

УДК 629.735.062

ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

М.А. БОБРИН, Л.Г. КЛЕМИНА

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ципенко В.Г.

На основе дифференциального уравнения энергии и законов теплоотдачи Ньютона и теплопроводности Фурье получено математическое выражение зависимости температуры рабочей жидкости гидросистемы летательных аппаратов от температуры окружающей среды, скорости движения жидкости и длины трубопровода

Ключевые слова: гидравлическая система летательных аппаратов, контроль, диапазон изменения параметров.

Работа над системой контроля и диагностики гидравлической системы должна начинаться с определения мест контроля и контролируемых параметров. В гидравлической системе, прежде всего, контролируется давление, а оно зависит от сопротивления сети и величины нагрузки.

Сопротивление сети трубопроводов гидравлической системы в свою очередь зависит от вязкости жидкости, а она определяется температурой рабочего тела.

Насосы гидросистем летательных аппаратов (ЛА) располагаются на двигателях, в результате чего они нагреваются, и нагревается рабочая жидкость. Далее она, двигаясь к потребителю, попадает в негерметичные части летательного аппарата, где окружающая температура низкая (вплоть до температуры окружающей среды, т. е. $-50^{\circ}\text{C} \div -60^{\circ}\text{C}$). Для определения потерь давления или давления, контролируемого в точке, нужно знать, как изменяется вязкость в зависимости от температуры и длины трубопровода. А для этого нужно найти зависимость температуры рабочей жидкости от времени ее движения с заданной скоростью в негерметичной части ЛА, т.е. в среде, имеющей низкую температуру (контурные подсистемы потребителей), или как быстро понижается температура жидкости в тупиковых трубопроводах.

Для получения зависимости $t = f(l, v, t^{\circ}\text{C}, \dots)$ было использовано дифференциальное уравнение энергии [1]

$$\rho c_p \left(v_r \frac{\partial t}{\partial r} + v_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{\partial t}{r \partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right), \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; c_p – теплоемкость при постоянном давлении; r, x – радиус и длина трубы; v_r, v_x – составляющие скорости движения жидкости; t – температура; λ – коэффициент теплопроводности.

При небольшом радиусе трубы и достаточно большой ее длине $\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} \ll \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}$, как величиной высшего порядка малости, можно пренебречь. Кроме этого при постоянной площади поперечного сечения и стабилизированном профиле скоростей для имеющего места ламинарного режима течения в гидравлических системах $v_r = 0$. С учетом этого уравнение (1) принимает следующий вид

$$\rho c_p v_x \frac{\partial t}{\partial x} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \quad \text{или} \quad \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda} \frac{\partial t}{\partial x} = -\frac{\partial t}{r \partial r}. \quad (2)$$

Производную $\frac{\partial t}{\partial r}$ можно найти из закона Ньютона

$$Q_T = \alpha (t_1 - t_c) F \tau \quad (3)$$

и закона Фурье [2]

$$Q_T = -\lambda \frac{dt}{dr} F \tau, \quad (4)$$

где Q_T – количество тепла; α – коэффициент теплоотдачи; $(t_1 - t_c)$ – разница температур жидкости и стенки трубы; F – площадь поверхности сопротивления; τ – время.

Если рассматривать теплопередачу по радиусу от жидкости к стенке трубы, от трубы (пластины) к окружающей среде, то α равен [2, 4]

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ж}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{ос}}}, \quad (5)$$

здесь $\alpha_{ж}$ – коэффициент теплоотдачи жидкости; δ – толщина стенки трубы; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки; $\alpha_{ос}$ – коэффициент теплоотдачи окружающей среды.

В [4] приводятся данные, согласно которым $\alpha = \alpha_{ос}$ с учетом конвективных и излучательных процессов теплообмена $\alpha = \alpha_{ос} = (7 \div 8) \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ для диапазона температур окружающей среды $t_n = -50^\circ\text{C} \div +20^\circ\text{C}$.

Из закона Ньютона-Фурье получим

$$\frac{dt}{dr} = -\alpha_{ос} \frac{(t_{ж} - t_{ос})}{\lambda} = \alpha_{ос} \frac{(t_{ос} - t_{ж})}{\lambda}. \quad (6)$$

Считая поток симметричным по осям y и z , т.е. рассматривая двухмерную задачу, можно заменить $\frac{dt}{dr}$ на $\frac{\partial t}{\partial r}$ и из последнего равенства подставить в уравнение движения

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda} \frac{\partial t}{\partial x} = -\frac{1}{r} \alpha_{ос} \frac{(t_{ос} - t_{ж})}{\lambda}, \text{ или } \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda} \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\alpha_{ос}}{r\lambda} (t_{ос} - t_{ж}) = 0. \quad (7)$$

Решение этого дифференциального уравнения второго порядка, представляющее собой сумму общего однородного и частного неоднородного решений, получается в виде

$$t_{ж}^0 = t_{он}^0 = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x} + t_{ос}. \quad (8)$$

Корни характеристического уравнения имеют вид

$$\lambda_1 = \frac{\frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{ж}} + \sqrt{\frac{\rho^2 c_p^2 v_x^2}{\lambda_{ж}^2} + 4 \frac{\alpha_{ос}}{r\lambda_{ж}}}}{2}, \quad \lambda_2 = \frac{\frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{ж}} - \sqrt{\frac{\rho^2 c_p^2 v_x^2}{\lambda_{ж}^2} + 4 \frac{\alpha_{ос}}{r\lambda_{ж}}}}{2}. \quad (9)$$

В соответствии с этим, первый член выражения (10) не соответствует физическому смыслу задачи теплопроводности применительно к охлаждению жидкости, поэтому он может не рассматриваться.

Константа C_2 получается из начального условия: в начале трубопровода температура жидкости равна температуре жидкости на выходе из блока питания. Эта температура зависит от этапа полета (профиля полета) и изменяется от 75°C до 20°C [5]. В результате

$$C_2 = t_1^0 - t_{ос}^0. \quad (10)$$

и выражение (10) принимает следующий вид

$$t_{ж}^0 = (t_1^0 - t_{ос}^0) e^{\lambda_2 x} + t_{ос}^0. \quad (11)$$

С учетом диапазона изменения температуры [5] были получены графики изменения $t^0 = f(l)$ при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и $t_1 = 75^\circ\text{C}$ (рис. 1, 2).

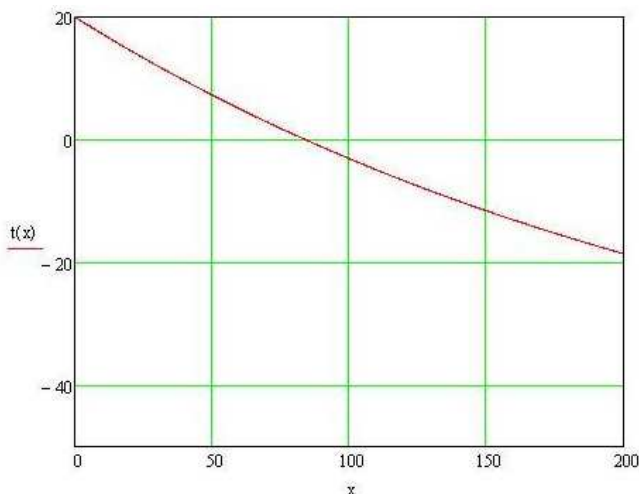


Рис. 1

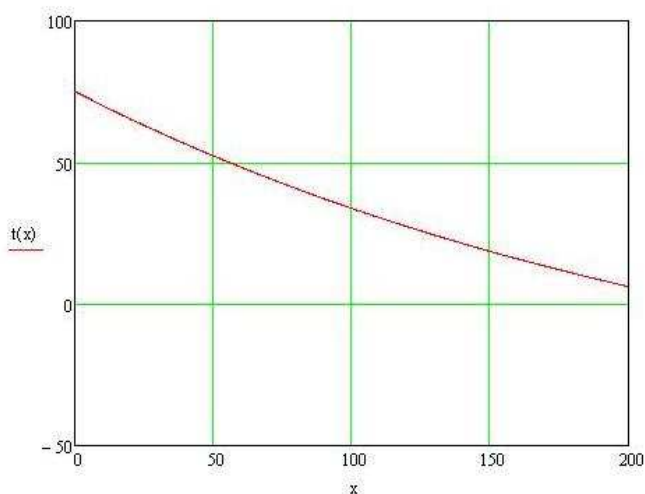


Рис. 2

Зависимость потерь давления от температуры необходимо знать для оценки диапазонов изменения параметров, определяемых физическими процессами, имеющими место в гидравлических системах на летательных аппаратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болгарский А. В., Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1975.
2. Сушкин И. Н. Основы теплотехники. – М.: Metallurgizdat, 1958.
3. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. – М.: Энергия, 1978.
4. Шорин С. Н. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1964.
5. Матвиенко А. М., Зверев И. И. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982.

ENVIRONMENTAL FACTORS IN RANGE OF TEMPERATURE CHANGE OF HYDRAULIC SYSTEMS AIRCRAFT

Bobrin M.A, Klemina L.G

On the basis of the differential equation of energy and Newton's laws of heat transfer and thermal conductivity of the Fourier derived a mathematical expression according to the temperature of the hydraulic fluid of aircraft on the ambient temperature, fluid velocity and the length of the pipeline.

Key words: hydraulic system of aircraft control, the range of parameters.

Сведения об авторах

Бобрин Михаил Арчилович, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, инженер 2-й категории кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, область научных интересов – контроль и диагностика гидравлических систем летательных аппаратов.

Клёмина Людмила Гавриловна, окончила МАИ (1961), кандидат технических наук, доцент кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 50 научных работ, область научных интересов – контроль и диагностика гидравлических систем летательных аппаратов.