

УДК 631.3:621.3.036.5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗИМНЕГО РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ МОЛОЧНОГО БЛОКА ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ

АЛДИБЕКОВ И.Т., к.т.н.

Казахский национальный аграрный университет

В статье рассматривается математическая модель зимнего режима работы системы теплообеспечения молочного блока животноводческой фермы.

В статье [1] рассмотрены принципы построения системы теплообеспечения (СТО) молочных ферм на базе гелио-электрических пароводонагревателей.

В зимнем режиме работы СТО солнечные коллекторы отсоединяют от бака-аккумулятора горячей воды, а теплообменный аппарат системы отопления подключают к электродному нагревателю. При этом предлагаемая СТО должна обеспечить нагрев технологической воды в баке-аккумуляторе и отопление производственного помещения, а также в течение сравнительно короткого времени (1...2 часа) обеспечить паром, необходимым для стерилизации молочного оборудования и для других целей.

Структурная модель СТО в зимнем режиме показана на рисунке 1.

При рассмотрении процессов теплообмена в СТО приняты следующие допущения: температура потока теплоносителя принимается одинаковой по всему сечению труб, внутренние источники тепла в теплоносителях

отсутствуют, теплоемкость всех элементов и теплоносителей постоянна, теплообмен между элементами системы характеризуется средними значениями коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.

С учетом изложенного в тепловой модели СТО можно выделить отдельные области: g - электрический нагреватель электродного типа (ГТ); l - секции теплообменника системы горячего водоснабжения (ТГВ); f - секции бака-аккумулятора (БАГВ); s - корпус теплообменного аппарата (ТА); k - элементы теплообменника системы отопления (ТСО); h - секции радиаторов отопления (РО); m - элементы помещения молочного блока (ПМБ).

Анализ качественных сторон протекания теплообменных процессов в СТО показывает, что их характер следует рассматривать в двух временных диапазонах (стадиях).

В первой стадии система находится в таком термодинамическом состоянии, что мощность электродного нагревателя остается постоянной, а генерируемая им теплота полностью передается через теплообменники к нагреваемым жидкостям. При этом уровень котловой воды не изменяется, т.е. $h_{ук} = 0$.

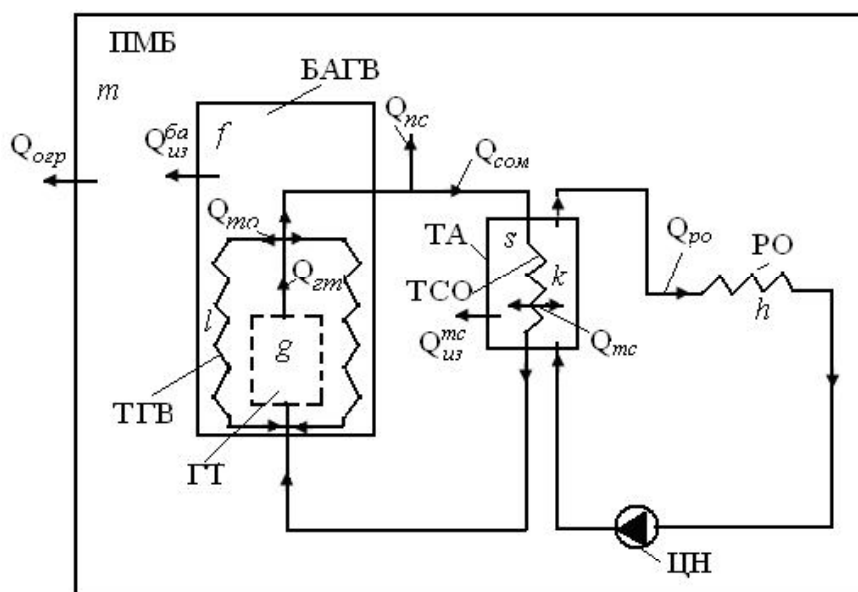


Рис. 1. Структурная модель СТО в зимнем режиме

Нестационарные тепловые процессы в ТСО в первой стадии ее работы могут быть описаны следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dt_f}{d\tau} &= \frac{1}{(C_f^{MK} + C_f^{ms})} \left\{ [K_l^n l_l H_{no}^{\text{эф}} (t_l^n - t_f) + K_l^e l_l H_{кв.о} (t_l^{кв} - t_f)] - K_f F_f (t_f - t_m) \right\} \\ \frac{dt_{kl}}{d\tau} &= \frac{1}{C_k^{MK}} \left\{ \frac{3U_{л}^2 \gamma_{ns} H_{\text{э}}}{K_2} - [K_l^n l_l H_{no}^{\text{эф}} (t_l^n - t_f) + K_l^e l_l H_{кв.о} (t_l^{кв} - t_f)] - K_{kl} F_k (t_{kl} - t_s) \right\} \\ \frac{dt_s}{d\tau} &= \frac{1}{C_s^{MK}} \left\{ K_{kl} F_k (t_{kl} - t_s) - K_s F_s (t_s - t_m) - G^e c_e (t_s - t_h) \right\} \\ \frac{dt_h}{d\tau} &= \frac{1}{C_h^{MK}} \left\{ G^e c_e (t_s - t_h) - K_h F_h (t_h - t_m) \right\} \\ \frac{dt_m}{d\tau} &= \frac{1}{(C_m^{озп} + C_m^{еоз})} \left\{ K_h F_h (t_h - t_m) - a q_{m.ом} V_m (t_m - t_{oc}) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t_i = \frac{t_i^{6blx} + t_i^{6x}}{2}, \quad i = k, s, h$$

$$t_i(\tau = 0) = t_{i0}, \quad t_f(\tau = 0) = t_{f0}, \quad t_m(\tau = 0) = t_{m0},$$

$$t_{k0} \leq t_k < 100$$

где: $i_g^{6x}, i_g^{6blx}, i_l^{6x}, i_l^{6blx}, i_k^{6x}, i_k^{6blx}$ - энтальпии теплоносителя на входе и выходе соответствующих элементов, кДж/кг; t_i^{6x}, t_i^{6blx} - температуры теплоносителя на входе и выходе i -го элемента, °С; t_{oc} - температура окружающей среды, °С; t_f, t_k, t_s, t_h, t_m - соответственно средние температуры технологической воды, стенки ТСО теплообменника системы отопления, нагреваемой воды в ТА, РО и воздуха в ПМБ, °С; K_f, K_k, K_s, K_h - соответственно коэффициенты теплопередачи БАГВ, ТСО, ТА, РО, Вт/м²·°С; K_l^n - коэффициент теплопередачи через теплообменную поверхность в паровом пространстве, Вт/м²·°С; t_l^n - средняя температура конденсата на стенке ТГВ, °С; $F_n^{\text{эф}}$ - эффективная площадь теплообменной поверхности в паровом пространстве нагревателя, м²; K_l^e - коэффициент теплопередачи через теплообменную поверхность в зоне котловой воды, Вт/м²·°С; $t_l^{кв}$ - средняя температура котловой воды вблизи внутренней стенки корпуса, °С; F_f, F_k, F_s, F_r, F_h - соответственно площади поверхности теплообмена БАГВ, ТСО, ТА, РО, м²; G^e - расход циркулирующей в системе отопления воды, кг/с;

$C_l^{MK}, C_f^{MK}, C_k^{MK}, C_s^{MK}, C_h^{MK}$ - полные теплоемкости металлоконструкций соответствующих элементов, Дж/°С; $C_m^{еоз}$ - полная теплоемкость внутреннего воздуха, Дж/°С; $C_m^{озп}$ - полная теплоемкость ограждающих конструкций помещения, Дж/°С; C_v - удельная теплоемкость воды, 4190 Дж/кг·°С; V - объем помещения, м³; $q_{ом}$ - удельная отопительная характеристика помещения, Вт/м³·°С; $H_{no}^{\text{эф}}$ - первоначальная эффективная высота парового пространства, м; S_l - длина окружности цилиндрического корпуса нагревателя, м; $H_{кв.о}$ - первоначальный уровень котловой воды, м.

Математическая модель составлена на основании закона сохранения энергии для каждой области.

Следует отметить, что во время работы электродного нагревателя на нагрев технологической воды $Q_{nc} = 0$, т.е. не предусматривается использование пара для других целей.

Вторая стадия характеризуется тем, что мощность нагревателя с течением времени постоянно снижается. Это объясняется появлением дисбаланса между количеством генерируемой теплоты и количеством теплоты, передаваемой к нагреваемым жидкостям, что приводит к повышению давления пара в паровом пространстве и последующему

вытеснению определенного количества котловой воды из межэлектродного пространства, а, следовательно, к снижению ее уровня. При этом $h_{\text{ук}}(\tau) > 0$. Следовательно, снижается потребляемая нагревателем во второй стадии электрическая мощность P^{g2} :

$$P_{g2}(h_{\text{ук}}) = \frac{3U_{\text{л}}^2 \gamma_{\text{нб}} [H_{\text{э}} - h_{\text{ук}}]}{K_2}, \quad (2)$$

$h_{\text{ук}}$ - величина, показывающая степень понижения уровня воды в момент времени τ относительно первоначальной высоты электродной системы Нэ.

Начальными условиями являются значения температур теплоносителей и элементов

в момент ($\tau = \tau_{1k}$) окончания первой стадии работы СТО, т.е. при $\tau_2 = \tau - \tau_{1k} = 0$. Здесь τ_2 - время начала второй стадии.

Поскольку во второй стадии конденсация пара на внутренней стенке теплообменника ТСО происходит по всей ее площади, то следует принимать $t_{k2} = t_{\text{кон}} \approx 100^\circ\text{C}$, $K_{k2} = 700 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ (для стальных пароводяных теплообменников).

Таким образом, нестационарные тепловые процессы во второй стадии работы СТО могут быть описаны следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dt_f}{d\tau} &= \frac{1}{(C_f^{\text{МК}} + C_f^{\text{мб}})} \left\{ K_l^n l_l (H_{\text{н.о}}^{\text{эф}} + h_{\text{ук}}) (t_l^n - t_f) + K_l^e l_l (H_{\text{кв.о}} - h_{\text{ук}}) (t_l^{\text{кв}} - t_f) \right\} - K_f F_f (t_f - t_m) \\ \frac{dh_{\text{ук}}}{d\tau} &= \frac{R_{\text{энн}} T_n}{r(2g\sigma_{\text{в.ср}} V_{\text{нач}} + S_{\text{н}} P_{\text{ам}})} \left\{ \frac{3U_{\text{л}}^2 \gamma_{\text{нб}} [H_{\text{э}} - h_{\text{ук}}]}{K_2} \left[K_l^n l_l (H_{\text{н.о}}^{\text{эф}} + h_{\text{ук}}) (t_l^n - t_f) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + K_l^e l_l (H_{\text{кв.о}} - h_{\text{ук}}) (t_l^{\text{кв}} - t_f) + K_{k2} F_k (t_{k2} - t_s) \right] \right\} \\ \frac{dt_{k2}}{d\tau} &= \frac{1}{C_{ks}^{\text{МК}}} \left\{ \frac{3U_{\text{л}}^2 \gamma_{\text{нб}} [H_{\text{э}} - h_{\text{ук}}]}{K_2} \left[K_l^n l_l (H_{\text{н.о}}^{\text{эф}} + h_{\text{ук}}) (t_l^n - t_f) + K_l^e l_l (H_{\text{кв.о}} - h_{\text{ук}}) (t_l^{\text{кв}} - t_f) \right] - K_{k2} F_k (t_{k2} - t_s) \right\} \\ \frac{dt_s}{d\tau} &= \frac{1}{C_s^{\text{МК}}} \left\{ K_k F_k (t_k - t_s) - K_s F_s (t_s - t_m) - G^e c_e (t_s - t_h) \right\} \\ \frac{dt_h}{d\tau} &= \frac{1}{C_h^{\text{МК}}} \left\{ G^e c_e (t_s - t_h) - K_h F_h (t_h - t_m) \right\} \\ \frac{dt_m}{d\tau} &= \frac{1}{(C_m^{\text{озп}} + C_m^{\text{ооз}})} \left\{ K_h F_h (t_h - t_m) - a q_{\text{м.ом}} V_m (t_m - t_{\text{оc}}) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$t_i = \frac{t_i^{\text{ввх}} + t_i^{\text{вх}}}{2}, \quad i = k, s, h$$

$$t_f(\tau_2 = 0) = t_f(\tau_{1k}), \quad t_{k2}(\tau_2 = 0) = 100, \quad t_s(\tau_2 = 0) = t_s(\tau_{1k})$$

$$t_h(\tau_2 = 0) = t_h(\tau_{1k}), \quad t_m(\tau = 0) = t_m(\tau_{1k})$$

Математические модели (1) и (3) позволяют проследить динамику изменения температуры теплоносителей в элементах СТО, оценить влияние конструктивных, режимных и энергетических параметров на тепловой режим СТО. Выходными параметрами являются температура нагрева воды в баке-аккумуляторе и температура в помещении.

Приведенная модель использована при расчете СТО молочного блока коровника на 200 голов [2]. Решение систем (1) и (3) дифференциальных уравнений осуществлено численным методом при помощи прикладной программы MatchCAD.

При расчете были приняты следующие

исходные данные: $V_{\text{т}} = 270 \text{ м}^3$; $t_{\text{оc}} = -30^\circ\text{C}$;

$t_{\text{м.расч}} = 16^\circ\text{C}$; $t_{\text{м0}} = 15^\circ\text{C}$; $m_{\text{е}} = 400 \text{ кг}$;

$K_f = 1,24 \text{ Вт/м}^2\text{C}$; $K_{k1} = 500 \text{ Вт/м}^2\text{C}$; $K_{k2} = 700 \text{ Вт/м}^2\text{C}$;

$K_h = 12 \text{ Вт/м}^2\text{C}$; $K_l^n = 700 \text{ Вт/м}^2\text{C}$; $t_l^n = 100^\circ\text{C}$;

$K_l^e = 290 \text{ Вт/м}^2\text{C}$; $t_l^{\text{кв}} = 90^\circ\text{C}$; $F_f = 3,3 \text{ м}^2$;

$F_k = 0,7 \text{ м}^2$; $F_s = 0,72 \text{ м}^2$; $F_h = 14 \text{ м}^2$;

$G^e = 0,15 \text{ кг/с}$; $C_f^{\text{МК}} = 22,2 \text{ кДж/}^\circ\text{C}$; $C_k^{\text{МК}} = 3,9 \text{ кДж/}^\circ\text{C}$;

$C_s^{\text{МК}} = 4,34 \text{ кДж/}^\circ\text{C}$; $C_h^{\text{МК}} = 108,57 \text{ кДж/}^\circ\text{C}$;

$C_m^{\text{ооз}} = 321 \text{ кДж/}^\circ\text{C}$; $C_m^{\text{озп}} \approx 40000 \text{ кДж/}^\circ\text{C}$;

$$c_e = 4190 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C}; \quad q_{om} = 0,5 \text{ Вт/м}^3\cdot\text{°C}; \quad H_g = 0,15 \text{ м}; \quad K_z = 0,382$$

$$H_{n.o}^{\text{эф}} = 0,3 \text{ м}; \quad l_f = 0,628 \text{ м}; \quad H_{кв.о} = 0,185 \text{ м.}$$

$$U_n = 380 \text{ В}; \quad \gamma_{нс} = 0,1 \text{ см/м}; \quad \rho_{20} = 25 \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

На рисунке 2 показаны графики, характеризующие динамику изменения температур теплоносителей в разных элементах СТО.

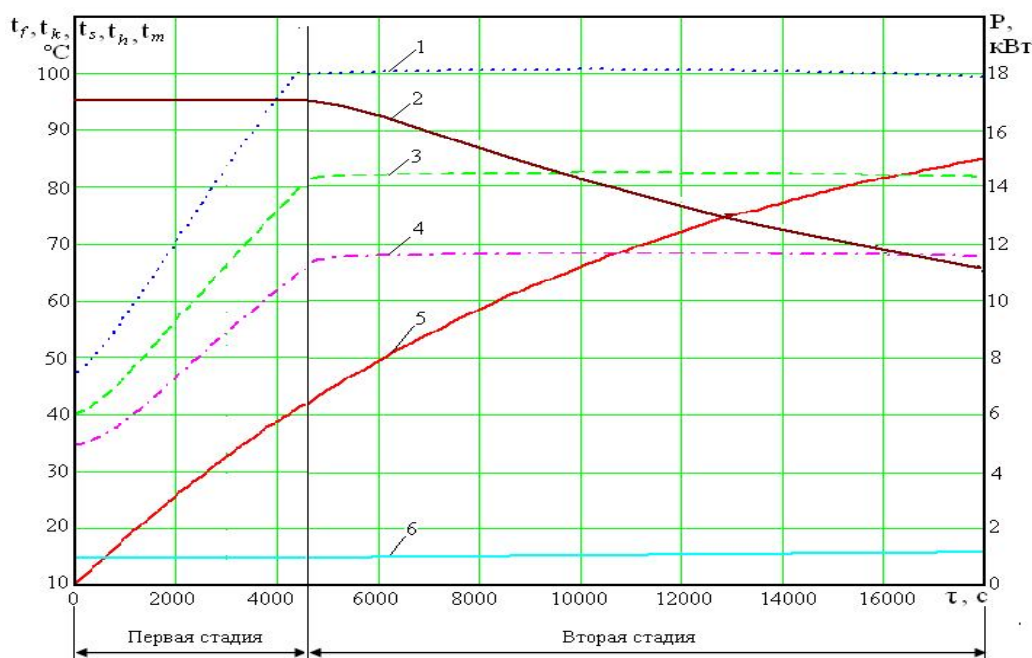


Рис. 2. Динамика изменения температур теплоносителей в разных элементах СТО и мощности электродного нагревателя

- 1 - график зависимости $t_k = \varphi_1(\tau)$; 2 - график зависимости $P_g = \varphi_2(\tau)$;
 3 - график зависимости $t_s = \varphi_3(\tau)$; 4 - график зависимости $t_h = \varphi_4(\tau)$;
 5 - график зависимости $t_f = \varphi_5(\tau)$; 6 - график зависимости $t_m = \varphi_6(\tau)$.

Из анализа графиков на рисунке 2 следует, что технологическая вода в баке-аккумуляторе нагревается до температуры 80°C за 4,25 часа (15300 с) и при том температура воздуха в помещении молочного блока за это время повысится от 15 до 15,8°C. В течение первой стадии мощность электродного нагревателя остается постоянной, а во второй стадии она плавно уменьшается, т.е. происходит ее саморегулирование в соответствии с изменением величины тепловой мощности, которой способны передавать теплообменники в нагреваемые жидкости при имеющих место в данный момент времени температурных напорах.

Таким образом, емкостной пароводонагреватель с электродным нагревателем, входящий в состав СТО, в зимнее время может не только нагреть технологическую воду до заданной температуры, но и также одновременно обеспечить отопление молочного блока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кешуов С.А., Алдибеков И.Т. Система теплообеспечения молочных ферм на базе геотермических пароводонагревателей /Пищевая технология и сервис №2, 2010.
2. Справочник по теплоснабжению сельскохозяйственных предприятий /В.В. Жабо, Д.П. Лебедев, В.П. Мороз и др.; Под. Общей ред. В.В. Уварова. – М.: Колос, 1983. – 320 с., ил.

ТҰЖЫРЫМ

Мақалада мал фермасының сүт блогінің жылу жүйесінің қыс кезіндегі жұмысының математикалық моделі қарастырылған

RESUME

In the article the mathematical model of the winter regime of the work of the system of the heat-guarantee of the dairy block of cattle-breeding farm is considered.