теплообмена между нагретым воздухом и щитами опалубки [10–12] происходит нагревание опалубки и бетона (рис. 2).

Камерный прогрев с воздухопроводами отличается от традиционного метода тем, что горячий воздух от калорифера через разделитель направляется в воздухопроводы, которые подводят горячий воздух по периметру опалубки стен (рис. 3). Воздуховоды, выполненные из воздухонепроницаемого материала, в зоне, граничащей с опалубкой, имеют отверстия для направления теплового потока на опалубочные щиты.

Технология и организация строительства

Конвективный прогрев с приопалубочными шторами создан и запатентован сотрудниками кафедры «Строительное производство и теория сооружений» ЮУрГУ в 2002 году, патент № 2246466. В данном методе применяется подача горячего воздуха от калорифера в уменьшенное ограниченное пространство между опалубкой и теплозащитной шторой, натянутой параллельно

плоскости щита опалубки (рис. 4). Плюс метода, выгодно отличающего его от других методов конвективного прогрева, – это более высокий КПД использования тепла за счет уменьшения объема пространства, граничащего с опалубкой. Приопалубочные шторы имеют конструкцию сэндвича – два слоя воздухо непроницаемого материала между которыми укладывается теплоизолирующая про-

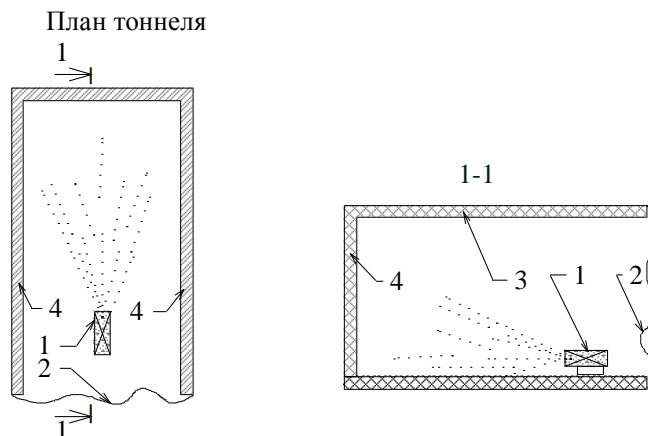


Рис. 2. Схема традиционного камерного прогрева:
1 – теплогенератор; 2 – теплоизолирующая штора; 3 – перекрытие; 4 – стены

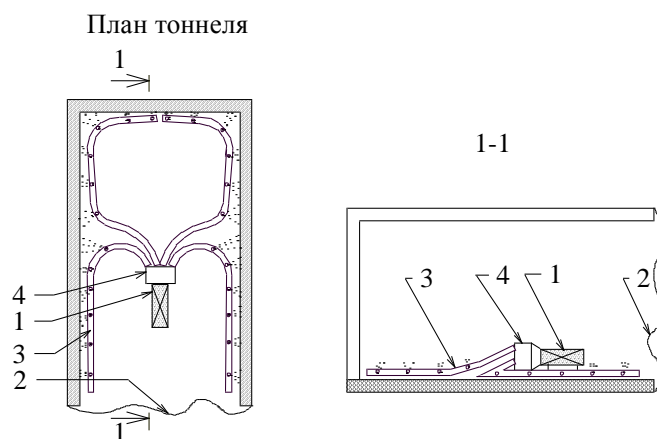


Рис. 3. Схема камерного прогрева с воздуховодами: 1 – теплогенератор,
2 – теплоизолирующая штора; 3 – воздуховоды, 4 – распределитель воздушного потока

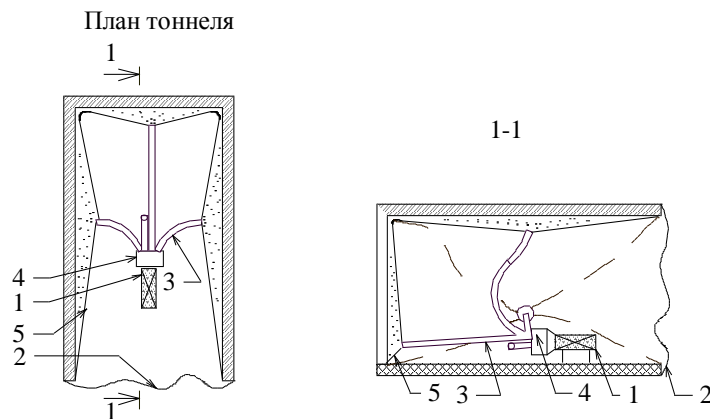


Рис. 4. Схема «конвективного прогрева с приопалубочными шторами»:
1 – теплогенератор; 2 – теплоизолирующая штора; 3 – воздуховоды;
4 – распределитель воздушного потока; 5 – приопалубочные шторы

слойка. Следует учесть, что, несмотря на высокий КПД использования энергии теплогенератора, метод связан с дополнительными затратами на штормы, но окупается многократным их применением.

Для снижения удельных затрат на конвективный прогрев бетона рекомендуется сделать технико-экономическую оценку методов с учетом затрат и требуемых параметров термообработки бетона конструкций.

Поскольку тепловой поток стремится вверх, следует уделить особое внимание вопросам зоны контакта нового бетона и основания ранее забетонированных конструкций, чтобы не допустить промораживание свежесуложенного бетона в области стыка с ранее уложенным и набравшим прочность бетоном.

В качестве источников конвективного прогрева обычно применяют электрокалориферы или газовые, дизельные тепловые пушки. Электротеплогенераторы при монтаже требуют минимальных трудозатрат, обеспечивают требуемую надежность, имеют доступную цену, ремонтнопригодны и быстрозаменяемы в случае поломок.

В данной статье автором предлагается алгоритм расчета, позволяющий решить вопросы выбора параметров выдерживания бетона при конвективном прогреве.

Выбор параметров конвективного прогрева

Для определения начальных параметров расчета необходимую мощность электротеплогенератора можно определить по номограмме (рис. 5).

Предлагается следующий алгоритм выбора параметров конвективного прогрева:

На начальном этапе определяется требуемая мощность электрокалорифера с учетом того, что она должна превышать суммарные тепловые потери через наружные ограждения, теплотраты на прогрев инфильтрующегося через воздухопроницаемые элементы тоннеля воздушного потока, затраты тепловой энергии на обогрев опалубки и термообработку бетонной смеси:

$$Q_{\text{тепл}} \geq Q_{\text{огр}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{н.о}} + Q_{\text{н.б}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – компенсация теплопотерь через ограждающие конструкции; $Q_{\text{н}}$ – компенсация тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха; $Q_{\text{н.о}}$ – потребность в тепловой энергии на нагревание опалубки; $Q_{\text{н.б}}$ – потребность в тепловой энергии на термообработку бетона выдерживаемой конструкции.

Компенсацию теплопотерь через ограждающие конструкции можно определить по формуле

$$Q_{\text{огр}} = \sum [(t_{\text{ти}} - t_{\text{ни}}) \cdot n_i \cdot F_i \cdot \beta_i] / R_i, \quad (2)$$

где $t_{\text{ти}}$ – расчетная температура воздушного пространства у соответствующей ограждающей конструкции внутри тоннеля; $t_{\text{ни}}$ – температура наружного воздуха при расчете теплопотерь через наружные опалубочные щиты или температура воздуха более холодного объема при расчете теплопотерь через внутренние ограждения тоннеля; n_i – коэффициент, учитывающий фактическое по-

нижение расчетной разности температур ($t_{\text{ти}} - t_{\text{ни}}$) для ограждений, которые отделяют обогреваемое воздушное пространство от необогреваемого; β_i – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла через ограждение; F_i – площадь ограждения; R_i – сопротивление теплопередаче ограждения.

Компенсацию тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха в тоннеле можно рассчитать по следующей формуле:

$$Q_{\text{н}} = \beta_0 \cdot G \cdot c_{\text{воз}} \cdot (t_{\text{ти}} - t_{\text{ни}}), \quad (3)$$

где G – производительность вентилятора теплогенератора; $c_{\text{воз}}$ – массовая теплоемкость воздуха; β_0 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла в объеме при инфильтрации теплового воздуха через ограждение.

Потребность в тепловой энергии на нагревание опалубки:

$$Q_{\text{н.о}} = V_{\text{оп}} \cdot c_{\text{оп}} \cdot \rho_{\text{оп}} \cdot \mu \cdot (t_{\text{н.о}} - t_{\text{ти}}), \quad (4)$$

где $V_{\text{оп}}$, $c_{\text{оп}}$, $\rho_{\text{оп}}$, μ – объем, удельная теплоемкость, плотность материала, из которого изготовлены внутренние щиты тоннельной опалубки, μ – средняя по объему относительная недостаточная температура, показывающая долю от полного перепада начальной температуры материала внутренних опалубочных щитов $t_{\text{н.о}}$ и температуры в обогреваемом пространстве $t_{\text{ти}}$, которая приобретает в среднем всем объемом материала за время τ с начала нагревания.

При укладке бетонной смеси в опалубку, которая предварительно нагрета, величину $Q_{\text{н.о}}$ можно принять равной нулю.

Потребность в тепловой энергии на термообработку бетона выдерживаемой конструкции:

$$Q_{\text{н.б}} = V_{\text{бет}} \cdot c_{\text{бет}} \cdot \rho_{\text{бет}} \cdot (t_{\text{бет.н}} - t_{\text{бет}}^{\tau}), \quad (5)$$

где $V_{\text{бет}}$, $c_{\text{бет}}$, $\rho_{\text{бет}}$ – соответственно объем, удельная теплоемкость, плотность бетона; $t_{\text{бет.н}}$, $t_{\text{бет}}^{\tau}$ – соот-

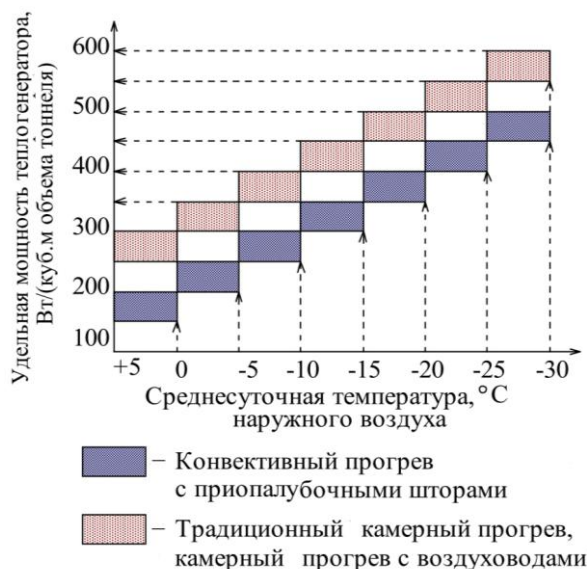


Рис. 5. Номограмма для выбора теплогенератора

ответственно температура бетона в начальный момент обогрева и через определенный период термообработки τ .

Вычисление температуры в воздушном объеме, граничащем опалубкой. На основании параметров выбранного источника тепла рассчитывается температура в воздушном объеме, разбитом на элементы и граничащем опалубкой.

Традиционный камерный прогрев. Температуру воздуха в i -м элементарном объеме, расположенном в тоннеле, рассчитывается по формуле:

$$t_i = 45,65 \cdot (y/L) + 0,32 \cdot (z/H) - 33,27 \cdot (y/L) \cdot (z/H) + 0,98 \cdot t_{cp,t} - 11,0 \cdot (y/L)^2 - 7,0 \cdot (z/H)^2 - 10,62 + 0,0006 \cdot (t_{cp,t})^2, \quad (6)$$

где $t_{cp,t}$ – средняя температура воздушного объема внутри тоннеля: $10^\circ\text{C} < t_{cp,t} < 50^\circ\text{C}$; L – длина внутреннего пространства тоннеля, м; H – высота внутри тоннеля, м (рис. 6); y, z – координаты длины и высоты внутри пространства, м: $0 \leq y \leq L, 0 \leq z \leq H$.

Среднюю температуру воздушного объема внутри тоннеля $t_{cp,t}$, определяем из системы уравнений баланса тепла:

$$\begin{cases} Q_{огр} = \Sigma[(t_{cp,t} - t_{ni}) \cdot n_i \cdot F_i \cdot b_i] / R_i, \\ Q_{и} = b_0 \cdot G \cdot c_{воз} \cdot (t_{Ti} - t_{ni}), \\ Q_{эл} = Q_{огр} + Q_{и}. \end{cases} \quad (7)$$

Камерный прогрев с воздуховодами. Температура воздуха в i -м элементарном объеме, расположенном в тоннеле, рассчитывается по формуле:

$$t_i = 8,33 \cdot (z/H)^2 + 0,001 \cdot (t_{ycp})^2 + 0,26 \cdot (z/H) \cdot t_{ycp} - 7,30 \cdot (z/H) + 1,6 + 0,77 \cdot t_{ycp}, \quad (8)$$

где $t_{cp,t}$ – средняя температура воздушного объема внутри тоннеля: $10^\circ\text{C} < t_{ycp} < 50^\circ\text{C}$; H – высота внутри тоннеля, м; z – координата высоты внутри пространства, м: $0 \leq z \leq H$.

Использование формул (6), (8) ограничено условием $0,5 < (H/L) < 0,62$, при выполнении которого, погрешность не должна превышать 13%. В случае если условие не выполняется, температурные поля воздуха в приопалубочном пространстве нужно определять на основе натурных экспериментов.

Конвективный прогрев с приопалубочными шторами. При расчете параметров этого метода, ввиду значительного уменьшения приопалубочного пространства с помощью штор, можно принять равномерно распределенную температуру в этом воздушном объеме. Среднюю температура воздушного объема внутри тоннеля $t_{cp,t}$ и температуру воздуха в приопалубочном пространстве ($t_{cp,t} + \Delta t_{п.п}$) можно найти, решив систему уравнений теплового баланса:

$$\begin{cases} Q_{опал} = S[(t_{cp,t} + \Delta t_{п.п}) - t_{ni}] \cdot n_i \cdot F_i \cdot b_i / R_i, \\ Q_{и} = b_0 \cdot G \cdot c_{воз} \cdot (t_{Ti} - t_{ni}), \\ Q_{осн} = [(t_{cp,t} - t_{ni}) \cdot n_i \cdot F_{осн} \cdot b_i] / R_{осн}, \\ Q_{н.шт} = [(t_{cp,t} - t_{ni}) \cdot n_i \cdot F_{н.шт} \cdot b_i] / R_{н.шт}, \\ Q_{приоп.шт} = S \Delta t_{п.п} \cdot F_{приоп.шт} / R_{приоп.шт}, \\ Q_{эл} = Q_{опал} + Q_{и} + Q_{осн} + Q_{шт} + Q_{приоп.шт}, \end{cases} \quad (9)$$

где $Q_{и}$, $Q_{осн}$, $Q_{н.шт}$ – соответственно компенсация тепла на нагрев инфильтрирующегося воздуха, компенсация теплопотерь через основание тоннеля и через наружную штору, которой отсекается проем в тоннель, Вт; $Q_{опал}$, $Q_{приоп.шт}$ – теплопотери воздуха приопалубочного пространства через конструкцию стен, перекрытий и через приопалубочные шторы соответственно, Вт; $F_{приоп.шт}$ – площадь поверхности приопалубочных штор, м²; $R_{приоп.шт}$ – сопротивление теплопередаче конструкции штор, разделяющих приопалубочное пространство и пространство тоннеля (м²·°C)/Вт. Значение $\Delta t_{п.п}$ на основе экспериментальных данных находится в интервале от 12 до 18 °C.

Расчет температуры в бетоне выдерживаемых конструкций. Расчет температуры в бетоне и ее распределение предлагается решить на основании численного метода тепловых балансов.

Рассчитываемая конструкция разбивается на элементы – симплексы; каждый симплекс внутри имеет узловую точку. Для каждого симплекса составляется уравнение энергетического баланса: количество тепла, воспринятое (или отданное) от соседних элементов, обуславливает теплосодержание рассматриваемого. При трехмерном температурном поле температура произвольного элемента $t_{i,j,k}$ через период времени $\Delta\tau$ составит:

$$t_{i,j,k}^{\tau+\Delta\tau} = t_{i,j,k}^{\tau} + \Delta\tau / (\Delta V_{i,j,k} \cdot \rho_{i,j,k} \cdot c_{i,j,k}) \times \begin{aligned} & \times [[(t_{i-1,j,k} - t_{i,j,k}) \cdot \Delta y \cdot \Delta z] / R_{i-1,j,k} + \\ & + [(-t_{i,j,k} + t_{i+1,j,k}) \cdot \Delta y \cdot \Delta z] / R_{i+1,j,k} + \\ & + [(t_{i,j,k-1} - t_{i,j,k}) \cdot \Delta x \cdot \Delta z] / R_{i,j,k-1} + \\ & + [(-t_{i,j,k} + t_{i,j,k+1}) \cdot \Delta x \cdot \Delta z] / R_{i,j,k+1} + \\ & + [(t_{i,j,k-1} - t_{i,j,k}) \cdot \Delta x \cdot \Delta y] / R_{i,j,k-1} + \\ & + [(-t_{i,j,k} + t_{i,j,k+1}) \cdot \Delta x \cdot \Delta y] / R_{i,j,k+1}], \end{aligned} \quad (10)$$

где $t_{i-1,j,k}, \dots, t_{i,j,k+1}$ – температура в соответствующих точках; $R_{i-1,j,k}, \dots, R_{i,j,k+1}$ – термическое сопро-

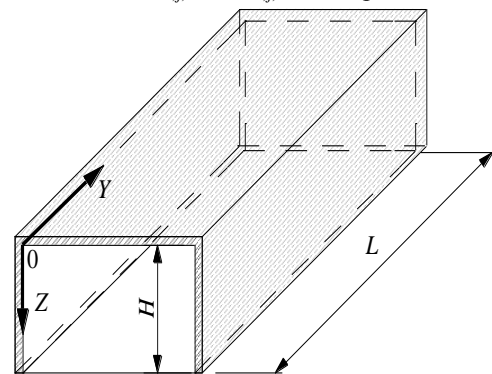


Рис. 6. Схема для определения температуры в пространстве тоннеля

тивление между соответствующими узлами в направлениях x, y, z ; $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – шаг узловых точек в направлении соответствующих осей; $\Delta V_{i,j,k}$ – объем симплекса; $t_{i,j,k}^{\tau}, t_{i,j,k}^{\tau+\Delta\tau_1}$ – температура в узловой точке в моменты времени $\tau, \tau+\Delta\tau_1$; $\rho_{i,j,k}, c_{i,j,k}$ – соответственно плотность и удельная теплоемкость материала симплекса.

Уравнение (10) решает задачу нахождения температуры в узловой точке конструкции в момент времени $\tau + \Delta\tau_1$, если заданы граничные условия теплообмена: 3-го рода – твердого тела с окружающей воздушной средой и 4-го рода – двух граничащих твердых тел, и известно первоначальное распределение температур.

Расчет прочности. С помощью рассчитанного распределения температуры в бетоне конструкции производится расчет распределения прочности в бетоне через рассматриваемый интервал времени [8].

Прочность бетона с учетом времени и температуры термообработки:

$$R = R_{28} - A \exp \{ -B [(0,6 + 0,02t)^n - C] \tau \}, \quad (11)$$

где t, τ – температура бетона и время термообработки соответственно; R_{28}, R – марочная прочность бетона и прочность после термообработки, соответственно; A, B – коэффициенты начальной прочности и темпа твердения:

$$A = 292/R_3^{1/3}, B = 7,3/(100 - R_3), \quad (12)$$

где R_3 – прочность бетона в возрасте 3 суток при нормальных условиях хранения, % от R_{28} .

C – коэффициент, учитывающий замедление скорости твердения бетона при температурах от нуля до минус 13 °С:

$$C = 0,054 + 1,33/(100 - R_3), \quad (13)$$

n – коэффициент, учитывающий вид и марку цемента:

$$n = 1,4 + 50/R_3. \quad (14)$$

Рассчитанное значение прочности бетона необходимо сравнить с требуемым нормативным значением [13]. Важно, чтобы рассчитанное значение прочности было не менее требуемого. При невыполнении этого условия необходимо подобрать теплогенератор с большей мощностью, дополнительно подобрать утеплитель опалубки, увеличив мощность электрокалорифера.

Заключение

Применение метода конвективного прогрева на основе расчета параметров термообработки и подбора мощности теплогенератора, повышает эффективность использования тепловой энергии, позволяет обеспечить качественный прогрев конструкций в установленное графиком строительства время. Использование метода конвективного прогрева с приопалубочными шторами благодаря уменьшению прогреваемого приопалубочного пространства снижает энергозатраты на конвективный прогрев

до 30 % [14, 15], что позволяет уменьшить капитальные затраты на реализацию инвестиционных проектов строительства в зимних условиях.

Литература

1. *Современные строительные технологии: моногр. / под ред. С. Г. Головнева.* – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. – 262 с.
2. Мельник, А.А. *Натурные исследования твердения бетона в стене при камерном обогреве в зимнее время // Строительство и образование: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ – УПИ, 2002. – Вып. 5. – С. 200–201.*
3. Мельник, А.А. *Термообработка мелкоштучных изделий из бетона / А.А. Мельник // Инженерная защита окружающей среды в транспортно-дорожном комплексе: сб. науч. тр. – М.: МАДИ (ГТУ), УФМАДИ (ГТУ), 2002. – С. 101–105.*
4. Коробков, С.В. *Способы тепловой обработки бетона при возведении монолитных домов в туннельной опалубке / С.В. Коробков, Э.К. Деев // Нетрадиционные технологии в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. семинара (Томск, 25–28 мая 1999 г.). – Томск, 1999. – С. 70–72.*
5. Гныря, А.И. *Теплообмен металлической опалубки бетонных конструкций с внешней средой / А.И. Гныря, А.В. Злодеев, П.Е. Иванов // Совершенствование строительного производства. – Томск: ТГУ, 1981. – С. 63–75.*
6. Коробков, С.В. *Тепло- и влагозащита бетона при возведении монолитных зданий в зимних условиях с применением туннельной опалубки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТГАСУ, 2001. – 26 с.*
7. Мельник, А.А. *Совершенствование технологии конвективного прогрева монолитных тонкостенных конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Мельник. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 22 с.*
8. Головнев, С.Г. *Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С.Г. Головнев. – Челябинск: ЮУрГУ, 1999. – 156 с.*
9. *Р–НП СРО ССК–02–2015. Рекомендации по производству бетонных работ в зимний период. – Челябинск: Союз строительных компаний Урала и Сибири, 2015. – 85 с.*
10. *Рекомендации по обеспечению трещиностойкости монолитных стен. – М.: ЦНИИЭП жилища, 1984. – 49 с.*
11. *Рекомендации по технологии производства бетонных работ при возведении монолитных сооружений в переставной опалубке в различных климатических условиях. – Тула: КТИ Минпромстроя СССР, 1979. – 92 с.*
12. Исаченко, В.П. *Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.*
13. *СП 70.13330-2012. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Госстрой, 2012. – 203 с.*

14. Мельник, А.А. Методы снижения затрат электроэнергии при термообработке монолитных стен / А.А. Мельник // Новый уральский строитель. – 2002. – № 9. – С. 24–25.

15. Melnik, A.A. Estimation of economic efficiency of convective heating methods / A.A. Melnik, E.S. Shulga // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – 451. – 012080.

Мельник Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), Melnikaa@susu.ru.

Поступила в редакцию 17 марта 2021 г.

DOI: 10.14529/build210304

CALCULATION OF THE PARAMETERS FOR HEAT TREATMENT OF CONCRETE WITH AIR CONVECTIVE HEATING OF THIN-WALLED MONOLITHIC STRUCTURES

A.A. Melnik, Melnikaa@susu.ru
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article discusses one of the simplest and most effective methods of heat treatment of concrete walls and floors erected in tunnel form – the convection heating method. The relevance of this issue lies in the need for high-quality heat treatment of concrete of thin-walled structures at a specified curing time and in the reduction in energy costs by increasing the efficiency of the use of thermal energy. The types of the convection heating method are classified according to the principle of bringing the heat flow to the heated structure: “traditional” chamber heating, “chamber heating with air ducts”, and “convection heating with pre-formwork curtains”. The method for calculating the parameters of concrete curing of thin-walled monolithic structures in winter conditions using convection heating and the basic principles of selecting heat generators are presented.

Keywords: winter concreting methods, convection heating, calculation of concrete strength, stripping strength.

References

1. Golovneva S.G. (Ed.) *Sovremennyye stroitel'nyye tekhnologii: monografiya* [Modern Building Technologies: Monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2010. 262 p.
2. Mel'nik A.A. [Field Studies of Concrete Hardening in the Wall with Chamber Heating in Winter]. *Stroitel'stvo i obrazovaniye: sb. nauch. tr.* [Construction and Education. Collection of Scientific Papers]. Ekaterinburg, GOU UGTU – UPI Publ., 2002, iss. 5, pp. 200–201. (in Russ.)
3. Mel'nik A.A. [Heat Treatment of Small-Piece Concrete Products]. *Inzhenernaya zashchita okruzhayushchey sredy v transportno-dorozhnom komplekse: sb. nauch. tr.* [Engineering Environmental Protection in the Transport and Road Complex. Collection of Scientific Papers]. Moscow, MADI (GTU), UFMADI (GTU) Publ., 2002, pp. 101–105. (in Russ.)
4. Korobkov S.V., Deyev E.K. [Methods of Heat Treatment of Concrete during the Construction of Monolithic Houses in Tunnel Formwork]. *Netraditsionnyye tekhnologii v stroitel'stve: materialy Mezhdunarodnogo nauch.-tekhn. Seminara* [Non-Traditional Technologies in Construction: Materials of the International Scientific and Technical Seminar]. Tomsk, 1999, pp. 70–72. (in Russ.)
5. Gnyrya A.I., Zlodoyev A.V., Ivanov P.E. [Heat Exchange of the Metal Formwork of Concrete Structures with the External Environment]. *Sovershenstvovaniye stroitel'nogo proizvodstva* [Improvement of Construction Production]. Tomsk, TGU Publ., 1981, pp. 63–75. (in Russ.)
6. Korobkov S.V. *Teplo- i vlagozashchita betona pri vozvedenii monolitnykh zdaniy v zimnikh usloviyakh s primeneniym tunnel'noy opalubki. Avtoref. kand. diss.* [The Heat- and Moisture Protection of Concrete in the Construction of Monolithic Buildings in Winter Conditions Using Tunnel Formwork. Abstract of cand. sci. diss.]. Tomsk, TGASU Publ., 2001. 26 p.

7. Mel'nik A.A. *Sovershenstvovaniye tekhnologii konvektivnogo progreva monolitnykh tonkostennykh konstruktсий. Avtoref. kand. diss.* [Improvement of the Technology of Convective Heating of Monolithic Thin-Walled Structures. Abstract of cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2002. 22 p.
8. Golovnev S.G. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Winter Concreting Technology. Optimization of Parameters and Choice of Methods]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 1999, 156 p.
9. *R–NP SRO SSK–02–2015 Rekomendatsii po proizvodstvu betonnykh rabot v zimniy period* [R–NP SRO SSK–02–2015 Recommendations for the Production of Concrete Works in Winter]. Chelyabinsk, Soyuz stroitel'nykh kompaniy Urala i Sibiri Publ., 2015. 85 p.
10. *Rekomendatsii po obespecheniyu treshchinostoykosti monolitnykh sten* [Recommendations for Ensuring Crack Resistance of Monolithic Walls]. Moscow, TsNIIEP zhilishcha Publ., 1984. 49 p.
11. *Rekomendatsii po tekhnologii proizvodstva betonnykh rabot pri vozvedenii monolitnykh sooruzheniy v perestavnoy opalubke v razlichnykh klimaticheskikh usloviyakh* [Recommendations for the Technology of Production of Concrete Works during the Construction of Monolithic Structures in Movable Formwork in Various Climatic Conditions]. Tula, KTI Minpromstroya SSSR Publ., 1979. 92 p.
12. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha* [Heat Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1975, 488 p.
13. *SP 70.13330-2012. Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruktсии* [Set of Rules 70.13330-2012 Bearing and Enclosing Structures]. Moscow, Gosstroy Publ., 2012. 203 p.
14. Mel'nik A.A. [Methods for Reducing Energy Costs during Heat Treatment of Monolithic Walls]. *Novyy ural'skiy stroitel'* [New Ural Builder], 2002, no. 9, pp. 24–25. (in Russ.)
15. Melnik A.A., Shulga E.S. [Estimation of Economic Efficiency of Convective Heating Methods]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 45, pp. 1012080. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012080

Received 17 March 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Мельник А.А. Расчет параметров термообработки бетона при воздушном конвективном прогреве тонкостенных монолитных конструкций / А.А. Мельник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 29–35. DOI: 10.14529/build210304

FOR CITATION

Melnik A.A. Calculation of the Parameters for Heat Treatment of Concrete with Air Convective Heating of Thin-Walled Monolithic Structures. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 3, pp. 29–35. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210304
