процессе промерзаний / Б. Рысбайулы, А.Т. Байманкулов, А.О. Исмаилов // Вестник НАН РК. - 2008. - №2. - С. 7-9.
14. Байманкулов А.Т. Определение коэффициента диффузии почвенной воды в однородной среде // Вестник НАН РК. - 2008. - №2. - С. 7-9.

Получено 13.04.10

УДК 519.62:624.131

Б. Рысбайулы
КБТУ, г. Алматы
З.Б. Биртаева
КГУ им. А. Байтурсынова, г. Костанай

ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ГРУНТА С УЧЕТОМ КОНВЕКЦИИ ВЛАГИ

Постановка задачи. Конвективный перенос тепла в грунте осуществляется водой или воздухом. Передвижение влаги в грунте может осуществляться либо в результате фильтрации (т.е. под воздействием гравитационных сил), либо в результате миграции (т.е. под воздействием «внутренних» сил, возникающих в самом грунте на поверхностях раздела вода-минеральный скелет), либо тем и другим путем одновременно. Г.А. Мартынов, А.М. Глобус [1,2] и другие ученые доказали, что механизм движения в обоих случаях совершенно одинаков, хотя силы, вызывающие его, различны. В работах [3-5] изучены математические свойства разностных схем для однородного грунта, а в работах [6, 7] изучен метод определения коэффициента теплопроводности однородного грунта с учетом конвекций влаги. В работах [8-10] изложены современные состояния теории обратных и некорректных задач. В области $Q=(0,H)\cdot(0,T)$ рассматривается конвективное распространение тепла. Уравнение движения тепла записывается в следующем виде:

$$\gamma_0 c\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial\theta}{\partial z}\right). \tag{1}$$

Для уравнения (1) ставятся следующие начально-граничные условия:

$$\theta\big|_{z=0}=T_1,\quad \lambda\frac{\partial\theta}{\partial z}\bigg|_{z=H}=-\alpha\left(\theta\big|_{z=H}-T_b(t)\right),\ \ \omega\big|_{t=0}=\omega_0(z). \tag{2}$$

Уравнение движения влаги записывается в следующем виде:

$$\frac{\partial\omega}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(D\frac{\partial\omega}{\partial z}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D\mu\frac{\partial\theta}{\partial z}\right). \tag{3}$$

Уравнение влаги (2) решается при следующих условиях:

$$\omega\big|_{z=0}=\omega_1,\quad \frac{\partial\omega}{\partial z}\bigg|_{z=H}=A(t),\ \ \omega\big|_{t=0}=\omega_0(z). \tag{4}$$

Кроме того, при переходе от одного слоя к другому ставятся условия

$$\left[\lambda\frac{\partial\theta}{\partial z}\right]_{z=h_k}=0,\quad \left[D\frac{\partial\omega}{\partial z}+D\mu\frac{\partial\theta}{\partial z}\right]_{z=h_k}=0\ \ [\theta]_{z=h_k}=0,\quad [\omega]_{z=h_k}=0,\quad k=1,2,\ldots \tag{5}$$

Здесь $z=h_k, k=1,2,\ldots$ координаты точки перехода. Для того чтобы определить коэффициент теплопроводности задаются условия

$$\theta\big|_{z=0} = T_q(t), \qquad \omega\big|_{z=H} = \omega_q(t). \tag{6}$$

Разностная задача.

В сеточной области

$$Q_N^m = \{z_i = i\Delta z,\, i = 1,2,\ldots,N-1;\;\; t_J = j\Delta t,\, j = 0,1,\ldots,m-1\}.$$

Изучается разностная задача для температуры:

$$\gamma_0 c Y_{i,\bar{t}}^{j+1} = \left(\lambda_n Y_{i,z}^{j+1}\right)_{\bar{z}}, \tag{7}$$

$$Y_0^{j+1} = 0, \quad \lambda_n Y_{N,\bar{z}}^{j+1} + \alpha Y_N^{j+1} = \alpha T_b^{j+1}, \qquad Y_i^0 = \theta_0(z_i), \quad i = 0,1,\ldots,N, \tag{8}$$

А также разностная задача для влажности:

$$W_{i,\bar{t}}^{j+1} = \left(D W_{i,z}^{j+1} + D\mu Y_{i,z}^{j+1}\right)_{\bar{z}}, \tag{9}$$

$$W_0^{j+1} = 0, \quad W_{N,\bar{z}}^{j+1} = A(t_{j+1}), \quad W_i^0 = \omega_0(z_i). \tag{10}$$

Здесь Y_i^{j+1} и W_i^{j+1} – соответственно приближенные значения температуры и влаги в грунте. Параметры грунта, участвующие в системе (7) – (10), определяются в полуцелых точках

$$z_{i-1/2} = z_i - \frac{\Delta z}{2} = \left(i - \frac{1}{2}\right)\Delta z, \quad i = 1,2,\ldots,N.$$

Считаем, что точки разрыва h_1 и h_2 попадают на целый узел сетки Q_N^m. В этом случае внутренние граничные условия (5) автоматически учитываются системой (7) и (9). Параметры грунта в системах (7) и (9) являются кусочно-постоянными функциями по z. Требуется определить коэффициент $\lambda(z)$.

Приближенный метод для определения коэффициента теплопроводности.

Зададим начальное приближение $\lambda_n(z)$, а следующее приближение определим из условия минимизаций функционала:

$$J(\lambda) = \sum_{j=0}^{m-1}\left(Y_N^{j+1} - T_q^{j+1}\right)^2 \Delta t + A_0 \sum_{j=0}^{m-1}\left(W_N^{j+1} - \omega_q^{j+1}\right)^2 \Delta t,$$

где заданные значения температуры и влаги на поверхности земли.

Рассмотрим последовательные значения коэффициента теплопроводности $\lambda_n(z)$ и $\lambda_{n+1}(z)$. Решение системы при $\lambda = \lambda_n$ обозначим через $\left(Y_i^{j+1,n}, W_i^{j+1,n}\right)$, а при $\lambda = \lambda_{n+1}$ обозначим через $\left(Y_i^{j+1,n+1}, W_i^{j+1,n+1}\right)$. Разность этих величин обозначим через

$$\Delta Y_i^{j+1} = Y_i^{j+1,n+1} - Y_i^{j+1,n}, \quad \Delta W_i^{j+1} = W_i^{j+1,n+1} - W_i^{j+1,n}.$$

В целях упрощения записи иногда будем применять обозначения

$$Y_i^{j+1,n+1} = Y_i^{n+1} \text{ и } Y_i^{j+1,n} = Y_i^{j+1}.$$

Тогда для разности ΔY_i^{j+1} и ΔW_i^{j+1} получается разностная задача

$$\gamma_0 c \Delta Y_{i,\bar{t}}^{j+1} = \left(\lambda_n \Delta Y_{i,z}^{j+1} + \Delta\lambda Y_{i,z}^{n+1}\right)_{\bar{z}}; \tag{11}$$

$$\Delta Y_0^{j+1} = 0, \quad \lambda_n \Delta Y_{N,\bar{z}}^{j+1} + \Delta\lambda Y_{N,\bar{z}}^{n+1} = -\alpha \Delta Y_N^{j+1}, \quad \Delta Y_i^0 = 0; \tag{12}$$

$$\Delta W_{i,\bar{t}}^{j+1} = \left(D\Delta W_{i,z}^{j+1} + D\mu \Delta Y_{i,z}^{j+1}\right)_{\bar{z}}; \tag{13}$$

$$\Delta W_0^{j+1} = 0, \quad \Delta W_{N,\bar{z}}^{j+1} = 0, \quad \Delta W_i^0 = 0. \tag{14}$$

Для краткости изложения в дальнейшем используются обозначения:

$$\sigma_i^{j+1} = \lambda_n \Delta Y_{i,z}^{j+1} + \lambda Y_{i,z}^{n+1}, \ \Delta R_i^{j+1} = D\Delta W_{i,z}^{j+1} + D\mu\Delta Y_{i,z}^{j+1}.$$

Разностная задача с обратным временем.

Умножим (11) на произвольную функцию $X_i^j \Delta t\Delta z$ и суммируем по всем внутренним точкам области Q_N^m. Левую часть знака равенства суммируем по частям, по переменной j, а правую – переменной i. Тогда

$$\sum_{i=1}^{N-1}\left(\gamma_0 c\Delta Y_i^m X_i^m - \gamma_0 c\Delta Y_i^0 X_i^0\right)\Delta z - \sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\gamma_0 c X_{i,\bar{t}}^j \Delta t\Delta z =$$

$$= \sum_j \left(\sigma_{N-1}^{j+1} X_N^j - \sigma_0^{j+1} X_0^j\right)\Delta t - \sum_{i,j}\sigma_{i-1} X_{i,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z.$$

Предполагаем, что $X_i^m = 0, \quad X_0^J; \quad (i,j)\in Q_N^m$. Тогда, учитывая начально-граничные условия (12), выводим

$$-\sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\gamma_0 c X_{i,\bar{t}}^{j+1}\Delta t\Delta z = -\sum_j \alpha\Delta Y_N^{j+1} X_N^j \Delta t - \sum_{i,j}\lambda_n \Delta Y_{i,\bar{z}}^{j+1} X_{i,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z - \sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar{z}}^{n+1} X_{i,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z.$$

Вторую сумму в правой части знака равенства суммируем по частям по переменной i. Собирая подобные величины в левую часть знака равенства, получим:

$$-\sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\left(\gamma_0 c X_{i,\bar{t}}^{j+1} + \left(\lambda_n X_{i,z}^j\right)_{\bar{z}}\right)\Delta t\Delta z - \sum_j \Delta Y_N^{j+1}\left(\lambda_n X_{N,\bar{z}}^j + \alpha X_N^j\right)\Delta t = -\sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar{z}}^{n+1} X_{i,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z. \quad (15)$$

Теперь умножим (13) на $P_i^J \Delta t\Delta z$ и суммируем по всем внутренним узлам сетки θ_N^m. Суммируем по частям по переменной i и j. Тогда

$$\sum_{i=1}^{N-1}\left(W_i^m P_i^m - W_i^0 P_i^0\right)\Delta z - \sum_{i,j}\Delta W_i^{j+1} P_{i,\bar{t}}^{j+1}\Delta t\Delta z = \sum_j\left(\Delta R_N^{j+1} P_N^j - \Delta R_1^{j+1} P_0^j\right)\Delta t - \sum_{i,J}\Delta R_{i-1}^{j+1} P_{i,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z.$$

Положим, что $P_i^m = 0, \quad P_0^J = 0$, тогда, учитывая условие $\Delta W_i^0 = 0$, имеем равенство

$$-\sum_{i,J}\Delta W_i^{j+1} P_{i,\bar{t}}^{j+1}\Delta t\Delta z = \sum_J\left(D\Delta W_{N,\bar{z}}^{j+1} P_N^j + D\mu\Delta Y_{N,\bar{z}}^{j+1}\right)P_N^j \Delta t - \sum_{i,J}\left(D\Delta W_{\bar{z}}^{j+1} + D\mu\Delta Y_{\bar{z}}^{j+1}\right)P_{i,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z.$$

Учитывая однородное граничное условие $\Delta W_{N,\bar{z}}^{j+1} = 0$ и применяя формулу (суммирование по частям), выводим

$$-\sum_{i,j}\Delta W_i^{j+1} P_{i,\bar{t}}^{j+1}\Delta t\Delta z - \sum_j D\mu\Delta Y_{N,\bar{z}}^{j+1} P_N^j \Delta t = -\sum_J\left(D\Delta W_N^{j+1} + D\mu\Delta Y_N^{j+1}\right)P_{N,\bar{z}}^j \Delta t +$$

$$+\sum_j\left(D\Delta W_0^{j+1} + D\mu\Delta Y_0^{j+1}\right)P_{1,\bar{z}}^j \Delta t\Delta z + \sum_{i,j}\Delta W_i^{j+1}\left(DP_{i,z}^j\right)_{\bar{z}}\Delta t\Delta z + \sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\left(D\mu P_{i,z}^j\right)_{\bar{z}}\Delta t\Delta z.$$

Учитывая однородные условия

$$\Delta W_0^{j+1} = 0, \quad \Delta Y_0^{j+1} = 0$$

и перегруппируя слагаемые, записываем предпоследнее равенство в виде

$$-\sum_{i,j}\Delta W_i^{j+1}\left[P_{i,\bar{t}}^{j+1} + \left(DP_{iz}^j\right)_{\bar{z}}\right]\Delta t\Delta z - \sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\left(D\mu P_{iz}^j\right)_{\bar{z}}\Delta t\Delta z + \sum_j \frac{D\mu\alpha}{\lambda_n}\Delta Y_N^{j+1} P_N^j \Delta t -$$

$$-\sum_j \frac{D\mu\Delta\lambda}{\lambda_n} Y_{N,\bar{z}}^{n+1} P_N^j \Delta t + \sum_j \Delta W_N^{j+1} DP_{N,\bar{z}}^{j+1}\Delta t + \sum_j \Delta Y_N^{j+1} D\mu P_{N,\bar{z}}^j \Delta t - \sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\left(D\mu P_{i,z}^j\right)_{\bar{z}}\Delta t\Delta z = 0.$$

Полученное равенство складываем с равенством (15). Тогда

$$-\sum_{i,j}\Delta Y_i^{j+1}\left(\gamma_0 c X_{i,\bar t}^{j+1}+\left(\lambda_n X_{i,z}^j\right)_{\bar z}+\left(D\mu P_{i,z}^j\right)_{\bar z}\right)\Delta t dz-\sum_{i,j}\Delta W_i^{j+1}\left(P_{i,\bar z}^{j+1}+\left(DP_{i,z}^j\right)_{\bar z}\right)\Delta t\Delta z+$$

$$+\sum_j \Delta W_N^{j+1} DP_{N,\bar z}^j\Delta t+\sum_j \Delta Y_N^{j+1}\left(\lambda_n X_{N,\bar z}^j+\alpha X_N^j+\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n}P_N^j+D\mu P_{N,\bar z}^j\right)\Delta t+\sum_j \frac{D\mu\Delta\lambda}{\lambda_n}Y_{N,\bar z}^{n+1}P_N^j\Delta t=$$

$$=-\sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar z}^{n+1}X_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z.$$

Предполагаем, что для функции X_i^j и P_i^j имеют место равенства

$$\gamma_0 c X_{i,\bar t}^{j+1}+\left(\lambda_n X_{i,z}^j\right)_{\bar z}+\left(D\mu P_{i,z}^j\right)_{\bar z}=0\,,\qquad P_{i,\bar z}^{j+1}+\left(DP_{i,z}^j\right)_{\bar z}=0\,.$$

Тогда

$$\sum_j \Delta W_N^{j+1} DP_{N,\bar z}^j\Delta t+\sum_j \frac{D\mu\Delta\lambda}{\lambda_n}Y_{N,\bar z}^{n+1}P_N^j\Delta t+\sum_j \Delta Y_N^{j+1}\left(\lambda_n X_{N,\bar z}^j+\alpha X_N^j+\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n}P_N^j+D\mu P_{N,\bar z}^j\right)\Delta t=$$

$$=-\sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar z}^{n+1}X_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z.$$

Пусть имеют место равенства

$$DP_{N,\bar z}^j=2\left(W_N^{j+1}-\omega_q^{j+1}\right)A_0\,,$$

$$\lambda_n X_{N,\bar z}^j+\alpha X_N^j+\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n}P_N^j+D\mu P_{N,\bar z}^j=2\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right).$$

На основе этих равенств получается соотношение

$$2A_0\sum_j \Delta W_N^{j+1}\left(W_N^{j+1}-\omega_q^{j+1}\right)\Delta t+2\sum_j \Delta Y_N^{j+1}\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right)\Delta t=$$

$$=-\sum_j \frac{D\mu\Delta\lambda}{\lambda_n}Y_{N,\bar z}^{n+1}P_N^j\Delta t-\sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar z}^{n+1}P_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z.$$

Подставляя граничное условие из (8) при $i=N$, получим

$$2A_0\sum_j \Delta W_N^{j+1}\left(W_N^{j+1}-\omega_q^{j+1}\right)\Delta t+2\sum_j \Delta Y_N^{j+1}\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right)\Delta t=$$

$$=\sum_j \frac{D\mu\alpha}{\lambda_n^2}\Delta\lambda\left(Y_N^{j+1}-T_b^{j+1}\right)P_N^j\Delta t-\sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar z}^{n+1}X_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z. \qquad (16)$$

Собирая поставленные условия для функции X_i^j и P_i^j, получаем задачу

$$P_{i,\bar t}^{j+1}+\left(DP_{i,z}^j\right)_{\bar z}=0\,;$$

$$P_i^m=0,\quad DP_{N,\bar z}^j=2\left(W_N^{j+1}-\omega_q^{j+1}\right),\quad P_0^j=0\,;$$

$$\gamma_0 c X_{i,\bar t}^{j+1}+\left(\lambda_n X_{i,z}^j\right)_{\bar z}+\left(D\mu P_{i,z}^j\right)_{\bar z}=0\,;$$

$$X_i^m=0,\quad X_0^j=0\,;$$

$$\lambda_n X_{N,\bar z}^j+\alpha X_N^j+\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n}P_N^j+D\mu P_{N,\bar z}^j=2\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right).$$

Приближенный метод для определения коэффициента теплопроводности.

Вычисляем разность функционала $J(\lambda)$ в последовательных точках $\lambda_n(z)$ и $\lambda_{n+1}(z)$. То есть

$$J(\lambda_{n+1})-J(\lambda_n)=2\sum_j Y_N^{j+1}\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right)\Delta t+\sum_j\left(\Delta Y_N^{j+1}\right)^2\Delta t+$$
$$+2A_0\sum_j\left(W_N^{j+1}-\omega_q^{j+1}\right)\Delta W_N^{j+1}\Delta t+\sum_j\left(\Delta W_N^{j+1}\right)^2\Delta t.$$

Учитывая ранее полученное равенство (16), выводим, что

$$J(\lambda_{n+1})-J(\lambda_n)=\sum_j\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n^2}\Delta\lambda\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right)P_N^j\Delta t-\sum_{i,j}\Delta\lambda Y_{i,\bar z}^{j+1}P_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z+\sum_j\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n^2}\Delta\lambda\Delta Y_N^{j+1}P_N^j\Delta t-$$
$$-\sum_{i,j}\Delta\lambda\Delta Y_{i,\bar z}^{j+1}P_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z+\sum_j\left(\Delta Y_N^{j+1}\right)^2\Delta t+A_0\sum_j\left(\Delta W_N^{j+1}\right)^2\Delta t.$$

Если

$$\Delta\lambda(z)=-\beta_n(z)\left(\sum_j\frac{D\mu\alpha}{H\lambda_n^2}\left(Y_N^{j+1}-T_q^{j+1}\right)P_N^j\Delta t-\sum_{j=0}^{m-1}Y_{i,\bar z}^{j+1}X_{i,\bar z}^j\Delta t\right)=-\beta_n(z_i)B_n(z_i),\qquad(17)$$

то

$$J(\lambda_{n+1})-J(\lambda_n)=-\sum_{i=1}^N\beta_n(z_i)B_n^2(z_i)\Delta z+\sum_j\frac{D\mu\alpha}{\lambda_n^2}\Delta\lambda\Delta Y_N^{j+1}P_N^j\Delta t-$$
$$-\sum_{i,J}\Delta\lambda\Delta Y_{i,\bar z}^{j+1}X_{i,\bar z}^j\Delta t\Delta z+\sum_J\left(\Delta Y_N^{j+1}\right)^2\Delta t+A_0\sum_J\left(\Delta W_N^{j+1}\right)^2\Delta t.$$

Из равенства $\Delta\lambda=-\beta_n(z)B_n(z)$ суммируя по всем узлам сетки от h_k до h_{k+1}, получим

$$\sum_i\lambda_{n+1}(z_i)\Delta z-\sum_i\lambda_n(z_i)\Delta z=-\sum_i\beta_n(z_i)B_n(z_i)\Delta z.$$

Учитывая кусочно-постоянность функции $\lambda(z)$, положим, что $\lambda(z_i)=\lambda(h_k)$, $k=0,1,2.$ Поэтому

$$\lambda_{n+1}(h_k)-\lambda_n(h_k)=-\frac{\beta_n(h_k)}{h_{k+1}-h_k}\sum_i B_n(z_i)\Delta z.$$

Из этого равенства определяется следующее приближение коэффициента теплопроводности грунта.

Список литературы

1. Мартынов Г.А. Тепло- и влагоперенос в промерзающих и оттаивающих грунтах. Основы геокриологии (мерзлотоведения) / Под. ред. Н.А. Цытович. - М.: 1959. - Гл. VI. - С. 153-192.
2. Глобус А.М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена. - Л.: Гидрометиздат, 1983. - 279 с.
3. Рысбайулы Б. Обратная задача кондуктивного распространения тепла в однородной среде / Б. Рысбайулы, А.Т. Байманкулов, Г.И. Маханбетова // Вестник НАН РК. - 2008. - № 1. - С. 11-13.
4. Рысбайулы Б. Разностный метод определения коэффициента теплопроводности грунта в процессе промерзаний / Б. Рысбайулы, А.Т. Байманкулов, А.О. Исмайлов // Вестник НАН РК. - 2008. -№2. - С. 7-9.
5. Жумагулов Б.Т. Сходимость разностной схемы для обобщенной задачи Стефана конвективного распространения влаги / Б.Т. Жумагулов, Б. Рысбайұлы, А.А. Адамов // Вестник НАН РК. - 2007. - №5. - С. 30-41.
6. Рысбайулы Б. Итерационный метод определения коэффициента теплопроводности с учетом конвекции влаги в однородной среде / Б. Рысбайулы, З.Б. Биртаева // Вестник КБТУ. - 2009.
7. Рысбайулы Б. Сходимость итерационного метода определения коэффициента теплопроводности с учетом конвекции влаги в однородной среде / Б. Рысбайулы, З.Б. Биртаева // Вестник КБТУ. - 2010.
8. Кабанихин С.И. Итерационные методы решения обратных и некорректных задач с данны-

ми на части границы / С.И. Кабанихин, М.А. Бектемисов, А.Т. Нурсейтова. - Алматы; Новосибирск, 2006. - 426 с.
9. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи.- Новосибирск, 2009. - 457 с.
10. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи для гиперболических уравнений / С.И. Кабанихин, К.Т. Искаков. - Алматы, 2007. - 331 с.
11. Самарский А.А. Теория разностных схем. - М: Наука, 1989. - 620 с.

Получено 13.05.10

УДК 621.31:631.3

К.К. Тулегенов
ЗКАТУ им. Жангир хана, г. Уральск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЫТОВОГО ЭЛЕКТРОИНКУБАТОРА В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ

Необходимость изучения тепловых характеристик бытовых электроинкубаторов (БЭИ) в переходных процессах обусловлена, прежде всего, использованием продукции птицеводства в частном секторе. В настоящее время это привело к проблеме, связанной с частными и фермерскими птицеводствами, в которых требуются малогабаритные электроинкубаторы. В связи с этим возникла задача нагрева и охлаждения инкубатора.

Тепловые процессы являются динамическими, связанными с изменением теплосодержания нагреваемых яиц и материалов инкубатора. Температура яиц всегда находится в переходных режимах: охлаждение – нагревание - охлаждение. На эти процессы накладываются факторы регулирования температуры. Наиболее часто на практике используют двухпозиционное регулирование [1,2]. Для обеспечения требуемых по технологии режимов инкубации важно правильно согласовать динамические свойства инкубатора и регулятора.

Процессы охлаждения и нагревания во времени делятся на две стадии: хаотического процесса, которые характеризуются заметным влиянием на температурное поле начального состояния системы, и регулярного режима. С течением времени это влияние ослабевает, и хаотичный процесс переходит в упорядоченную регулярную стадию. В этом режиме закон изменения температурного поля во времени хорошо описывается экспоненциальной формой.

Обе стадии учитываются в специальных теплотехнических исследованиях [3,4]. При изучении электронагревательных установок обычно учитывают стационарный режим. Это вполне оправдано малой продолжительностью хаотичного режима.

Исследование динамических свойств имеет две цели: 1 - изучить влияние параметров инкубатора на точность поддержания заданной температуры; 2 - выявить возможность использования инерционных свойств инкубатора для поддержания заданной температуры при перерывах в электроснабжении.

Объект изучения может быть представлен расчётной схемой (рис. 1). При этом дополнительно учитывается масса нагреваемых тел M_i и их теплоёмкость c_i. Принимаются традиционные допущения: все теплотехнические характеристики не зависят от температуры, масса и теплоёмкость принимаются по усреднённым данным, т.е. на первом этапе рассматривается нагрев однородного тела массой M, окруженного теплоизоляционной оболочкой с вентиляционными отверстиями.