

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 693.547

Е.Б. ТОЛОЧНАЯ

### ОБОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ПРОЧНОСТНОГО ПОЛЕЙ В БЕТОНЕ ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Научно обоснованы и практически реализованы управляемые температурные режимы разогрева, прогрева в оптимальном температурном диапазоне и остывания бетона. Рассмотрены три альтернативных метода прогрева бетона монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия и бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны. Разработаны укрупненная блок-схема численной реализации математической модели и вспомогательная блок-схема численной реализации управляемых температурных режимов.

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия, зимнее бетонирование стыков конструктивных элементов сборных колонн, управляемые температурные режимы, электродный прогрев, прогрев электрическими нагревательными проводами.

**Физическая постановка задачи.** К особенностям зимнего бетонирования монолитной части сборно-монолитных каркасов зданий, существенно затрудняющих производство работ, относятся сравнительно большое (более  $50 \text{ кг/м}^3$ ) содержание арматуры в стыках конструктивных элементов сборных колонн и весьма стесненные условия бетонирования этих стыков. По указанным причинам при выборе метода зимнего бетонирования в этом случае необходимо не только аргументированно обосновать способ прогрева монолитного бетона сборно-монолитных каркасов зданий с подбором всех технологических операций в хронологической последовательности их выполнения, но и подобрать современные химические добавки в бетонную смесь. Используют пластифицирующие или даже суперпластифицирующие добавки, увеличивающие подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси, а также добавки, обеспечивающие высокую коррозионную стойкость арматуры; водоредуцирующие добавки, позволяющие получить бетонную смесь с требуемой удобоукладываемостью при пониженном расходе воды, что, в свою очередь, существенно сокращает время набора бетоном критической прочности и др.

Необходимо также проанализировать и рассмотреть возможность адаптации к рассматриваемым стыкам сборно-монолитных каркасов зданий ранее разработанных в [1, 2 и др.] технологий зимнего бетонирования

ния стыков сборных строительных конструкций. При этом расчетная схема поставленной задачи должна включать целый расчетный фрагмент сборно-монокристаллического каркаса зданий: сборные ригели, сборную и монолитную части сборно-монокристаллической плиты перекрытия, стыкуемые конструктивные элементы сборной колонны и собственно тело стыка (рис. 1).

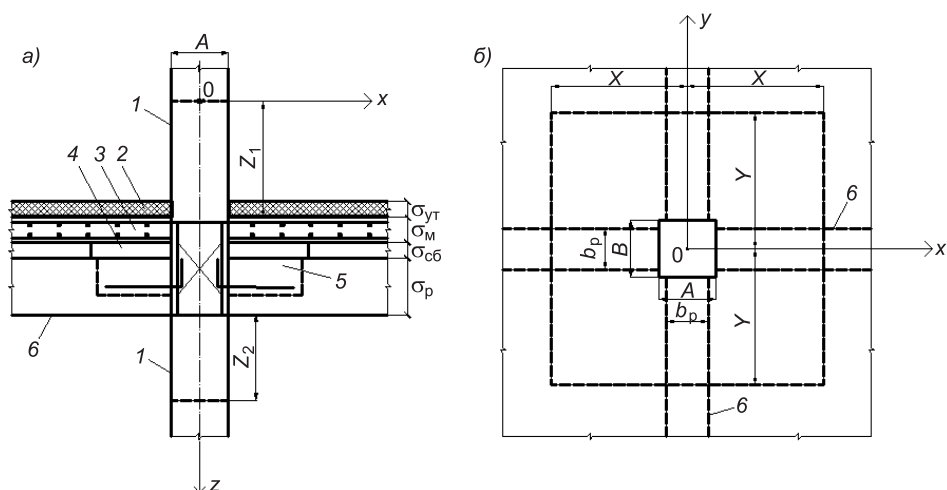


Рис. 1. Расчетная схема стыка конструктивных элементов сборно-монокристаллических каркасов зданий

*a* — вертикальный разрез; *б* — вид сверху: 1 — сборные колонны; 2 — утеплитель на монолитной части плиты перекрытия; 3 и 4 — сборные плиты перекрытия; 5 — пазы сборных ригелей 6

Предварительно (до подтверждения целесообразности практической реализации) рассмотрим следующие варианты прогрева монолитного бетона сборно-монокристаллической плиты перекрытия и бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны.

**В а р и а н т 1.** Метод «термоса» предполагает укрытие брезентом ранее возведенного и нижерасположенного этажа здания с обогревом нижней поверхности сборной части сборно-монокристаллической плиты перекрытия, сборных ригелей и вертикальных граней нижнего конструктивного элемента сборной колонны калориферами в сочетании:

- с синхронным прогревом монолитной части сборно-монокристаллической плиты перекрытия сверху электрическими нагревательными проводами (ЭНП) или с электродным прогревом (ЭП) полосовыми электродами на инвентарных накладных щитах;

- предварительным (до начала укладки бетонной смеси в полость стыка элементов сборной колонны) прогревом верхнего стыкуемого элемента сборной колонны с помощью гибкого термоактивного покрытия (например, гибкого термоэлектромата ООО «Строительные технологии будущего (СТБ)») и последующим прогревом бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны с помощью ЭНП.

Укрытие брезентом нижерасположенного этажа здания (что и принято называть методом «термоса») обеспечивает, во-первых, уменьшение в два раза конвективной составляющей тепловых потерь сборным и монолитным бетоном стыка, во-вторых, полностью исключает тепловые потери излучением. Поэтому вместо регламентируемых действующими нормативными документами величин конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи в окружающий воздух  $\alpha_{\text{конв}} = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  и коэффициента теплоотдачи излучением  $\alpha_{\text{изл}} = 2,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  примем соответственно  $\alpha_{\text{конв}} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  и  $\alpha_{\text{изл}} = 0$ . Расчетная темпера-

тура воздуха («термосная» температура) на нижерасположенном этаже здания  $\theta_{\tau}$  должна составлять  $\theta_{\tau} = 20...25$  °С, а на вышерасположенном этаже здания принимается равной среднесуточной температуре воздуха на рассматриваемый момент времени.

В случае использования полосовых электродов в соответствии с [3] интенсивность теплового потока от электродов в бетон монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия рассчитывается по формуле

$$P^* = \frac{0,785U^2}{\rho(\tau) \cdot b \cdot \ln\left(2,54 \cdot \frac{b}{a}\right)} \quad [\text{Вт}/\text{м}^2], \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение тока от понижающего трансформатора, В;  
 $\rho(\tau)$  — изменяющееся во времени удельное электрическое сопротивление бетона (в данном случае на Чернореченском (Новосибирская область) портландцементе), Ом·м;

$a = 0,02...0,05$  м — ширина полосовых электродов из листовой стали толщиной до 4 мм;

$b = 0,1...0,4$  м — расстояние между осями смежных полос полосовых электродов.

По данным экспериментальных исследований С.Н. Андриевского, удельное электрическое сопротивление бетона описывается уравнениями регрессии вида

$$\left. \begin{array}{l} \text{для обычного бетона} \\ \text{для бетона с противоморозной добавкой нитрита натрия в расчете на } -5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \rho(\tau) = A_1 \cdot \tau^3 + B_1 \cdot \tau^2 + C_1 \cdot \tau + D_1 \text{ при } \tau \leq 4,6 \text{ ч,} \\ \rho(\tau) = A_2 \cdot \tau^3 + B_2 \cdot \tau^2 + C_2 \cdot \tau + D_2 \text{ при } \tau > 4,6 \text{ ч;} \\ \rho(\tau) = A_3 \cdot \tau^3 + B_3 \cdot \tau^2 + C_3 \cdot \tau + D_3 \text{ при } \tau \leq 5,7 \text{ ч,} \\ \rho(\tau) = A_4 \cdot \tau^3 + B_4 \cdot \tau^2 + C_4 \cdot \tau + D_4 \text{ при } \tau > 5,7 \text{ ч,} \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{где} \\ A_1 = -0,1081; B_1 = 1,051; C_1 = -2,5088; D_1 = 7,0835, \\ A_2 = 0,000013; B_2 = -0,0037; C_2 = 0,5811; D_2 = 4,5057, \\ A_3 = -0,0047; B_3 = 0,0797; C_3 = -0,207; D_3 = 1,0955, \\ A_4 = 0,000001; B_4 = -0,0014; C_4 = 0,3319; D_4 = -2,2292. \end{array} \right\} \quad (3)$$

**В а р и а н т 2.** Метод «термоса», но с заменой caloriferов на ранее возведенном этаже здания на гибкие термоэлектроматы СТБ, прижатые к нижней поверхности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, а также к горизонтальным граням сборных ригелей и к вертикальным граням нижнего и верхнего конструктивных элементов сборной колонны с целью предварительного (до начала укладки бетонной смеси в монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия и в полость стыка элементов сборной колонны) обогрева бетона указанных сборных конструкций.

Прогрев бетона монолитной части сборно-монолитной плиты перекрытия сверху, а также бетона заделки стыка элементов сборной колонны может быть реализован на практике оперативно и достаточно просто:

а) прогрев бетона монолитной части сборно-монолитной плиты перекрытия сверху: — с помощью ЭНП, уложенных и закрепленных на арматурном каркасе, или с помощью полосовых электродов на инвентарных накладных щитах, а также (альтернативный вариант) с помощью термоэлектроматов СТБ, закрепленных на инвентарных накладных щитах, пригруженных сверху с массой пригрузки 50...60 Н;

б) прогрев бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны с помощью ЭНП, уложенных и закрепленных на арматурных стержнях арматуры стыка.

В соответствии с [4] интенсивность линейного источника тепла от ЭНП следует принимать равной  $q_l = 30...35$  Вт/м, а длину одного нагревателя  $l$  в соответствии с допустимой величиной падения напряжения тока — рассчитывать по формуле

$$l = \sqrt{\frac{U^2}{q_l \cdot R_t}}, \quad (4)$$

где  $U$  — напряжение электрического тока, В;

$R_t$  — электрическое сопротивление стальной токонесущей жилы, Ом.

Рассмотрим координатную привязку расчетного фрагмента, представленного на рис. 1, при следующей очередности прямых ( $\rightarrow$ ) и обратных ( $\leftarrow$ ) прогонок по координатным осям:  $i(\Delta Z) \rightleftarrows j(\Delta x) \rightleftarrows k(\Delta y)$ .

**Ось Z.** Верхний конструктивный элемент сборной колонны:  $i \in M_1$ , где  $M_1 = \text{ROUND} (Z_1 / \Delta Z)$ . Монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия:  $i \in (M_1, M_2)$ , где  $M_2 = \text{ROUND} [(Z_1 + \delta_m) / \Delta Z]$ .

Сборные элементы плиты перекрытия:  $i \in (M_2, M_3)$ , где  $M_3 = \text{ROUND} [(Z_1 + s1) / \Delta Z] \wedge s1 = \delta_m + \delta_{сб}$ .

Сборные ригели плиты перекрытия:  $i \in (M_3, M_4)$ , где  $M_4 = \text{ROUND} [(Z_1 + s2) / \Delta Z] \wedge s2 = \delta_m + \delta_{сб} + \delta_p$ .

Стык конструктивных элементов сборной колонны:  $i \in (M_1, M_4)$ .

Нижний конструктивный элемент сборной колонны:  $i \in (M_4, M_5)$ , где  $M_5 = \text{ROUND} [(Z_1 + s2 + Z_2) / \Delta Z]$ .

**Ось X.** Верхний конструктивный элемент сборной колонны [ $i \in M_1$ ]:  $j \in N_1$ , где  $N_1 = \text{ROUND} [(A/2) / \Delta x]$ .

Монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия [ $i \in (M_1, M_2)$ ]:  $\{j \in (N_1, N_2) \wedge k \in U_2\} \vee \{j \in N_2 \wedge k \in (U_1, U_2)\}$ .

Сборные элементы плиты перекрытия [ $i \in (M_2, M_3)$ ]:  $\{j \in (N_1, N_2) \wedge k \in U_2\} \vee \{j \in N_2 \wedge k \in (U_1, U_2)\}$ .

Сборные ригели плиты перекрытия [ $i \in (M_3, M_4)$ ]:  $\{j \in (N_1, N_2) \wedge k \in U_3\} \vee \{j \in N_3 \wedge k \in (U_1, U_2)\}$ , где  $N_3 = \text{ROUND} [(b_p/2) / \Delta x] \wedge U_3 = \text{ROUND} [(b_p/2) / \Delta y]$ .

Нижний конструктивный элемент сборной колонны [ $i \in (M_4, M_5)$ ]:  $j \in N_1$ .

**Ось Y.** Верхний конструктивный элемент сборной колонны [ $i \in M_1$ ]:  $k \in U_1$ , где  $U_1 = \text{ROUND} [(B/2) / \Delta y]$ .

Монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия [ $i \in (M_1, M_2)$ ]:  $\{k \in (U_1, U_2) \wedge j \in N_2\} \vee \{k \in U_2 \wedge j \in (N_1, N_2)\}$ .

Сборные элементы плиты перекрытия [ $i \in (M_2, M_3)$ ]:  $\{k \in (U_1, U_2) \wedge j \in N_2\} \vee \{k \in U_2 \wedge j \in (N_1, N_2)\}$ .

Сборные ригели плиты перекрытия [ $i \in (M_3, M_4)$ ]:  $\{k \in U_3 \wedge j \in (N_1, N_2)\} \vee \{k \in (U_1, U_2) \wedge j \in N_3\}$ .

Нижний конструктивный элемент сборной колонны [ $i \in (M_4, M_5)$ ]:  $k \in U_1$ .

Все перечисленные задачи можно решить только нетрадиционным методом, основанным на синтезировании таких областей знаний, как технология строительных процессов, строительная теплофизика и математическое моделирование сложных физических, природных и организационно-технологических процессов.

С учетом физической постановки задачи и координатной привязки математической модели динамики температурного и прочностного полей в бетоне сборных конструктивных элементов сборно-монолитных каркасов зданий в бетоне монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия и в бетоне замоноличивания стыка конструктивных элементов сборной колонны математическая модель имеет следующий вид.

**ВЕРХНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ  
СБОРНОЙ КОЛОННЫ**

$$\left. \begin{aligned}
 1. \frac{\partial t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_2^{\text{пол}}}{c_2^{\text{пол}}} \cdot \left[ \frac{\partial^2 t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
 &\left. + \frac{\partial^2 t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], \quad z \in Z_1, x \in A/2, y \in B/2, \tau \in T. \\
 2. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[(z = 0 \vee z = \Delta z), x, y, \tau]}{\partial z} &= 0, \quad x \in A/2, y \in B/2, \tau \in T. \\
 3. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x = A/2, y \in B/2, \tau]}{\partial x} &= \\
 &= \alpha \cdot \{t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x = A/2, y \in B/2, \tau] - \theta\}. \\
 4. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A/2, y = B/2, \tau]}{\partial y} &= \\
 &= \alpha \cdot \{t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A/2, y = B/2, \tau] - \theta\}. \\
 5. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x = 0, y \in B/2, \tau]}{\partial x} &= 0. \\
 6. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A/2, y = 0, \tau]}{\partial y} &= 0. \\
 7. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z = Z_1, x \in A/2, y \in B/2, \tau]}{\partial z} + \\
 &+ \lambda_1^{\text{ст}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ст}}[z = Z_1, x \in A/2, y \in B/2, \tau]}{\partial z} = 0. \\
 8. t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A/2, y \in B/2, \tau = 0] &= \theta.
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

**СБОРНО-МОНОЛИТНАЯ ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ**  
*Монолитная часть плиты перекрытия*

$$\left. \begin{aligned}
 9. \frac{\partial t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_1^{\text{пл}}}{c_1^{\text{пл}}} \cdot \left[ \frac{\partial^2 t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
 &\left. + \frac{\partial^2 t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right] + \frac{W_{\text{экз}}^{\text{пл}}}{c_1^{\text{пл}}} + \frac{W_{\text{иск}}^{\text{пл}}}{c_1^{\text{пл}}}, \quad z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \\
 &\{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \quad \tau \in T. \\
 10. -\lambda_1^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{пл}}[z = Z_1, x, y, \tau]}{\partial z} &= K_{\text{пр}} \cdot [t_1^{\text{пл}}(z = Z_1, x, y, \tau) - (\theta_{\tau} \vee \theta)], \\
 &\{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \quad \tau \in T.
 \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& 11. \frac{\partial t_1^{nn} \{ [z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m)], x \geq X, y, \tau \}}{\partial x} = 0, \\
& \quad \{y \in [(B/2), Y] \vee y \in Y\}, \tau \in T. \\
& 12. \frac{\partial t_1^{nn} \{ [z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y \geq Y, \tau \}}{\partial y} = 0, \\
& \quad \{x \in [(A/2), X] \vee x \in X\}, \tau \in T. \\
& 13. -\lambda_2^{nn} \cdot \frac{\partial t_2^{nn}(z = Z_1 + \delta_m, x, y, \tau)}{\partial z} + \lambda_1^{nn} \cdot \frac{\partial t_1^{nn}(z = Z_1 + \delta_m, x, y, \tau)}{\partial z} = 0, \\
& \quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
& 14. t_1^{nn}(z, x, y, \tau = 0) = t_{oc}^{nn}, z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \\
& \quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}. \\
& 15. R(z, x, y, \tau = 0) = 0, z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \\
& \quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}. \\
& 16. R^{\tau + \Delta\tau}(z, x, y) = R^\tau(z, x, y) + \Delta R^{(\tau, \tau + \Delta\tau)}(z, x, y), \\
& \quad z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \\
& \quad \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}. \\
& 17. \begin{cases} N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{ив}), \\ N = 0, \tau \in [(T_p + T_{ив}), (T_p + T_{ив} + T_{ост})]. \end{cases} \\
& \begin{cases} \left\{ \begin{aligned} & N = M^{nn}, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max}, \\ & N = \Delta M^{nn}, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max}; \end{aligned} \right. \\ 18. \begin{cases} N = M^{nn}, \tau \in (T_p, T_p + T_{yp}) \wedge p = 2 \cdot k, k = 1, 2, \dots, s, \\ N = 0, \tau \in (T_p, T_p + T_{yp}) \wedge p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, s; \\ \left\{ \begin{aligned} & N = 0, \tau \in [(T_p + T_{yp}), (T_p + T_{yp} + T_{ост})] \wedge abs\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{\max}, \\ & N = \Delta M_2, \tau \in [(T_p + T_{yp}), (T_p + T_{yp} + T_{ост})] \wedge abs\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{\max}. \end{aligned} \right. \end{cases} \end{cases} \quad (5)
\end{aligned}$$

*Сборная часть сборно-монолитной плиты перекрытия*

$$\begin{aligned}
& 19. \frac{\partial t_2^{nn}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^{nn}}{c_2^{nn}} \cdot \left[ \frac{\partial^2 t_2^{nn}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{nn}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
& \quad \left. + \frac{\partial^2 t_2^{nn}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], z \in [(Z_1 + \delta_m), Z_1 + s1], \\
& \quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
& 20. \frac{\partial t_2^{nn}(z, x = 0, y, \tau)}{\partial x} = 0, y \in Y. \\
& 21. \frac{\partial t_2^{nn}(z, x, y = 0, \tau)}{\partial y} = 0, x \in X.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
22. & \frac{\partial t_2^{\text{nn}}(z, \mathbf{x} \geq \mathbf{X}, y, \tau)}{\partial x} = 0, \{y \in [(B/2), Y] \vee y \in Y\}, \tau \in T. \\
23. & \frac{\partial t_2^{\text{nn}}(z, x, \mathbf{y} \geq \mathbf{Y}, \tau)}{\partial y} = 0, \{x \in [(A/2), X] \vee x \in X\}, \tau \in T. \\
24. & -\lambda_2^{\text{nn}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{nn}}\{z = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}, [x \in (A/2), X] \wedge y \in b_p/2 \vee [x \in b_p/2 \wedge y \in (B/2), Y], \tau\}}{\partial z} + \\
& + \lambda_2^{\text{p}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{p}}\{z = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}, [x \in (A/2), X] \wedge y \in b_p/2 \vee [x \in b_p/2 \wedge y \in (B/2), Y], \tau\}}{\partial z} = 0. \\
25. & -\lambda_2^{\text{nn}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{nn}}[z = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}, x, y, \tau]}{\partial z} = \alpha \cdot [t_2^{\text{nn}}(z = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}, x, y, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)], \\
& \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in [(b_p/2), X] \wedge y \in Y\}, \tau \in T. \\
26. & t_2^{\text{nn}}(z, x, y, \boldsymbol{\tau} = \mathbf{0}) = (\theta_\tau \vee \theta).
\end{aligned}$$

СБОРНЫЕ РИГЕЛИ

$$\begin{aligned}
27. & \frac{\partial t_2^{\text{p}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^{\text{p}}}{c_2^{\text{p}}} \left[ \frac{\partial^2 t_2^{\text{p}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{p}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
& \left. + \frac{\partial^2 t_2^{\text{p}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_2 + \mathbf{s2})], \\
& \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \{x \in b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
28. & -\lambda_2^{\text{p}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{p}}\{z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], x, y, \tau\}}{\partial x} = \\
& = \alpha \cdot [t_2^{\text{p}}\{z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], x, y, \tau\} - (\theta_\tau \vee \theta)], \\
& \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \{x = b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
29. & -\lambda_2^{\text{p}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{p}}\{z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], x, y, \tau\}}{\partial y} = \\
& = \alpha \cdot [t_2^{\text{p}}\{z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], x, y, \tau\} - (\theta_\tau \vee \theta)], \\
& \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \{x = b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
30. & \frac{\partial t_2^{\text{p}}\{z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], \mathbf{x} = \mathbf{0}, y, \tau\}}{\partial x} = 0, \\
& y \in [(B/2), Y], \tau \in T. \\
31. & \frac{\partial t_2^{\text{p}}\{z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], x, \mathbf{y} = \mathbf{0}, \tau\}}{\partial y} = 0, \\
& x \in [(A/2), X], \tau \in T. \\
32. & -\lambda_2^{\text{p}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{p}}\{z = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2}, x, y, \tau\}}{\partial z} = \\
& = \alpha \cdot [t_2^{\text{p}}(z = \mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2}, x, y, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)], \\
& \{x \in b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\} \vee \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\}, \tau \in T. \\
33. & t_2^{\text{p}}(z, x, y, \boldsymbol{\tau} = \mathbf{0}) = (\theta_\tau \vee \theta), \\
& z \in [(\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s1}), (\mathbf{Z}_1 + \mathbf{s2})], \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \\
& \vee \{x \in b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T.
\end{aligned}$$

СТЫК КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
СБОРНОЙ КОЛОННЫ

$$34. \frac{\partial t_1^{\text{CT}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1^{\text{CT}}}{c_1^{\text{CT}}} \cdot \left[ \frac{\partial^2 t_1^{\text{CT}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_1^{\text{CT}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_1^{\text{CT}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right] + \frac{W_{\text{ЭКЗ}}^{\text{CT}}}{c_1^{\text{CT}}} + \frac{W_{\text{ИСК}}^{\text{CT}}}{c_1^{\text{CT}}}, z \in [Z_1, (Z_1 + s2)],$$

$$x \in A/2, y \in B/2, \tau \in T.$$

$$35. -\lambda_1^{\text{ПЛ}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ПЛ}}\{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y, \tau\}}{\partial x} +$$

$$+\lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y, \tau\}}{\partial x} = 0,$$

$$x = A/2, y \in B/2, \tau \in T.$$

$$36. -\lambda_1^{\text{ПЛ}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ПЛ}}\{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y, \tau\}}{\partial y} +$$

$$+\lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y, \tau\}}{\partial y} = 0,$$

$$x \in A/2, y = B/2, \tau \in T.$$

$$37. -\lambda_2^{\text{ПЛ}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{ПЛ}}\{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y, \tau\}}{\partial x} +$$

$$+\lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z \in [(Z_1 + \delta_m), (Z_1 + s1)], x, y, \tau\}}{\partial x} = 0,$$

$$x = A/2, y \in B/2, \tau \in T.$$

$$38. -\lambda_2^{\text{ПЛ}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{ПЛ}}\{z \in [(Z_1 + \delta_m)(Z_1 + s1)], x, y, \tau\}}{\partial y} +$$

$$+\lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z \in [(Z_1 + \delta_m), (Z_1 + s1)], x, y, \tau\}}{\partial y} = 0,$$

$$x \in A/2, y = B/2, \tau \in T.$$

$$39. -\lambda_2^{\text{КОП}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{КОП}}\{z = Z_1 + s2, x, y, \tau\}}{\partial z} + \lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z = Z_1 + s2, x, y, \tau\}}{\partial z} = 0,$$

$$x \in A/2, y \in B/2, \tau \in T.$$

$$40. -\lambda_2^{\text{П}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{П}}\{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)], x, y, \tau\}}{\partial x} +$$

$$+\lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)], x, y, \tau\}}{\partial x} = 0,$$

$$\{x = A/2 \wedge y \in b_p/2\}, \tau \in T.$$

$$41. -\lambda_2^{\text{П}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{П}}\{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)], x, y, \tau\}}{\partial y} +$$

$$+\lambda_1^{\text{CT}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{CT}}\{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)], x, y, \tau\}}{\partial y} = 0,$$

$$\{x \in b_p/2 \wedge y = B/2\}, \tau \in T.$$

(5)



$$\begin{aligned}
42. & \frac{\partial t_1^{\text{CT}} \{z \in (Z_1, Z_1 + s2), \mathbf{x} = \mathbf{0}, y, \tau\}}{\partial x} = 0, y \in B/2, \tau \in T. \\
43. & \frac{\partial t_1^{\text{CT}} \{z \in (Z_1, Z_1 + s2), x, \mathbf{y} = \mathbf{0}, \tau\}}{\partial y} = 0, x \in A/2, \tau \in T. \\
44. & t_1^{\text{CT}}(z, x, y, \boldsymbol{\tau} = \mathbf{0}) = t_{\text{oc}}^{\text{CT}}, z \in (Z_1, Z_1 + s2), x \in A/2, y \in B/2. \\
45. & R(z, x, y, \boldsymbol{\tau} = \mathbf{0}) = 0, z \in (Z_1, Z_1 + s2), x \in A/2, y \in B/2. \\
46. & R^{\tau + \Delta\tau}(z, x, y) = R^\tau(z, x, y) + \Delta R^{(\tau, \tau + \Delta\tau)}(z, x, y), \\
& z \in (Z_1, Z_1 + s2), x \in A/2, y \in B/2. \\
47. & \begin{cases} N = M^{\text{CT}}, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ИБ}}), \\ N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{ИБ}}), (T_p + T_{\text{ИБ}} + T_{\text{OCT}})]. \end{cases} \\
48. & \begin{cases} \left\{ \begin{aligned} & N = \Delta M_1^{\text{CT}}, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}, \\ & N = \Delta M, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}, \end{aligned} \right. \\ & \left\{ \begin{aligned} & N = M_{\text{CT}}, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{yp}}) \wedge p = 2 \cdot k, k = 1, 2, \dots, s, \\ & N = 0, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{yp}}) \wedge p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, s, \end{aligned} \right. \\ & \left\{ \begin{aligned} & N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{yp}}), (T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{OCT}})] \wedge \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}, \\ & N = \Delta M_2^{\text{CT}}, \tau \in [(T_p + T_{\text{yp}}), (T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{OCT}})] \wedge \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}}. \end{aligned} \right. \end{cases} \quad (5)
\end{aligned}$$

НИЖНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ  
СБОРНОЙ КОЛОННЫ

$$49. \frac{\partial t_2^{\text{КОЛ}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^{\text{КОЛ}}}{c_2^{\text{КОЛ}}} \cdot \left[ \frac{\partial^2 t_2^{\text{КОЛ}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{КОЛ}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{КОЛ}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], z \in [(Z_1 + s2), (Z_1 + s2 + Z_2)],$$

$$x \in A/2, y \in B/2, \tau \in T.$$

$$\begin{aligned}
50. & -\lambda_2^{\text{КОЛ}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{КОЛ}}(z, \mathbf{x} = \mathbf{A}/2, y, \tau)}{\partial x} = \\
& = \alpha \cdot [t_2^{\text{КОЛ}}(z, \mathbf{x} = \mathbf{A}/2, y, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)], \\
& y \in B/2, \tau \in T.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
51. & -\lambda_2^{\text{КОЛ}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{КОЛ}}(z, x, \mathbf{y} = \mathbf{B}/2, \tau)}{\partial y} = \\
& = \alpha \cdot [t_2^{\text{КОЛ}}(z, x, \mathbf{y} = \mathbf{B}/2, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)], x \in A/2, \tau \in T.
\end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 &52. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}(z, \mathbf{x} = \mathbf{0}, y, \tau)}{\partial x} = 0, \\
 &z \in [(Z_1 + s_2), (Z_1 + s_2 + Z_2)], y \in B/2, \tau \in T. \\
 &53. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}(z, x, \mathbf{y} = \mathbf{0}, \tau)}{\partial y} = 0, \\
 &z \in [(Z_1 + s_2), (Z_1 + s_2 + Z_2)], x \in A/2, \tau \in T. \\
 &54. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \geq (Z_1 + s_2 + Z_2), x, y, \tau]}{\partial z} = 0, \\
 &x \in A/2, y \in B/2, \tau \in T. \\
 &55. t_2^{\text{кол}}\{z \in [(Z_1 + s_2), (Z_1 + s_2 + Z_2)], x, y, \tau = \mathbf{0}\} = (\theta_\tau \vee \theta), \\
 &x \in A/2, y \in B/2.
 \end{aligned} \right\} (5)$$

### ВЕРХНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

(5.1) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона верхнего конструктивного элемента сборной колонны при  $W_{\text{экз}}(\tau) = 0 \wedge W_{\text{иск}}(\tau) = 0$ ; (5.2) — ГУ I рода сверху (на границе зоны теплового влияния по координатной оси  $Z$  прогреваемого бетона заделки стыка верхнего и нижнего конструктивных элементов сборной колонны); (5.3) и (5.4) — ГУ III рода на неутепленных вертикальных гранях верхнего конструктивного элемента сборной колонны, нормальных к координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ ; (5.5) и (5.6) — условия геометрической симметрии температурного поля свежееуложенного бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны соответственно по координатным осям  $x$  и  $y$ ; (5.7) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения верхнего конструктивного элемента сборной колонны с бетоном замоноличивания стыка верхнего и нижнего конструктивных элементов сборной колонны); (5.8) — начальное условие для верхнего конструктивного элемента сборной колонны, где  $\theta(\tau)$  — температура наружного воздуха на момент производства работ.

### СБОРНО-МОНОЛИТНАЯ ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ

#### *Монолитная часть плиты перекрытия*

(5.9) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности свежееуложенного бетона монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия с двумя объемно-распределительными источниками тепла; (5.10) — ГУ III рода на утепленной поверхности монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.11) и (5.12) — ГУ I рода на границах зон теплового влияния прогреваемого бетона заделки стыка элементов сборной колонны на бетон монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.13) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения по оси  $Z$  монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия с бетоном сборной части этой плиты); (5.14) и (5.15) — начальные условия соответственно по температуре и прочности свежее-

уложенного бетона монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.16) — математическая формализация процесса нарастания прочности бетона монолитного слоя во всех узлах объемной координатной сетки; (5.17) — алгоритмический диспетчер, «управляющий» традиционным температурным режимом тепловой обработки бетона с его изотермическим выдерживанием; (5.18) — алгоритмические диспетчеры управляемых температурных режимов разогрева, прогрева в оптимальном температурном диапазоне (с обеспечением энергосбережения (до 30 %) за счет полезного использования тепловой инерции бетона и контроля нормативных температурных ограничений), а также остывания бетона.

#### *Конструктивные элементы сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия*

(5.19) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.20) и (5.21) — ГУ I рода на границах зоны теплового влияния прогреваемого бетона заделки стыка элементов сборной колонны на бетон сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия по координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ ; (5.22) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения по оси  $Z$  сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия со сборными ригелями); (5.23) — ГУ III рода на нижней неутепленной поверхности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, не сопрягаемой со сборными ригелями по оси  $Z$ ; (5.24) — начальное условие для бетона сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, где  $\theta_t = 20...25$  °C — температура воздуха на нижерасположенном этаже здания при реализации метода «термоса» с обогревом возведенных конструкций калориферами;  $\theta$  — температура наружного воздуха (°C) на момент производства работ с реализацией второго варианта, указанного в физической постановке задачи.

#### СБОРНЫЕ РИГЕЛИ

(5.25) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона сборных ригелей; (5.26) и (5.27) — ГУ III рода на неутепленных вертикальных гранях сборных ригелей, нормальных к координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ ; (5.28) и (5.29) — условия симметрии температурного поля в бетоне сборных ригелей соответственно при  $x = 0$  и  $y = 0$ ; (5.30) — ГУ III рода на неутепленной нижней горизонтальной грани сборных ригелей; (5.31) — начальное условие для бетона сборных ригелей.

#### СТЫК КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

(5.32) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности свежееуложенного бетона заделки стыка с двумя объемно-распределенными источниками тепла; (5.33) и (5.34) — ГУ IV рода (условия теплового сопряжения бетона заделки стыка с бетоном монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия по координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ ); (5.35) и (5.36) — ГУ IV рода (условия теплового сопряжения бетона заделки стыка с бетоном сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия по координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ );

(5.37) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения по оси  $Z$  бетона заделки стыка с бетоном нижнего конструктивного элемента сборной колонны); (5.38) и (5.39) — ГУ IV рода (условия теплового сопряжения бетона заделки стыка с бетоном сборных ригелей по координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ ); (5.40) и (5.41) — условия симметрии температурного поля в бетоне заделки стыка элементов сборной колонны на геометрической оси стыка соответственно при  $x = 0$  и  $y = 0$ ; (5.42) и (5.43) — начальные условия соответственно по температуре и прочности свежеуложенного бетона заделки стыка; (5.44) — математическая формализация процесса нарастания прочности бетона заделки стыка во всех узлах объемной координатной сетки; (5.45) — алгоритмический диспетчер, «управляющий» традиционным температурным режимом тепловой обработки бетона с его изотермическим выдерживанием; (5.46) — алгоритмические диспетчеры управляемых температурных режимов разогрева, прогрева в оптимальном температурном диапазоне и остывания бетона с автоматическим контролем выполнения нормативных температурных ограничений.

### НИЖНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

(5.47) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона нижнего конструктивного элемента сборной колонны; (5.48) и (5.49) — ГУ III рода на неутепленных вертикальных гранях нижнего элемента сборной колонны, нормальным к координатным осям соответственно  $x$  и  $y$ ; (5.50) и (5.51) — условия симметрии температурного поля на геометрической оси нижнего конструктивного элемента сборной колонны соответственно при  $x = 0$  и  $y = 0$ ; (5.52) — ГУ I рода на нижней границе зоны теплового влияния по оси  $Z$  прогреваемого бетона заделки стыка на бетон нижнего конструктивного элемента сборной колонны; (5.53) — начальное условие для бетона нижнего элемента сборной колонны.

В математической модели (5) индекс «1» — свежеуложенный бетон монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия ( $\lambda_1^{пл}$ ,  $C_1^{пл}$  и  $\rho_1^{пл}$  при  $W_{экз} \neq 0$  и  $W_{иск} \neq 0$ ) и бетона заделки стыка элементов сборной колонны ( $\lambda_1^{ст}$ ,  $C_1^{ст}$  и  $\rho_1^{ст}$  при  $W_{экз} \neq 0$  и  $W_{иск} \neq 0$ ); «2» — бетон конструктивных элементов сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия ( $\lambda_2^{пл}$ ,  $C_2^{пл}$  и  $\rho_2^{пл}$  при  $W_{экз} = 0$  и  $W_{иск} = 0$ ), сборных ригелей ( $\lambda_2^p$ ,  $C_2^p$  и  $\rho_2^p$  при  $W_{экз} = 0$  и  $W_{иск} = 0$ ) и конструктивных элементов сборной колонны ( $\lambda_2^{кол}$ ,  $C_2^{кол}$  и  $\rho_2^{кол}$  при  $W_{экз} = 0$  и  $W_{иск} = 0$ ) сборно-монолитного каркаса.

При фиксировании координатной привязки всех элементов математической модели (5) полужирным шрифтом обозначены ключевые элементы этой привязки.

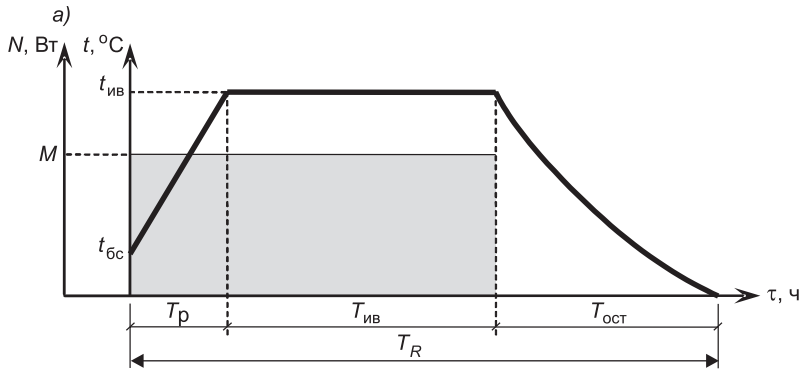
В соответствии с ГОСТ 19.701–90 (НСО 5807–85) численная реализация математической модели (5) должна включать выполнение следующих операций:

1) обоснование абсолютно устойчивой и абсолютно сходимой неявной разностной схемы численной аппроксимации трехмерных дифференциальных уравнений теплопроводности бетона — в данном случае в декартовой системе координат неявной разностной схемы дробных шагов Н.Н. Яненко;

2) разработку укрупненной блок-схемы численной реализации математической модели (5), а также вспомогательных блок-схем (блок-схемы численной реализации алгоритмических диспетчеров, «управляющих» разогревом, прогревом и остыванием бетона с автоматическим контролем выполнения нормативных температурных ограничений, блок-схемы компьютерной интерполяции высокодостоверных экспериментальных данных ЦНИИОМТП [3]);

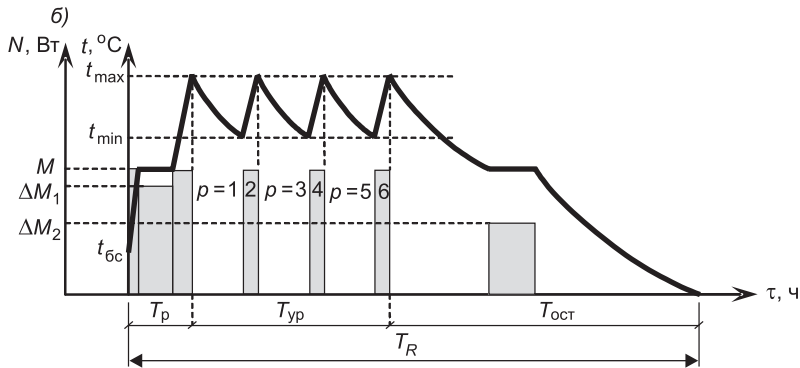
3) разработку и отладку программного продукта на алгоритмическом языке высокого уровня с решением тестовой задачи для конкретного строительного объекта в г. Новосибирске и др.

Автором разработана укрупненная блок-схема численной реализации математической модели (5) в целом, а также адаптирована к решаемой задаче вспомогательная блок-схема.



$$N = M, \quad \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{ив})$$

$$N = 0, \quad \tau \in (T_p + T_{ив}, T_p + T_{ив} + T_{ост})$$



$$\left\{ \begin{array}{l} N = M, \quad \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \\ N = \Delta M_1, \quad \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N = M, \quad \tau \in T_{уп} \wedge p = 2 \cdot k, \quad k = 1, 2, \dots, s \\ N = 0, \quad \tau \in T_{уп} \wedge p = 2 \cdot k - 1, \quad k = 1, 2, \dots, s \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N = 0, \quad \tau \in T_{ост} \wedge \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \\ N = \Delta M_2, \quad \tau \in T_{ост} \wedge \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \end{array} \right.$$

Рис. 2. Неуправляемый (а) и управляемые (б) температурные режимы разогрева, прогрева и остывания бетона



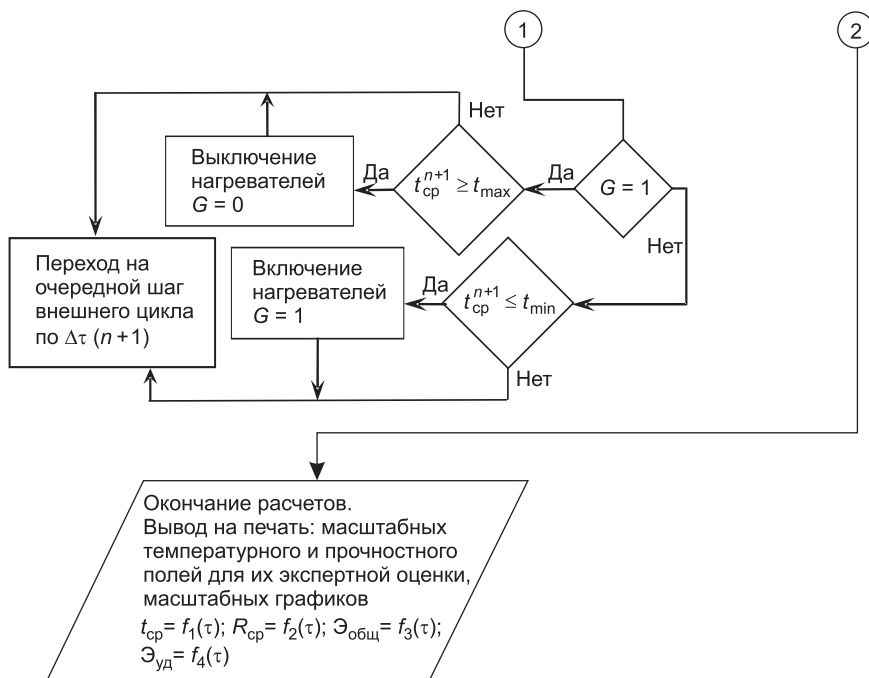


Рис. 3. Блок-схема численной реализации алгоритмических диспетчеров, «управляющих» разогревом, прогревом бетона в оптимальном температурном диапазоне и его остыванием с обеспечением существенного (до 30 %) энергосбережения за счет полезного использования тепловой инерции и с выполнением нормативных температурных ограничений за счет регулирования суммарной тепловой мощности нагревателей

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лунев, Ю.В. Зимнее бетонирование стыков сборных и сборно-монолитных каркасов [Текст] / Ю.В. Лунев // Сб. докл. 12-й Сиб. (Междунар.) конф. по железобетону : науч. тр. Общества железобетонщиков Урала и Сибири. — Новосибирск : Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2010. — Вып. 10. — С. 97–101.
2. Молодин, В.В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях [Текст] / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. — 300 с.
3. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях в районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера [Текст] / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М. : Стройиздат, 1982. — 213 с.
4. Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами [Текст] / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М. : Изд-во ЦНИИОМТП, 1989. — 67 с.

ТОЛОЧНАЯ Е.Б., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 09.02.11

**Tolochnaya E.B.**, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### RATIONALE FOR THE PHYSICAL MODEL AND DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF TEMPERATURE AND STRENGTH FIELDS IN CONCRETE DURING WINTER CONCRETING OF CONSTRUCTION ELEMENTS OF PRECAST-MONOLITHIC BUILDING FRAMES

Controlled temperature conditions of heating, warming up in the optimal temperature range and the cooling of the concrete are scientifically substantiated and practically realized. Three alternative methods of heating the concrete of monolithic layer of prefabricated-monolithic slabs and the concrete of jointing of structural elements of the precast column are considered. Enlarged block diagram of a numerical realization of the mathematical model and the auxiliary block diagram of a numerical realization of controlled temperature regimes are developed.

**Key words:** winter concreting of the monolithic layer of precast-monolithic slabs, winter concreting of joints of structural elements of prefabricated columns, controlled temperature regimes, electrode heating, heating with electric heating wires.

#### REFERENCES

1. Lunev, Yu.V. Winter concreting of joints of prefabricated and precast-monolithic frameworks [Text] / Yu.V. Lunev // Collection of reports of 12th Siberian (international) conf. on reinforced concrete : Collection of scientific papers of the Reinforced Concrete Specialists Society from Ural and Siberia. — Novosibirsk: Publ. House of NSUACE (Sibstrin), 2010. — Issue 10. — P. 97–101.
2. Molodin, V.V. Concreting of monolithic constructions in winter conditions [Text] / V.V. Molodin, Yu.V. Lunev. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2006. — 300 p.
3. Guidelines for concrete works in winter conditions in the Far East, Siberia and the Far North [Text] / TSNIOMTP of Gosstroï USSR. — M. : Stroyizdat, 1982. — 213 p.
4. Recommendations for electrical heating of monolithic concrete and reinforced concrete by heating wires [Text] / TSNIOMTP of Gosstroï USSR. — M. : Publ. House of TSNIOMTP, 1989. — 67 p.