

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Г.Т.ГАСАНОВ, А.Н.МАМЕДОВА

*Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия
AZ-1010, Баку, пр. Азадлыг, 20*

Устанавливается общая закономерность температурной зависимости теплоемкости нефтей. Экспериментально и теоретически определяется темп изменения теплоемкости жидкостей.

Экспериментальному исследованию температурной зависимости чистых веществ посвящено большое количество работ, обзор которых приводится в [1,2]. Исследования проведены калориметрическим методом при стационарном температурном поле. Для нефтей и нефтепродуктов температурная зависимость теплоемкости исследована в [3], где установлен характер вышеотмеченного изменения.

В данной работе экспериментально и теоретически исследуется температурная зависимость теплоемкости «Ширванской» нефти и нефти, взятой из скважин «Нефтяные Камни», и устанавливается общая закономерность температурной зависимости теплоемкости.

Эксперимент проведен на измерительном приборе МТ-С-400, который имеет температурный диапазон от -100 до 400°C . Его работа основывается на сравнительном методе динамического c_p – калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой. В приборе ампула с нефтью устанавливалась на тепломере, и вся система окружалась адиабатической оболочкой. Тепловой поток, проходящий через тепломер, шел на нагревание ампулы с нефтью. Величину теплового потока через тепломер можно найти по перепаду температуры на тепломере и тепловой проводимости тепломера, являющейся постоянной прибора. Эти значения табулированы. Если перепады температуры на тепломере невелики, то величину теплового потока можно связать со временем запаздывания температуры на тепломере.

Таким образом, зная постоянную прибора k_T , измерив массу нефти m и время запаздывания пустой и заполненной ампулы, можно определить удельную теплоемкость нефти по следующей формуле:

$$c = \frac{k_T}{m}(\tau - \tau_0), \quad (1)$$

где τ_0 - время запаздывания пустой ампулы, τ - время запаздывания заполненной нефтью ампулы.

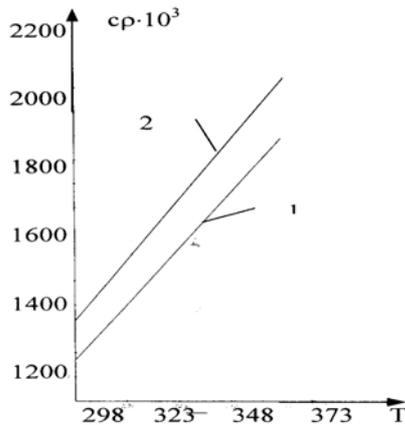
Измерения проводились при температурах 25, 50, 75, 100 и 125°C для каждого вида нефти. Соответственно вычислялась удельная теплоемкость и с помощью пикнометра определялась плотность нефтей при вышеуказанных температурах. Далее, применяя метод наименьших квадратов, определяем $c\rho \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$, которая выражается формулой:

$$c(T)\rho(T) = c_0\rho_0[1 + \gamma(T - T_0)], \quad (2)$$

где c_0, ρ_0 - теплоемкость и плотность при комнатной температуре, γ - коэффициент, характеризующий темп изменения объемной теплоемкости с температурой.

Расчеты показали, что для обоих видов нефтей - «Ширванской» и «Нефтяные Камни» - среднее значение этого коэффициента γ_{cp} приблизительно одинаково и равно $10^4 \frac{1}{K}$. График зависимости $c\rho \cdot 10^3 \frac{Дж}{м^3 \cdot K}$ от температуры T, K приведен на

Рис.1.



Ниже рассматривается теоретический метод исследования температурной зависимости теплоемкости жидкостей с целью определения темпа изменения объемной теплоемкости жидкости с температурой.

Рис.1.

Зависимость теплоемкости нефтей от температуры:
1 – нефть из «Нефтяных Камней», 2- «Ширванская» нефть.

Математически задача сводится к решению обратной задачи для нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности с переменными коэффициентами следующего вида:

$$c(T)\rho(T)\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \frac{2\alpha(T)}{R}(T - T_0), \quad (3)$$

где $\alpha(T)$ - коэффициент теплоотдачи, $\lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности, v - скорость движения жидкости в трубе, R - радиус трубы.

Начальные и граничные условия задаются в следующем виде:

$$T(x,0) = T_0 = const, \quad T(0,t) = f(t), \quad T(\ell,t) = \varphi(t). \quad (4)$$

Изменение теплофизических свойств жидкости от температуры задаются в следующем виде:

$$\begin{aligned} c(T)\rho(T) &= c_0\rho_0[1 + \gamma(T - T_0)], \\ \lambda(T) &= \lambda_0[1 + \gamma(T - T_0)], \\ \alpha(T) &= \alpha_0\left[1 + \frac{\gamma}{2}(T - T_0)\right]. \end{aligned} \quad (5)$$

При этом уравнение теплопроводности (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} c_0\rho_0[1 + \gamma(T - T_0)]\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x}\right) &= \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_0[1 + \gamma(T - T_0)]\frac{\partial T}{\partial x}\right] - \\ - \frac{2\alpha_0}{R}\left[1 + \frac{\gamma}{2}(T - T_0)\right](T - T_0) \end{aligned} \quad (6)$$

Для решения уравнения (6) вводим новую функцию

$$\theta(T) = (T - T_0) + \frac{\gamma}{2}(T - T_0)^2,$$

при этом для функции $\theta(T)$ уравнение имеет следующий вид

$$c_0\rho_0\left(\frac{\partial \theta}{\partial t} + v \frac{\partial \theta}{\partial x}\right) = \lambda_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \frac{2\alpha_0\theta(T)}{R}. \quad (7)$$

Учитывая, что при движении жидкости по трубе перенос тепла за счет конвекции намного больше, чем за счет диффузии, т.е.

$$c_0\rho_0\nu\frac{\partial\theta}{\partial x}\gg\lambda_0\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2},$$

то уравнение (7) запишется в следующем виде

$$c_0\rho_0\left(\frac{\partial\theta}{\partial t}+\nu\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)=-\frac{2\alpha_0\theta(T)}{R}. \quad (8)$$

Начальные и граничные условия для функции $\theta(T)$ имеют следующий вид

$$\theta(x,0)=\theta_0=0$$

$$\theta(0,t)=\left[f(t)-T_0+\frac{\gamma}{2}(f(t)-T_0)^2\right]=\theta_1(t) \quad (9)$$

$$\theta(\ell,t)=\left[\varphi(t)-T_0+\frac{\gamma}{2}(\varphi(t)-T_0)^2\right]=\theta_2(t).$$

Для решения уравнения (8) применяем преобразование Лапласа. В изображениях данное уравнение имеет вид:

$$c_0\rho_0\left(s\theta^*+\nu\frac{\partial\theta^*}{\partial x}\right)=-\frac{2\alpha_0\theta^*(s)}{R}+c_0\rho_0\theta_0. \quad (10)$$

Решая уравнение (10) при граничных условиях (9), имеем

$$\theta_2^*=e^{-al}\theta_1^*$$

и, разлагая e^{-al} в ряды и ограничиваясь первыми двумя членами разложения, имеем

$$\theta_2^*=(1-al)\theta_1^*, \quad (11)$$

где $a=\frac{s}{\nu}+\frac{2\alpha_0}{c_0\rho_0\nu R}$.

Проведенные эксперименты показали, что изменение температуры жидкости со временем можно представить в виде

$$\begin{aligned} f(t) &= T_0 + T_{01}(1 - e^{-k_1 t}), \\ \varphi(t) &= T_0 + T_{02}(1 - e^{-k_2 t}). \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом Лапласовых изображений этих функций граничные условия для функции $\theta(T)$ имеют следующий вид

$$\begin{aligned} \theta_1^* &= \frac{T_{01}}{s} - \frac{T_{01}}{s+k_1} + \frac{\gamma}{2}\left(\frac{T_{01}}{s} - \frac{T_{01}}{s+k_1}\right)^2 \\ \theta_2^* &= \frac{T_{02}}{s} - \frac{T_{02}}{s+k_2} + \frac{\gamma}{2}\left(\frac{T_{02}}{s} - \frac{T_{02}}{s+k_2}\right)^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11) определяем коэффициент γ

$$\gamma = \frac{2\left[\left(1 - \frac{\ell}{\nu t} - \frac{2\alpha_0\ell}{c_0\rho_0\nu R}\right)\frac{T_{01}k_1}{1+k_1t} - \frac{T_{02}k_2}{1+k_2t}\right]}{t^2\left[\left(\frac{T_{02}k_2}{1+k_2t}\right)^2 - \left(1 - \frac{\ell}{\nu t} - \frac{2\alpha_0\ell}{c_0\rho_0\nu R}\right)\left(\frac{T_{01}k_1}{1+k_1t}\right)^2\right]}. \quad (14)$$

В общем случае, если температурные зависимости теплофизических свойств выразить в виде

$$\begin{aligned} c(T)\rho(T) &= c_0\rho_0\lambda_0\left[1 + \gamma\sum_{n=1}^m(T-T_0)^n\right], \\ \lambda(T) &= \lambda_0\left[1 + \gamma\sum_{n=1}^m(T-T_0)^n\right], \end{aligned}$$

$$\alpha(T) = \alpha_0 \left[1 + \gamma \sum_{n=1}^m \frac{1}{n+1} (T - T_0)^n \right], \quad (15)$$

то, введя дополнительную функцию $\theta(T)$

$$\theta(T) = \lambda_0 \left[(T - T_0) + \gamma \sum_{n=1}^m \frac{1}{n+1} (T - T_0)^{n+1} \right],$$

аналогично выше изложенному для γ , получим следующее выражение

$$\gamma = \frac{\left(1 - \frac{\ell}{\nu t} - \frac{2\alpha_0 \ell}{c_0 \rho_0 \nu R} \right) \frac{T_{01} k_1}{1 + k_1 t} - \frac{T_{02} k_2}{1 + k_2 t}}{t^{n+1} \left[\sum_{n=1}^m \frac{1}{n+1} \left(\frac{T_{02} k_2}{1 + k_2 t} \right)^{n+1} - \left(1 - \frac{\ell}{\nu t} - \frac{2\alpha_0 \ell}{c_0 \rho_0 \nu R} \right) \left(\sum_{n=1}^m \frac{1}{n+1} \left(\frac{T_{01} k_1}{1 + k_1 t} \right)^{n+1} \right) \right]}. \quad (16)$$

1. Х.И.Амирханов, А.П.Адамов, *Теплофизические свойства чистых веществ и водных растворов электролитов. Махачкала, (1987) 48.*
2. М.М.Баширов, *Новые калориметры нестационарного режима, тепловые свойства одноатомных спиртов и их смесей. Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. АзТУ, Баку, (2004) 320.*
3. Г.Т.Гасанов, А.А.Алиев, Л.П.Гурьянова, *Fizika, НАН Азербайджана, 6 №1 (2000) 41.*

MAYELƏRİN İSTİLİK TUTUMUNUN TEMPERATURDAN ASILILIĞININ TƏYİNİ

Q.T.HƏSƏNOV, A.N.MƏMMƏDOVA

Qərarlaşmamış temperatur halı üçün istilik tutumunun temperaturdan asılılığını təyin etmək üçün nəzəri metod işlənilib və həmin metodla istilik tutumunun temperaturdan asılılığının dəyişmə tempi təyin edilmişdir.

DETERMINATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF LIQUID'S CAPACITY

Q.T.GASANOV, A.N.MAMMADOVA

Common conformity of rules of temperature dependency with oil heating capacity was fixed. Date of decreasing of liquid heating capacity was defined experimentally and theoretically.

Редактор: М.Алиев