

Энергетика

УДК 621.3.078

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В АППАРАТЕ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛА

С.В. Алимов¹, Л.А. Мигачева², А.Р. Титов³

¹ ОАО «Газпром»
117997, ГСП-7, г. Москва, ул. Наметкина, 16

² Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

³ ДООАО «Центрэнергогаз»
117630, г. Москва, ул. Обручева, 23, стр. 3

Рассмотрена математическая модель процесса теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла. Разработана линеаризованная структурная схема процесса теплообмена как объекта управления. Найдены передаточные функции объекта по отношению к изменениям объемного расхода охлаждающего воздуха и температур масла и воздуха на входе аппарата.

Ключевые слова: *математическая модель, аппарат воздушного охлаждения масла, структурная схема, передаточная функция.*

Функционирование аппаратов воздушного охлаждения (АВО) масла газоперекачивающих агрегатов происходит по принципу передачи излишнего тепла окружающей среде. Масло отдает теплоту стенке оребренной трубы теплообменника, которая охлаждается потоком холодного воздуха.

При математическом описании процессов теплообмена часто пользуются системой нелинейных уравнений Фурье [1] и рассматривают теплообменник как объект с распределенными параметрами [2]. Однако следует заметить, что поскольку систему управления АВО масла оснащают датчиком, измеряющим среднюю температуру масла на выходе теплообменника, то для синтеза системы совершенно не важно знать распределение температур по радиусу и длине трубки. Этот вывод позволяет перейти к рассмотрению процесса теплообмена в АВО масла как объекта с сосредоточенными параметрами и воспользоваться при выводе передаточных функций законами сохранения энергии и теплового баланса.

Процессы тепломассопереноса, протекающие в теплообменном аппарате, описываются системой нелинейных уравнений [3]

Сергей Викторович Алимов, первый заместитель начальника департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром».

Людмила Алексеевна Мигачева (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Материаловедение и товарная экспертиза».

Андрей Римович Титов, заместитель генерального директора ДООАО «Центрэнергогаз».

$$\left. \begin{aligned} G_M \rho_M C_M (T_M - T_{M.вх}) + m_M C_M \frac{dT_M}{dt} + \alpha_M F_{вн} (T_M - T_{mp}) &= 0; \\ m_{mp} C_{mp} \frac{dT_{mp}}{dt} - \alpha_M F_{вн} (T_M - T_{mp}) + \alpha_в F_{нар} (T_{mp} - T_в) &= 0; \\ G_в \rho_в C_в (T_в - T_{в.вх}) &= \alpha_в F_{нар} (T_{mp} - T_в), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где G_M и $G_в$ – объемные расходы масла и воздуха; ρ_M и $\rho_в$ – плотности масла и воздуха; C_M и $C_в$ – удельные теплоемкости масла и воздуха; m_M и m_{mp} – массы масла и трубки; α_M – коэффициент теплоотдачи от масла к стенке трубки теплообменника; $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к воздуху; $F_{вн}$ и $F_{нар}$ – внутренняя и наружная площади теплообмена; T_M и $T_в$ – средние значения температур масла и воздуха на выходе аппарата воздушного охлаждения; $T_{M.вх}$ и $T_{в.вх}$ – средние значения температур масла и воздуха на входе аппарата воздушного охлаждения; T_{mp} – средняя температура трубки теплообменника; t – время.

Первое и третье уравнения системы (1) отражают закон сохранения мощности тепловых потоков масла и воздуха соответственно. Второе уравнение представляет собой баланс тепла, подведенного к трубке, отданного воздуху и аккумулированному в материале теплообменника.

Входным управляющим воздействием в АВО масла является объемный расход воздуха $G_в$, регулируемой координатой – средняя температура масла на выходе теплообменника T_M . К возмущающим воздействиям следует отнести изменения температур масла $T_{M.вх}$ и $T_{в.вх}$ воздуха на входе аппарата воздушного охлаждения, а также вариацию объемного расхода масла G_M .

Система уравнений (1) показывает, что процесс теплообмена в АВО масла представляет собой нелинейный объект управления. Нелинейность определяется прежде всего перемножением переменных $G_в$ и $T_в$, G_M и T_M . Кроме того, известно, что коэффициенты теплоотдачи α_M и $\alpha_в$ являются нелинейными функциями скорости движения соответствующей среды, то есть функциями G_M и $G_в$. Тем не менее для обоснованного синтеза системы управления АВО масла и выбора параметров регуляторов найдем линеаризованное представление процесса теплообмена как объекта управления. Предположим, что объемный расход G_M масла постоянен и в районе некоторой рабочей точки с параметрами $G_{в0}$, $T_{в0}$ и $T_{в.вх0}$ процесс характеризуется постоянными коэффициентами теплоотдачи. Тогда, переходя в (1) к приращениям, разлагая основные нелинейности в степенной ряд Тейлора и ограничиваясь первыми членами разложения, получим линеаризованную систему уравнений, описывающих динамику процесса теплообмена в аппарате воздушного охлаждения:

$$\left. \begin{aligned} (G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{вн}) \Delta T_M - G_M \rho_M C_M \Delta T_{M.вх} + m_M C_M \frac{d\Delta T_M}{dt} - \alpha_M F_{вн} \Delta T_{mp} &= 0; \\ m_{mp} C_{mp} \frac{d\Delta T_{mp}}{dt} - \alpha_M F_{вн} \Delta T_M + \alpha_M F_{вн} \Delta T_{mp} + \alpha_в F_{нар} \Delta T_{mp} - \alpha_в F_{нар} \Delta T_в &= 0; \\ \rho_в C_в (T_{в0} - T_{в.вх0}) \Delta G_в + (G_{в0} \rho_в C_в + \alpha_в F_{нар}) \Delta T_в - G_{в0} \rho_в C_в \Delta T_{в.вх} &= \alpha_в F_{нар} \Delta T_{mp}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Заменяя операцию дифференцирования символом $p = \frac{d}{dt}$, запишем (2) в операторной форме:

$$\left. \begin{aligned} (m_M C_M p + G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{\text{вн}}) \Delta T_M - G_M \rho_M C_M \Delta T_{\text{м.ех}} - \alpha_M F_{\text{вн}} \Delta T_{\text{мп}} &= 0; \\ (m_{\text{мп}} C_{\text{мп}} p + \alpha_M F_{\text{вн}}) \Delta T_{\text{мп}} - \alpha_M F_{\text{вн}} \Delta T_M + \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{мп}} - \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{е}} &= 0; \\ \rho_{\text{е}} C_{\text{е}} (T_{\text{е}0} - T_{\text{е.ех}0}) \Delta G_{\text{е}} + (G_{\text{е}0} \rho_{\text{е}} C_{\text{е}} + \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}}) \Delta T_{\text{е}} - G_{\text{е}0} \rho_{\text{е}} C_{\text{е}} \Delta T_{\text{е.ех}} &= \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{мп}}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Системе (3) соответствует линейризованная структурная схема процесса теплообмена как объекта управления (рис. 1).

Полученные уравнения позволяют найти передаточные функции процесса теплообмена по отношению к управляющему и возмущающим воздействиям. Применим принцип суперпозиции и положим в (3) $\Delta T_{\text{е.ех}} = 0$, $\Delta T_{\text{м.ех}} = 0$:

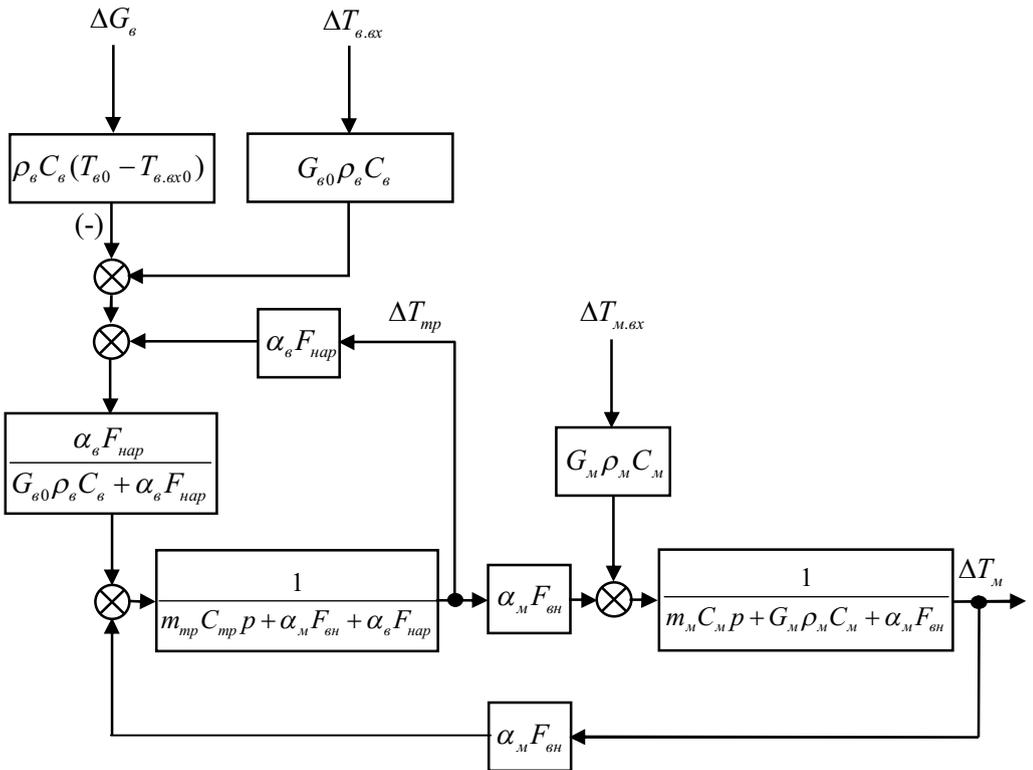


Рис. 1. Линейризованная структурная схема процесса теплообмена как объекта управления

$$\left. \begin{aligned} (m_M C_M p + G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{\text{вн}}) \Delta T_M - \alpha_M F_{\text{вн}} \Delta T_{\text{мп}} &= 0; \\ (m_{\text{мп}} C_{\text{мп}} p + \alpha_M F_{\text{вн}}) \Delta T_{\text{мп}} - \alpha_M F_{\text{вн}} \Delta T_M + \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{мп}} - \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{е}} &= 0; \\ \rho_{\text{е}} C_{\text{е}} (T_{\text{е}0} - T_{\text{е.ех}0}) \Delta G_{\text{е}} + (G_{\text{е}0} \rho_{\text{е}} C_{\text{е}} + \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}}) \Delta T_{\text{е}} &= \alpha_{\text{е}} F_{\text{нар}} \Delta T_{\text{мп}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Система уравнений (4) позволяет найти передаточную функцию объекта по от-

ношению к управляющему воздействию ΔG_ϵ . Выразим из третьего уравнения (4) ΔT_ϵ :

$$\Delta T_\epsilon = \frac{\alpha_\epsilon F_{нар}}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \Delta T_{mp} - \frac{\rho_\epsilon C_\epsilon (T_{\epsilon 0} - T_{\epsilon.вх0})}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \Delta G_\epsilon$$

и подставим эту промежуточную переменную во второе уравнение (4):

$$(m_{mp} C_{mp} p + \alpha_m F_{вн}) \Delta T_{mp} - \alpha_m F_{вн} \Delta T_M + \alpha_\epsilon F_{нар} \Delta T_{mp} - \frac{\alpha_\epsilon^2 F_{нар}^2}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \Delta T_{mp} + \frac{\alpha_\epsilon F_{нар} \rho_\epsilon C_\epsilon (T_{\epsilon 0} - T_{\epsilon.вх0})}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \Delta G_\epsilon = 0 \quad (5)$$

Выразим из (5) ΔT_{mp} :

$$\Delta T_{mp} = \frac{\alpha_m F_{вн}}{\left(m_{mp} C_{mp} p + \alpha_m F_{вн} + \alpha_\epsilon F_{нар} - \frac{\alpha_\epsilon^2 F_{нар}^2}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \right)} \Delta T_M - \frac{\alpha_\epsilon F_{нар} \rho_\epsilon C_\epsilon (T_{\epsilon 0} - T_{\epsilon.вх0})}{\left(m_{mp} C_{mp} p + \alpha_m F_{вн} + \alpha_\epsilon F_{нар} - \frac{\alpha_\epsilon^2 F_{нар}^2}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \right) (G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар})} \Delta G_\epsilon$$

Подставив это значение в первое уравнение системы (4), после несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} & \left\{ m_{mp} C_{mp} m_M C_M p^2 + \left[m_M C_M \left(\alpha_m F_{вн} + \alpha_\epsilon F_{нар} - \frac{\alpha_\epsilon^2 F_{нар}^2}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + m_{mp} C_{mp} (G_M \rho_M C_M + \alpha_m F_{вн}) \right] p + (G_M \rho_M C_M + \alpha_m F_{вн}) \times \right. \\ & \left. \times \left(\alpha_m F_{вн} + \alpha_\epsilon F_{нар} - \frac{\alpha_\epsilon^2 F_{нар}^2}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \right) - \alpha_m^2 F_{вн}^2 \right\} \Delta T_M = \\ & = - \frac{\alpha_m F_{вн} \alpha_\epsilon F_{нар} \rho_\epsilon C_\epsilon (T_{\epsilon 0} - T_{\epsilon.вх0})}{(G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар})} \Delta G_\epsilon \end{aligned} \quad (6)$$

Переходя в (6) к преобразованиям Лапласа и обозначая $T_M(p) = L\{\Delta T_M\}$, $G_\epsilon(p) = L\{\Delta G_\epsilon\}$, найдем передаточную функцию процесса теплообмена по отношению к управляющему воздействию:

$$W_y(p) = \frac{T_M(p)}{G_\epsilon(p)} = - \frac{k_G}{a_0 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (7)$$

$$\text{где } k_G = \frac{\alpha_m F_{вн} \alpha_\epsilon F_{нар} \rho_\epsilon C_\epsilon (T_{\epsilon 0} - T_{\epsilon.вх0})}{(G_M \rho_M C_M + \alpha_m F_{вн}) \left(\alpha_m F_{вн} + \alpha_\epsilon F_{нар} - \frac{\alpha_\epsilon^2 F_{нар}^2}{G_{\epsilon 0} \rho_\epsilon C_\epsilon + \alpha_\epsilon F_{нар}} \right) - \alpha_m^2 F_{вн}^2};$$

$$a_0 = \frac{m_M C_M m_{mp} C_{mp}}{(G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{вн}) \left(\alpha_M F_{вн} + \alpha_6 F_{нар} - \frac{\alpha_6^2 F_{нар}^2}{G_{60} \rho_6 C_6 + \alpha_6 F_{нар}} \right) - \alpha_M^2 F_{вн}^2} ;$$

$$a_1 = \frac{m_M C_M \left(\alpha_M F_{вн} + \alpha_6 F_{нар} - \frac{\alpha_6^2 F_{нар}^2}{G_{60} \rho_6 C_6 + \alpha_6 F_{нар}} \right) + m_{mp} C_{mp} (G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{вн})}{(G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{вн}) \left(\alpha_M F_{вн} + \alpha_6 F_{нар} - \frac{\alpha_6^2 F_{нар}^2}{G_{60} \rho_6 C_6 + \alpha_6 F_{нар}} \right) - \alpha_M^2 F_{вн}^2} .$$

Вид передаточной функции (7) показывает, что процесс охлаждения масла в аппарате воздушного охлаждения представляет собой динамическое звено второго порядка. Анализ корней знаменателя (7) во всем возможном диапазоне изменения параметров показывает, что эту передаточную функцию можно представить в виде двойного аperiodического звена

$$W_y(p) = \frac{T_M(p)}{G_6(p)} = - \frac{k_G}{(T_{11}p + 1)(T_{22}p + 1)} ,$$

$$\text{где } T_{11} = \frac{2a_0}{a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_0}} ; T_{22} = \frac{2a_0}{a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_0}} .$$

Полагая в (3) $\Delta T_{6,ex} = 0$, $\Delta G_6 = 0$, аналогичным образом найдем передаточную функцию $W'_{61}(p)$ по отношению к возмущающему воздействию $\Delta T_{6,ex}$:

$$W'_{61}(p) = \frac{T_M(p)}{T_{6,ex}(p)} = \frac{k_{61}(b_0p + 1)}{a_0p^2 + a_1p + 1} , \quad (8)$$

$$\text{где } k_{61} = \frac{G_M \rho_M C_M \left(\alpha_M F_{вн} + \alpha_6 F_{нар} - \frac{\alpha_6^2 F_{нар}^2}{G_{60} \rho_6 C_6 + \alpha_6 F_{нар}} \right)}{\left[(G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{вн}) \left(\alpha_M F_{вн} + \alpha_6 F_{нар} - \frac{\alpha_6^2 F_{нар}^2}{G_{60} \rho_6 C_6 + \alpha_6 F_{нар}} \right) - \alpha_M^2 F_{вн}^2 \right]} ,$$

$$b_0 = \frac{m_{mp} C_{mp}}{\alpha_M F_{вн} + \alpha_6 F_{нар} - \frac{\alpha_6^2 F_{нар}^2}{G_{60} \rho_6 C_6 + \alpha_6 F_{нар}}} .$$

Формула (8) противоречит физическому смыслу процессов, протекающих в АВО. Действительно, при выводе передаточных функций предполагалось, что в аппарате осуществляется только конвективный теплообмен, а передача тепла теплопроводностью отсутствует. Поэтому при вариации температуры масла на входе трубки теплообменника температура на выходе может измениться только через время:

$$\tau = \frac{L_{mp}}{V_M} ,$$

где V_m – средняя скорость движения масла по трубопроводу, L_{mp} – длина трубки теплообменника.

Для исключения возникшего противоречия формулу (8) необходимо дополнить звеном запаздывания с постоянной времени τ . При этом следует учесть, что при движении масла по трубке теплообменника за время τ происходит его охлаждение. Предполагая, что изменение температуры происходит в соответствии с (8), найдем ее значение в момент времени $t = \tau$ при скачкообразном виде рассматриваемого возмущения. Для этого воспользуемся таблицами обратных преобразований Лапласа [4]. Величина приращения температуры масла на выходе относительно исходной (существующей до приложения возмущающего воздействия) в момент времени τ составит

$$\Delta T_{m,ex}(\tau) = k_{\epsilon 1} \left(1 + C_1 e^{-\frac{\tau}{T_{11}}} + C_2 e^{-\frac{\tau}{T_{22}}} \right) \Delta T_{m,ex}, \quad (9)$$

где $\Delta T_{m,ex}$ – приращение температуры масла на входе в теплообменник,

$$C_1 = \frac{b_0 - T_{11}}{T_{11} - T_{22}}, \quad C_2 = \frac{T_{22} - b_0}{T_{11} - T_{22}}.$$

С учетом (9) на выходе АВО сформируется температура масла в момент времени $t = \tau$. Дальнейшее изменение температуры будет происходить с учетом ненулевых начальных условий $\Delta T_m(\tau)$ и $\frac{dT_m}{dt}(\tau)$ (поскольку динамические свойства АВО описываются характеристическим полиномом второго порядка). При ступенчатом изменении температуры масла на входе начальное условие $\frac{dT_m}{dt}(\tau)$ вычисляется по формуле

$$\frac{dT_m}{dt}(\tau) = -k_{\epsilon 1} \left(\frac{C_1}{T_1} e^{-\frac{\tau}{T_{11}}} + \frac{C_2}{T_2} e^{-\frac{\tau}{T_{22}}} \right) \Delta T_{m,ex}.$$

С учетом ненулевых начальных условий можно записать уравнение движения рассматриваемого объекта управления:

$$\begin{aligned} (a_0 p^2 + a_1 p + 1) T_m(p) - \left[a_0 \Delta T_m(\tau) p + a_1 \Delta T_m(\tau) + a_0 \frac{dT_m}{dt}(\tau) \right] = \\ = k_{\epsilon 1} (b_0 p + 1) T_{m,ex}(p) - k_{\epsilon 1} b_0 \Delta T_{m,ex}(\tau) \end{aligned}$$

При подаче возмущения вида

$$T_{m,ex}(p) = \frac{\Delta T_{m,ex}}{p} \quad (10)$$

последнее выражение после несложных преобразований примет вид

$$T_m(p) = \frac{a_0 \Delta T_m(\tau) p^2 + \left[a_1 \Delta T_m(\tau) p + a_0 \frac{dT_m}{dt}(\tau) \right] p + k_{\epsilon 1} \Delta T_{m,ex}}{(a_0 p^2 + a_1 p + 1) p}$$

или

$$T_M(p) = \frac{\frac{a_0 \Delta T_M(\tau)}{\Delta T_{M,ex}} p^2 + \left[\frac{a_1 \Delta T_M(\tau)}{\Delta T_{M,ex}} + \frac{a_0}{\Delta T_{M,ex}} \frac{dT_M(\tau)}{dt} \right] p + k_{e1}}{a_0 p^2 + a_1 p + 1} T_{M,ex}(p).$$

Допуская, что запаздывание дополняет динамическое звено, стоящее при $T_{M,ex}(p)$, можно получить искомую передаточную функцию объекта по отношению к возмущению – изменению температуры масла на входе в теплообменник:

$$W_{e1}(p) = \frac{T_M(p)}{T_{M,ex}(p)} = \frac{\frac{a_0 \Delta T_M(\tau)}{\Delta T_{M,ex}} p^2 + \left[\frac{a_1 \Delta T_M(\tau)}{\Delta T_{M,ex}} + \frac{a_0}{\Delta T_{M,ex}} \frac{dT_M(\tau)}{dt} \right] p + k_{e1}}{a_0 p^2 + a_1 p + 1} e^{-\tau p}. \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой приближенное решение, полученное в рамках сделанных предположений и допущений. Формула (11) требует уточнения, в частности, при другом виде $T_{M,ex}(p)$, отличном от (10).

Если принять в (3) $\Delta T_{M,ex} = 0$, $\Delta G_e = 0$, то можно найти передаточную функцию объекта по отношению к другому возмущающему воздействию – изменению входной температуры охлаждающего воздуха $\Delta T_{e,ex}$:

$$W_{e2}(p) = \frac{T_M(p)}{T_{e,ex}(p)} = \frac{k_{e2}}{a_0 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (12)$$

$$\text{где } k_{e2} = \frac{\alpha_M F_{вн} \alpha_e F_{нар} G_{e0} \rho_e C_e}{G_{e0} \rho_e C_e + \alpha_e F_{нар}} \cdot \left(G_M \rho_M C_M + \alpha_M F_{вн} \right) \left(\alpha_M F_{вн} + \alpha_e F_{нар} - \frac{\alpha_e^2 F_{нар}^2}{G_{e0} \rho_e C_e + \alpha_e F_{нар}} \right) - \alpha_M^2 F_{вн}^2.$$

Передаточные функции (7), (11) и (12) могут использоваться при синтезе системы управления АВО масла, причем их адекватность реальному процессу подтверждается численным моделированием и результатами [5] экспериментов. Действительно, для АВО масла типа 06-10 с параметрами

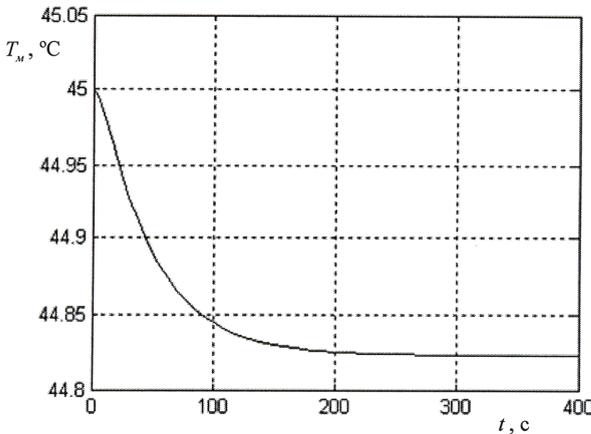


Рис. 2. График переходного процесса, построенный по передаточной функции (13)

причем их адекватность реальному процессу подтверждается численным моделированием и результатами [5] экспериментов. Действительно, для АВО масла типа 06-10 с параметрами

$$G_{e0} = 13,6 \text{ м}^3/\text{с}; G_M = 0,0166 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\rho_M = 843 \text{ кг}/\text{м}^3; \rho_e = 1,1839 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$C_M = 1670 \text{ Дж}/\text{кгК}; C_{mp} = 460$$

$$\text{Дж}/\text{кгК}; C_e = 1005 \text{ Дж}/\text{кгК};$$

$$m_M = 434 \text{ кг}; m_{mp} = 1215 \text{ кг};$$

$$\alpha_M = 286 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}; \alpha_e = 11 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$$

$$T_{e0} = 36,83 \text{ }^\circ\text{C}; T_{e,ex0} = 25 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$F_{вн} = 144 \text{ м}^2; F_{нар} = 1135 \text{ м}^2$$

передаточная функция (7) примет вид

$$W_y(p) = -\frac{0,1781}{286,0733p^2 + 50,1418p + 1} \quad (13)$$

График, построенный по формуле (13), показывает, что время переходного процесса составляет 178,2 с (рис. 2).

Результаты эксперимента, проведенного на том же типе аппарата [5], свидетельствуют, что при отключении и последующем включении одного из вентиляторов АВО температура восстанавливается за 200 с. Погрешность расчетов по сравнению с экспериментальными данными составляет 10,9 %. Основная причина расхождений, по всей видимости, заключается в том, что эксперимент проводился при включении вентилятора на полную скорость, а передаточные функции получены в предположении малого отклонения величин от рабочей точки. Кроме того, результаты компьютерного моделирования не учитывают инерционность асинхронного электродвигателя привода вентилятора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
2. Россеев Н.Н., Данилушкин И.А., Кузнецов П.К. Модель распределения температуры масла в аппарате воздушного охлаждения // Труды III Всероссийской научной конференции (29–31 мая 2006 г.). Ч. 2. Моделирование и оптимизация динамических систем и систем с распределенными параметрами. Матем. моделирование и краев. задачи. – Самара: СамГТУ, 2006. – С. 142-144.
3. Щербинин С.В. Информационно-измерительная и управляющая система аппаратов воздушного охлаждения газа // Дисс. ... к.т.н. – Уфа: Уфимск. гос. нефт. техн. ун-т, 2004. – 167 с.
4. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.
5. Россеев Н.Н. Создание энергоэффективной системы автоматического управления аппаратами воздушного охлаждения масла на основе частотно-регулируемого электропривода // Дисс. ... к.т.н. – Самара: СамГТУ, 2006. – 126 с.

Статья поступила в редакцию 9 ноября 2011 г.

TRANSFER FUNCTIONS OF HEAT EXCHANGING PROCESS IN AIR-COOLING UNIT OF OIL

S.V. Alimov¹, L.A. Migacheva², A.R. Titov³

¹ ОАО «Gazprom»
16, Nametkina st., Moscow, GSP-7, 117997

² Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

³ DOAO «Centrenergogaz»
3 str, 23, Obruchta st., Moscow, 117630

The mathematical model of heat exchanging process in air-cooling unit of oil is considered. The linearized block diagram of heat exchanging process as object of control is developed. Transfer functions of object in relation to changes of the volume expense of cooling air and oil and air temperatures on a device input are found.

Key words: *mathematical model, air-cooling unit of oil, block diagram, transfer function.*

Sergey V. Alimov, First Deputy Head of Department of Transportation, Underground Storage and Utilization.

Lyudmila A. Migacheva (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

Andrey R. Titov, Deputy General Director.