

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ
ОХЛАДИТЕЛЯ НАДУВОВОГО ВОЗДУХА

При эксплуатации судна на мелководье возникают тепловые перегрузки двигателей. С целью сохранения требуемой скорости движения судна и уменьшения теплонапряженности двигателей необходимо увеличить подачу воздуха (при увеличении подачи топлива) для чего необходимо понизить температуру воздуха подаваемого в цилиндр.

Для этого предлагается двухсекционный охладитель наддувочного воздуха (ОНВ), вторая секция которого охлаждается промежуточным охладителем (охлажденная вода или рассол), требуемая температура которого обеспечивается судовой системой кондиционирования воздуха [1]. Для анализа и синтеза системы регулирования температуры наддувочного воздуха возникает необходимость в определении соотношений, связывающих входные и выходные параметры звеньев системы и прежде всего воздухоохладителя, с помощью которого воздух доводится до требуемых температур и влагосодержаний.

Целью исследования является идентификация динамических характеристик ОНВ с влажным теплообменом, позволяющих синтезировать требуемые системы регулирования температуры наддувочного воздуха.

В качестве объекта исследования выбран ОНВ с перекрестным током сред. Геометрические характеристики воздухоохладителя – площади сечения каналов, поверхности раздела, толщина разделяющей стенки и т.п. – принимаются постоянным по осям. С целью получения аналитических решений и упрощения математического описания [2] процессы воздухоохладителя принимаются следующие допущения:

критериальные уравнения массообмена подобны критериальным уравнениям, описывающим процессы теплоотдачи, т.е. справедливо соотношение Люиса $\sigma C_p / \alpha = 1$ (σC_p – массообменный коэффициент, α – коэффициент теплоотдачи);

процесс выпадения влаги происходит по всей наружной поверхности воздухоохладителя (со стороны воздуха) при любых режимах работы;

физические свойства рабочих сред и материалов разделяющей стенки отнесены к некоторым средним температурам и давлениям и постоянны вдоль оси;

теплообмен с наружной средой отсутствует;

термическое сопротивление пленки конденсата на поверхности разделяющей стенки пренебрежимо мало;

в металле теплопередающей поверхности отсутствует осевой тепловой поток;

в однофазных средах аппарата не учитывается изменение плотности и теплоемкости рабочих тел;

коэффициенты теплоотдачи принимаются также постоянными по пространственным координатам. Их изменение от возмущений расходом сред рассматриваются в линейной форме;

тепловое сопротивление стенки по толщине конечно и учитывается в коэффициентах теплоотдачи;

линия насыщения в $d-i$ – диаграмме ($\varphi = 100\%$) приближенно описывается прямой $d_n = a\theta_{ст} + b$ в диапазоне изменения температур стенки (d_n – влагосодержание на линии насыщения, $\theta_{ст}$ – температура стенки, a и b – коэффициенты).

Рассмотрим элемент длиной Δy по воздуху (рис.), в котором температура воздуха изменяется на $(\theta_{y+\Delta y} - \theta_y)$, а влагосодержание – на $(d_{y+\Delta y} - d_y)$, в связи с чем баланс количества теплоты для массы влажного воздуха представляется в виде:

$$G_B C_B (\theta_{y+\Delta y} - \theta_y) + G_B \frac{d_y}{1000} C_n (\theta_{y+\Delta y} - \theta_y) + G_B \frac{(d_{y+\Delta y} - d_y)}{1000} C_n (\theta_B - \theta_{см}) = \alpha_{в.пр.} f_B \Delta y (\theta_y - \theta_{см}). \quad (1)$$

Правая часть уравнения (1) это тепло, подводимое к элементу поверхности. В левой части уравнения первый член выражает количество теплоты, выделяющееся при охлаждении потока сухого воздуха на $(\theta_{y+\Delta y} - \theta_y)$; второй – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении $G_B d_y / 1000$ (кг/г) водяного пара на $(\theta_{y+\Delta y} - \theta_y)$; третий – количество теплоты, выделяющейся при охлаждении $[G_B (d_{y+\Delta y} - d_y)] / 1000$ (кг/г) перегретого водяного пара от θ_y до $\theta_{ст}$. Это количество пара конденсируется на элементе поверхности в виде росы. Величина $d_y C_n / 1000$ пренебрежимо мала по сравнению с C_B , поэтому количеством тепла, выделяющегося при охлаждении пара, можно пренебречь. Пренебрегая весьма малыми членами и после ряда преобразований уравнение (1) в дифференциальной форме:

$$-T_B \frac{\partial \theta_B}{\partial t} - \frac{HG_B C_B}{\alpha_{B,пр} F_B} \frac{\partial \theta_B}{\partial y} = \theta_B - \theta_{ст}, \quad (2)$$

где T_B – постоянная времени, $T_B = g_B C_B / \alpha_{B,пр} F_B$; $g_B = \rho_B H f_B$ – масса воздуха (кг); f_B – площадь поперечного сечения ОНВ по воздуху; θ_B – температура воздуха; ρ_B – плотность воздуха; C_B – теплоемкость сухого воздуха; $\alpha_{B,пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха; F_B – теплообменная поверхность со стороны воздуха.

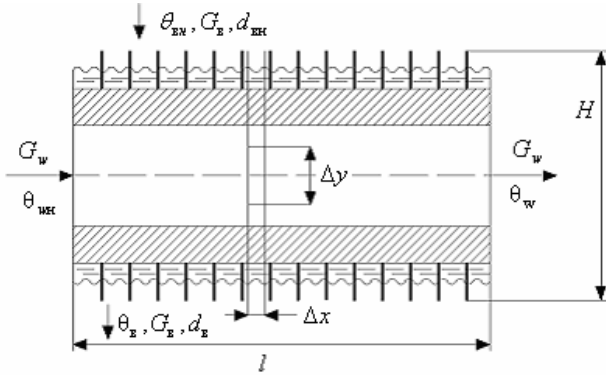


Рис. Схема процессов на элементарной поверхности

Масса пара, подводимого к элементу поверхности и конденсирующегося на ней, равна массе пара, отдаваемого воздухом:

$$G_B (d_y - d_{y+\Delta y}) = \frac{\beta_{\Delta d} F}{H} (d - d^*) \Delta y. \quad (3)$$

Влагодержание на линии насыщения d_n (при $\phi = 100\%$) приближенно можно описать $d_n = a\theta_{ст} + v$ в небольшом диапазоне изменения температур поверхности стенки (для диапазона температур $0 - 20^\circ\text{C}$). Как уже отмечалось в допущениях, при охлаждении и осушении воздуха соблюдается соотношения Люиса, поэтому можно записать что $\beta_{\Delta d} F / H = \alpha F_B / H C_B$.

В работе [4] для условий выпадения влаги в виде инея на пластине показано, что процессы тепло - и массообмена при выпадении влаги в виде росы и инея сходны между собой, т.е. $C_B \beta_{\Delta d} / \alpha_{B,пр} = 1$.

Вследствие этого уравнение (3) после преобразований можно записать в дифференциальной форме:

$$-T_B \frac{\partial d}{\partial t} - \frac{HG_B C_B}{\alpha_{в.пр} F_B} \frac{\partial d}{\partial y} = d - (a\theta_{ст} + в). \quad (4)$$

где d - влагосодержание воздуха; H - длина пути по воздуху; G_B - массовый расход воздуха.

Общее количество теплоты, подводимой к поверхности теплообмена, равно количеству теплоты, отдаваемой потоком воздуха и скрытому количеству теплоты сконденсированной влаги. Эта теплота через теплообменную поверхность передается хладагенту (промежуточному теплоносителю). Поэтому уравнение аккумуляции теплоты в стенке [2]:

$$T_{ст} \frac{\partial \theta_{ст}}{\partial t} = \theta_в - \theta_{ст} + \rho [d - (a\theta_{ст} + в)] - \frac{\alpha_w F_w}{\alpha_{в.пр} F_B} (\theta_{ст} - \theta_w), \quad (5)$$

где $T_{ст}$ - постоянная времени, $T_{ст} = g_{ст} C_{ст} / \alpha_{в.пр} F_B$; $\rho = r / 1000 C_{вл}$ (град·кг/г); $g_{ст}$ - масса металла стенки, кг; $\theta_{ст}$ - температура стенки; $C_{вл}$ - теплоемкость влажного воздуха; $C_{ст}$ - теплоемкость металла стенки; r - скрытая теплота парообразования.

Как отмечалось ранее, влагосодержание $d_{ст}$ и температуры поверхности $\theta_{ст}$ на линии насыщения связаны уравнением $d_{ст} = a\theta_{ст} + в$. При изменении температур в диапазоне $6 \dots 12^\circ C$ можно с достаточной для практических расчетов точностью принять $a=0,58$ г/град·кг и $в=2,2$ г/кг.

Общее количество теплоты, передаваемой от стенки к хладагенту, полностью расходуется на повышение температуры последнего и уравнение принимает вид:

$$T_w \frac{\partial \theta_w}{\partial t} + \frac{l G_w C_w}{\alpha_w F_w} \frac{\partial \theta_w}{\partial X} = \theta_{ст} - \theta_w, \quad (6)$$

где T_w - постоянная времени, $T_w = g_w C_w / \alpha_w F_w$; $g_w = \rho_w l f_w$ - масса хладагента, кг; f_w - площадь поперечного сечения по хладагенту; θ_w - температура хладагента; G_w - расход хладагента; l - длина; ρ_w - плотность хладагента; F_w - теплообменная поверхность по хладагенту; C_w - теплоемкость хладагента; α_w - коэффициент теплоотдачи.

Полученная система уравнений (2, 4, 5, 6) при решении в двумерном пространстве, чрезвычайно сложна. Обратные преобразования Лапласа приводят к Бесселевым функциям, решения которых возмож-

ны только численными методами. Поэтому целесообразно математическую модель ОНВ с влажным теплообменом по воздуху рассматривать как модель с сосредоточенными параметрами [2, 3].

Система уравнений (2 - 6) нелинейная. Поэтому, выполнив линеаризацию системы, разложением в ряд Маклорена и с учетом, что

$$\alpha_{\text{в.пр.}} = \alpha_{\text{в.пр.0}} + \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 \Delta G_{\text{B}} \text{ и } \alpha_w = \alpha_{w0} + \left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right) \Delta G_w,$$

после ряда преобразований получим:

$$-T_{\text{B}} \frac{\partial \Delta \theta_{\text{B}}}{\partial t} - \text{B}_2 \Delta \theta_{\text{B}} = \text{B}_2 \Delta \theta_{\text{вн}} - 2\theta_{\text{ст}} + \text{B}_3 \Delta G_{\text{B}}; \quad (7)$$

$$-T_{\text{B}} \frac{\partial \Delta d}{\partial t} - d_2 \Delta d = d_2 \Delta d_{\text{H}} - 2a \Delta \theta_{\text{ст}} + d_3 \Delta G_{\text{B}}; \quad (8)$$

$$T_{\text{ст}} \frac{\partial \Delta \theta_{\text{ст}}}{\partial t} + C_2 \Delta \theta_{\text{ст}} = C_1 \Delta \theta_w + 0,5 \Delta \theta_{\text{B}} + 0,5 \Delta \theta_{\text{вн}} + 0,5 \rho d + 0,5 \rho d_{\text{H}} + C_4 \Delta G_{\text{B}} - C_3 \Delta G_w; \quad (9)$$

$$T_w \frac{\partial \Delta \theta_w}{\partial t} + a_1 \frac{\Delta \theta_w}{\partial \bar{x}} + \Delta \theta_w = \Delta \theta_{\text{ст}} + a_2 \Delta G_w, \quad (10)$$

где \bar{x} - безразмерная координата по хладоносителю, $\bar{x} = x/l$;

$$\text{B}_1 = \frac{2G_{\text{B}}C_{\text{B}}}{\alpha_{\text{в.пр.}}F_{\text{B}}}; \quad \text{B}_2 = 1 + \epsilon_1;$$

$$\text{B}_3 = \frac{2}{\alpha_{\text{в.пр.}}} \left(\frac{\theta_{\text{B}} + \theta_{\text{вн}}}{2} - \theta_{\text{ст}} \right)_0 \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 + \frac{2C_{\text{B}}}{\alpha_{\text{в.пр.}}F_{\text{B}}} (\theta_{\text{B}} + \theta_{\text{вн}})_0; \quad d_2 = 1 + \text{B}_1;$$

$$d_3 = \frac{2}{\alpha_{\text{в.пр.}}} \left[\left(\frac{d + d_{\text{H}}}{2} - (a\theta_{\text{ст}} + \text{B})_0 \right) \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 + \frac{C_{\text{B}}}{F_{\text{B}}} (d + d_{\text{H}})_0 \right];$$

$$C_1 = \frac{\alpha_w F_w}{\alpha_{\text{в.пр.}} F_{\text{B}}}; \quad C_2 = C_1 + 1 + \rho a;$$

$$C_3 = \frac{F_w}{\alpha_{\text{в.пр.}} F_{\text{B}}} (\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0 \left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right)_0;$$

$$C_4 = \frac{1}{\alpha_{\text{в.пр.}}} \left[\left(\frac{\theta_{\text{B}} + \theta_{\text{вн}}}{2} - \theta_{\text{ст}} \right)_0 + \rho \left(\frac{d + d_{\text{H}}}{2} - (a\theta_{\text{ст}} + \text{B})_0 \right) \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 \right];$$

$$a_1 = C_1; \quad a_2 = \frac{1}{\alpha_w} (\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0 \left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right)_0 - \frac{C_w}{\alpha_w F_w} \left(\frac{\partial \theta_w}{\partial \bar{x}} \right)_0.$$

Выполнив прямое преобразование Лапласа по времени $d/dt = p$ и пространственной координате $d/d\bar{x} = s$ при нулевых начальных условиях и ограничениях первого рода при условии внесения возмущений по G_w и G_g скачком – систему уравнений (7 - 10) запишем в виде:

$$A(p)\Delta\theta_b(0, p) = a_1(p)\Delta\theta_{BH}(0, p) - a_2(p)\Delta\theta_w(s, p) - a_3(p)\Delta d(0, p) - a_3(p)\Delta d_H(0, p) + a_4(p)\Delta G_B(0, p) + \frac{1}{S}a_5(p)\Delta G_w(s, p), \quad (11)$$

где

$$A(p) = \left[\frac{1}{T_{CT} p + C_2} - (T_B p + B_2) \right]; \quad a_1(p) = \left(B_2 - \frac{1}{T_{CT} p C_2} \right);$$

$$a_2(p) = \frac{2C_1}{T_{CT} p + C_2}; \quad a_3(p) = \frac{\rho}{T_{CT} p + C_2}; \quad a_4(p) = \left(B_3 - \frac{2C_4}{T_{CT} p + C_2} \right);$$

$$a_5(p) = \frac{2C_3}{T_{CT} p + C_2}.$$

$$D(p)\Delta d(0, p) = d_1(p)\Delta d_H(0, p) - a_2(p)\Delta\theta_w(s, p) - d_3(p)\Delta\theta_b(0, p) - d_3(p)\Delta\theta_{BH}(0, p) + d_4(p)\Delta G_B(0, p) + \frac{1}{S}a_5(p)\Delta G_w(s, p); \quad (12)$$

$$D(p) = \left[\frac{\rho}{T_{CT} p + C_2} - (T_B p + d_2) \right]; \quad d_1(p) = \left(d_2 - \frac{\rho}{T_{CT} p + C_2} \right);$$

$$d_2(p) = \frac{2C_1}{T_{CT} p + C_2}; \quad d_3(p) = \frac{1}{T_{CT} p + C_2}; \quad d_4(p) = \left(d_3 - \frac{2C_4}{T_{CT} p + C_2} \right);$$

$$[a, s + B(p)]\Delta\theta_w(s, p) = B_1(p)\Delta\theta_{BH}(0, p) + B_1(p)\Delta\theta_b(0, p) + B_2(p)\Delta d_H(0, p) + B_2(p)\Delta d(0, p) + B_2(p)\Delta d_H(0, p) + \frac{B_3(p)}{S}\Delta G_w(s, p) + B_4(p)\Delta G_B(0, p); \quad (13)$$

$$\left[(T_w p + 1) - \frac{C_1}{T_{CT} p + C_2} \right] = B(p); \quad B_1(p) = \frac{0,5}{T_{CT} p + C_2};$$

$$B_2(p) = \frac{0,5\rho}{T_{CT} p + C_2}; \quad B_3(p) = \left(a_2 - \frac{C_3}{T_{CT} p + C_2} \right); \quad B_4(p) = C_4 / T_{CT} p + C_2.$$

Итак, получена система из трех алгебраических уравнений, решение которой выполним, используя правило Крамера [2] запишем в ви-

де:

$$\theta_{\kappa}(s, p) = \frac{\Delta_{\text{пк}}(s, p)}{\Delta(s, p)}, \quad (14)$$

где $\kappa = 1 \dots 3$, $\Delta(s, p)$ – определитель системы, а $\Delta_{\text{пк}}(s, p)$ – миноры системы, раскладывая которые по элементам κ -го столбца, которыми являются возмущающие функции $F_n(p)$ получим передаточные функции рассмотренной системы по κ -му каналу при n -м возмущающем воздействии.

$$W(s, p)_{\text{пк}} = \frac{\theta_{\text{пк}}(s, p)}{F_n(0, p)} = \frac{K_{\text{пк}}(s, p)}{\Delta(s, p)}. \quad (15)$$

Согласно выражения (15)

$$W_1(s, p) = \frac{\Delta\theta_{\text{в}}(s, p)}{\Delta\theta_{\text{вн}}(o, p)} = \frac{S + \frac{a_1(p)D(p)B(p) + a_3(p)d_3(p)B(p) + E_1(p)}{[a_1(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}}{S + \frac{A(p)D(p)B(p) + E(p) + a_3(p)d_3(p)B(p)}{[A(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}}, \quad (16)$$

где

$$E_1(p) = a_2(p)[a_1(p)v_2(p) - a_3(p)v_1(p) + d_3(p)v_2(p) + v_1(p)D(p)];$$

$$E(p) = a_2(p)[A(p)v_2(p) - a_3(p)v_1(p) + d_3(p)v_2(p) + v_1(p)D(p)]$$

или

$$W_9(s, p) = \frac{\Delta d(s, p)}{\Delta G_6(0, p)} = \frac{S(A(p)d_4(p)a_1 - d_4(p)d_3(p))a_1}{S + \frac{A(p)D(p)B(p) + E(p) + a_3(p)d_3(p)B(p)}{[A(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}}. \quad (17)$$

Таким образом полученные передаточные функции (15) будут являться функциями Лаплас образа по пространственной координате \bar{x} и времени – t .

В дальнейшем выполним обратное преобразование Лапласа $L^{-1}[K_{\text{пк}}(s, p)/\Delta(s, p)]s = s$, зависимых переменных в комплексной плоскости s и перейдем от изображения к оригиналу по пространственной переменной \bar{x} .

В результате этих преобразований получим решение системы уравнений (11 - 13) в области изображений по переменной t в виде передаточных функций

$$\frac{\Delta\theta_{\text{в}}(\bar{x}, p), \Delta d(\bar{x}, p), \Delta\theta_w(\bar{x}, p)}{j} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n K_{jki}(p) e^{-S_i(p) \cdot \bar{x}}, \quad (18)$$

где

$$k = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ \Delta\theta_B & \Delta d & \Delta\theta_w \end{vmatrix}, \quad j = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \Delta G_B & \Delta G_w & \Delta\theta_{BH} & \Delta d_H & \Delta\theta_{wH} \end{vmatrix}, \quad i = \begin{vmatrix} 1 \\ s_1(p) \end{vmatrix}.$$

Выполнив эти преобразования получим пятнадцать передаточных функций ОНВ в виде:

$$W_1(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_B(\bar{x}, p)}{\Delta\theta_{BH}(0, p)} = [\bar{C}_1(p) - \bar{C}(p)]e^{-\bar{C}(p)\bar{x}}, \quad (19)$$

где

$$\frac{a_1(p)D(p)B(p) + a_3(p)d_3(p)B(p) + E_1(p)}{[a_1(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1} = \bar{C}_1(p),$$

$$\bar{C}(p) = \frac{A(p)B(p)D(p) + E(p) + a_3(p)d_3(p)B(p)}{[A(p)B(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1};$$

$$W_3(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_B(\bar{x}, p)}{\Delta\theta_{wH}(0, p)} = a_2(p)[D(p) - a_3(p)]e^{-\bar{C}(p)\bar{x}}; \quad (20)$$

$$W_6(\bar{x}, p) = \frac{\Delta d(\bar{x}, p)}{\Delta d_H(0, p)} = \left[\bar{C}_4(p) - \bar{C}(p)e^{-\bar{C}(p)x} \right]; \quad (21)$$

$$\bar{C}_4(p) = \frac{E_6(p)}{[A(p)d_1(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}.$$

$$W_{11}(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_w(\bar{x}, p)}{\Delta\theta_{BH}(0, p)} = \{A(p) - a_1(p)[D(p)v_1(p) - d_3(p)v_2(p)]\}e^{-\bar{C}(p)x}; \quad (22)$$

$$W_{14}(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_w(\bar{x}, p)}{\Delta G_B(0, p)} = E_9(p)e^{-\bar{C}(p)\bar{x}}, \quad (23)$$

где

$$E_9(p) = D(p) \left(\begin{array}{l} A(p)v_4(p) - a_4(p)v_1(p) - \\ - A(p)v_2(p)d_4(p) + a_3(p)d_3(p)v_1(p)d_4(p) \end{array} \right).$$

Для расчетов по выше полученным передаточным функциям необходимо определить ряд зависимостей входящих в передаточные функции.

Расчет коэффициентов теплоотдачи определим из выражений [2]:

$$\alpha_{в.пр} = \frac{\alpha_{в0}}{1 + \alpha_{в0}\sigma \frac{d_2}{2\lambda_{ст}} \ln \xi}; \quad \alpha_w = \frac{\alpha_{w0}}{1 + (1 - \sigma) \frac{\alpha_{w0} d_1}{2\lambda_{ст}} \ln \xi}, \quad (24)$$

где d_1 и d_2 - внутренний и наружный диаметры трубы, $\xi = d_1/d_2$;

$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности стенки;

$$\sigma = \frac{1}{\ln \xi} \left(\frac{\xi^2}{\xi^2 - 1} \ln \xi + \frac{1}{4\xi^2} - 0,75 \right) \frac{\xi^2}{\xi^2 - 1} - \text{коэффициент определяю-}$$

щий долю сопротивления теплопроводности, отнесенную к внутренней границе;

$\alpha_{\theta_0}, \alpha_{w_0}$ - коэффициенты теплоотдачи определяемые по известным выражениям в зависимости от параметров сред при конвективном теплообмене.

Коэффициенты $(\partial \alpha_{\text{в.пр.}} / \partial G_{\text{в}})_0$ и $(\partial \alpha_w / \partial G_w)_0$ находим из выражений

$$\left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right)_0 = \frac{n \alpha_{w_0}}{G_{w_0}} \text{ и } \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{в}}} \right)_0 = \frac{m \alpha_{\text{в.пр.}}}{G_{\theta_0}}, \quad (25)$$

где n и m - показатели степени в коэффициентах теплоотдачи от расходов сред.

Производную по пространственной координате в установившемся режиме $(\partial \theta_w / \partial \bar{x})_0$ найдем из выражения

$$\left(\frac{\partial \theta_w}{\partial \bar{x}} \right)_0 = \frac{1}{a_1} (\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0, \quad (26)$$

где

$$\theta_{w_0} = \left[\left(\frac{1}{C_2} - \text{в}_2 \right) (\rho / C_2^2) \right] e^{-C(0)} \theta_{\text{вн}0}. \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \theta_{\text{см}0} = & \frac{1}{1 + \rho a + c_1} \left\{ \theta_{\text{вн}0} + \frac{1}{2} [\bar{C}_1(0) - \bar{C}(0)] e^{-\bar{C}(0)} \theta_{\text{вн}0} \right\} + \\ & + \rho \left\{ d_{\text{н}0} + \frac{1}{2} [\bar{C}_4(0) - \bar{C}(0)] e^{-\bar{C}(0)} d_{\text{н}0} \right\} - \\ & - C_1 \left\{ \left[(1/C_2 - \text{в}_2)(\rho / C_2 - d_2) + \rho / C_2^2 \right] e^{-\bar{C}(0)} \theta_{\text{вн}0} \right\} - \rho \text{в}. \end{aligned} \quad (28)$$

Параметры $(\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0$ и $(a \theta_{\text{ст}} + \text{в}_0)_0$ находим подставляя выражения (27 и 28), а $(\theta_{\text{в}} + \theta_{\text{вн}})_0$ и $(d + d_{\text{н}})_0$ найдем из следующих зависимостей:

$$(\theta_{\text{в}} + \theta_{\text{вн}})_0 = 2\theta_{\text{вн}0} + \frac{1}{2} \left[(\bar{C}_1(0) - \bar{C}(0)) e^{-\bar{C}(0)} \theta_{\text{вн}0} \right]; \quad (29)$$

$$(d + d_{\text{н}})_0 = 2d_{\text{н}0} + \frac{1}{2} \left[(\bar{C}_4(0) - \bar{C}(0)) e^{-\bar{C}(0)} d_{\text{н}0} \right], \quad (30)$$

где

$$\bar{C}_4 = \frac{E_6(0)}{\left[\left(\frac{1}{C_2} - v_2 \right) (d_2 - \rho/2) + \rho/C_2^2 \right] a_1};$$
$$\bar{C}_1 = \frac{\left(v_2 - \frac{1}{c_2} \right) (\rho/C_2 - d_2) (1 - C_1/C_2) + \rho/C_2^2 \left(1 - \frac{C_1}{C_2} \right) + E_1(0)}{[(v_2 - 1/C_2)(\rho/C_2 - d_2) + \rho/C_2^2] a_1}.$$

Идентифицированные передаточные функции являются математическим аппаратом, который дает возможность разработать требуемые системы регулирования температуры надувочного воздуха, используя аналитические методы анализа и синтеза систем.

Передаточные функции могут использоваться для моделирования процессов влияния температуры надувочного воздуха на работу двигателя при изменении условий окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпакчи Э.М., Коханский А.И. Использование двухконтурного охладителя наддува для уменьшения теплонапряженности дизелей в условиях мелководья //Судовые энергетические установки: науч. техн. сб. - 2005. - Вып. 14. – Одесса: ОНМА. - С. 11 - 20.
2. Чумак И.Г., Коханский А.И. Динамические режимы работы холодильных установок и аппаратов. - М.: Машиностроение. - 1978. - 190 с.
3. Heideman P.A., Huckaba C.E., Eisen F.S., Weissman L.J, Gallating G.M. Dynamics of convection heat exchangers //Can. I. Chem. Eng. - 1971. - №21. - P. 147 - 153.
4. Явнель Б.К. Исследование коэффициентов тепло- и массообмена произвольно обтекаемой пластины при инееобразовании. //Холодильная техника. - 1968. - № 12. - С. 13 - 17.