

## НЕСТАЦИОНАРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Г.Т.ГАСАНОВ, А.Н.МАМЕДОВА

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

Методом решения обратной задачи для дифференциального уравнения теплопроводности предлагается новый нестационарный метод исследования теплоемкости жидкостей по данным об изменении температуры со временем в двух фиксированных точках. Полученная формула позволила установить связь между теплофизическими и акустическими свойствами жидкости.

В настоящее время существуют несколько экспериментальных калориметрических методов исследования коэффициента теплоемкости жидкости, но, к сожалению, для этой цели пока не разработан теоретический метод. Краткий обзор существующих методов экспериментального исследования теплоемкости жидкостей приводится в [1], где отмечаются преимущества и недостатки существующих и перспективных методов измерения теплоемкости.

В работе [2] экспериментально исследована теплоемкость некоторых образцов нефти на установке МТ-С-400, температурный диапазон которой от  $-100\div 400^{\circ}\text{C}$ . На основании эксперимента установлено, что для стационарного температурного поля теплоемкость линейно растет с температурой. Эксперименты показали, что содержание различных фракций в нефти не играет существенной роли в изменении хода кривой зависимости теплоемкости от температуры, а влияет лишь на величину теплоемкости.

Одним из перспективных методов измерения теплоемкости жидкости является нестационарный метод. Нестационарный метод обладает сравнительной быстротой и область его применения не ограничена. По нашему мнению теоретический метод исследования теплоемкости жидкостей должен соответствовать технологическому процессу, т.е., если требуется найти теплоемкость жидкости, протекающей по трубе, то теоретический метод определения теплоемкости жидкости должен учесть движение жидкости.

Предлагаемый нами новый теоретический метод исследования теплоемкости основан на информации об изменении температуры жидкости при ее неизотермическом движении в трубе.

Рассматривается неизотермическое движение реальной жидкости в трубе, температура жидкости которой изменяется как по времени, так и по координате. Температурное поле в жидкости при этом определяется на основе решения дифференциального уравнения теплопроводности.

Сущность предлагаемого нового метода заключается в том, что, решая обратную задачу для дифференциального уравнения теплопроводности, определяется постоянный коэффициент (коэффициент теплоемкости), входящий в это уравнение.

Для простоты изложения сущности предлагаемого метода рассмотрим одномерное температурное поле, которое математически описывается следующим уравнением с постоянными коэффициентами

$$c\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2\alpha_0}{R}(T - T_0), \quad (1)$$

где  $c$  – теплоемкость,  $\rho$  – плотность жидкости,  $v$  – средняя скорость движения жидкости,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\alpha_0$  – коэффициент теплоотдачи,  $R$  – радиус трубы,  $T_0$  – температура окружающей среды.

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

$$c\rho v \frac{\partial T}{\partial x} \gg \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

то дифференциальное уравнение (1) приводится к виду

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{2\alpha_0}{c\rho R}(T - T_0). \quad (2)$$

Принимается, что в начальный момент времени температура жидкости везде одинакова, постоянна и равна  $T_0$ . Задаются законы изменения температуры жидкости в начале  $f(t)$  и в конце трубы  $\varphi(t)$ , т.е. начальные и граничные условия имеют следующий вид:

$$T(x,0) = T_0 = const, \quad T(0,t) = f(t), \quad T(\ell,t) = \varphi(t). \quad (3)$$

Следовательно, определение теплоемкости жидкости математически сводится к решению дифференциального уравнения (2) при условиях (3). Для решения дифференциального уравнения (2) применяется преобразование Лапласа. Применяя преобразование Лапласа, в изображениях имеем:

$$v \frac{\partial T^*}{\partial x} + \left( s + \frac{2\alpha_0}{c\rho R} \right) T^* = T_0 + \frac{2\alpha_0 T_0}{c\rho R} \frac{1}{s}. \quad (4)$$

$$T^*(x,s) = \int_0^{\infty} T(x,t) e^{-st} dt$$

Граничные условия в изображениях имеют вид:

$$T^*(0,s) = f^*(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt, \quad (5)$$

$$T^*(\ell,s) = \varphi^*(s) = \int_0^{\infty} \varphi(t) e^{-st} dt$$

Решая уравнение (4) при условиях (5), имеем следующее уравнение для определения теплоемкости жидкости

$$\varphi^*(s) - f^*(s) e^{-kl} = \frac{1}{k} \left( \frac{T_0}{v} + \frac{2\alpha_0 T_0}{c\rho R s} \right) (1 - e^{-kl}), \quad (6)$$

где  $k = \frac{s}{v} + \frac{2\alpha_0}{c\rho R}$ .

При малых значениях параметра  $S$ , которые соответствуют большим значениям времени, параметр  $k \ll 1$ . Учитывая это и разлагая выражение  $\exp(-kl)$  в ряды и ограничиваясь первыми двумя членами разложения, имеем следующее уравнение для определения искомой величины:

$$\varphi^*(s) - f^*(s) \left[ 1 - \frac{s}{v} \ell - \frac{2\alpha_0 \ell}{c\rho R} \right] = \left( \frac{T_0}{v} + \frac{2\alpha_0 T_0}{c\rho R s} \right) \ell. \quad (7)$$

Переходя к переменной  $S=1/t_0$ , где  $t_0$  – характерное время, из (7) имеем следующее уравнение для определения теплоемкости жидкости

$$\frac{2\alpha_0 \ell}{c\rho v R} t_0 = \frac{t_0 \varphi^*(t_0) - f^*(t_0) \left( t_0 - \frac{\ell}{v} \right) - \frac{T_0 \ell t_0}{v}}{T_0 t_0 - f^*(t_0)} = \Phi(t_0). \quad (8)$$

Уравнение (7) является основным для определения теплоемкости жидкости на основе информации об изменении температуры жидкости при входе в трубу и выходе из нее.

Из уравнения (7) видно, что левая часть его в зависимости от  $t_0$  есть прямая с угловым коэффициентом  $\frac{2\alpha_0 \ell}{c\rho v R}$ . В силу равенства (8)  $\Phi(t_0)$  также является

линейной зависимостью относительно  $t_0$ . В функцию  $\Phi(t_0)$  входят экспериментальные функциональные зависимости  $f^*(t_0)$  и  $\varphi^*(t_0)$ . Выпрямляя зависимость  $\Phi(t_0)$  от  $t_0$  в прямую и приравнивая угловые коэффициенты этих прямых, определяем искомую величину теплоемкость.

Эксперименты, проведенные нами с различными нефтями показали, что входные и выходные информации об изменении температуры со временем могут быть выражены формулами:

$$f(t) = T_0 + T_{01} (1 - e^{-k_1 t}), \quad \varphi(t) = T_0 + T_{02} (1 - e^{-k_2 t}). \quad (9)$$

Лапласовыми изображениями этих функций будут

$$f^*(s) = \frac{T_0}{s} + \frac{T_{01} k_1}{s(s+k_1)}; \quad \varphi^*(s) = \frac{T_0}{s} + \frac{T_{02} k_2}{s(s+k_2)}. \quad (10)$$

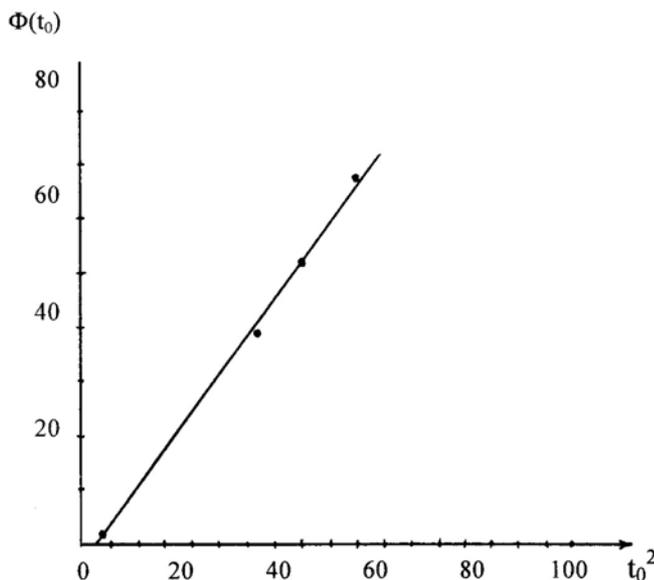
Подставляя значение  $f^*(s)$  и  $\varphi^*(s)$  из (10) в (8), имеем уравнение

$$\frac{2\alpha_0 \ell}{c\rho v R} t_0^2 = \frac{(1+k_1 t_0)}{T_{01} k_1} \left[ \frac{T_0 \ell}{v} + \left( t_0 - \frac{\ell}{v} \right) \left( T_0 + \frac{T_{01} k_1 t_0}{1+k_1 t_0} \right) - t_0 \left( T_0 + \frac{T_{02} k_2 t_0}{1+k_2 t_0} \right) \right]. \quad (11)$$

Для рассматриваемого частного примера, который выражается формулами (9), расчетное уравнение (11) является основным для определения теплоемкости жидкости.

Проведенные нами эксперименты с образцами нефти с Бинагадинского месторождения показали, что для одной частоты  $\nu=15000$ Гц параметры  $\kappa_1=7 \cdot 10^{-3}$ сек<sup>-1</sup>,  $\kappa_2=4,4 \cdot 10^{-3}$ сек<sup>-1</sup>,  $T_{01}=25$ К,  $T_{02}=5$ К, при  $T_0=295$ К,  $T_1=320$ К,  $T_2=300$ К.

Расчеты по формуле (11) при этих данных представлено на Рис.1.



**Рис.1**  
Зависимость  $\Phi(t_0)$  от  $t_0^2$

Видно, что зависимость  $\Phi(t_0)$  от  $t_0^2$  хорошо выражается одной прямой. По угловому коэффициенту этой прямой определяем теплоемкость жидкости  $c$ . Тангенс угла этой прямой определяется из рисунка и равен  $\text{tg}\alpha=0,6$ . На основании уравнения (11) имеем:

$$c = 3,3 \cdot \frac{\alpha_0 \ell}{\rho \nu R}. \quad (12)$$

Формула (12) устанавливает связь между теплофизическими и акустическими свойствами жидкости.

1. М.М.Баширов, *Новые калориметры нестационарного режима, тепловые свойства одноатомных спиртов и их смесей: дис....докт.техн.наук, АзТУ, Баку, (2004).*
2. Г.Т.Гасанов, А.А.Алиев, Л.П.Гурьянова, *Физика, 6 №1 (2000) 41.*

### **MAYELƏRİN İSTİLİK TUTUMUNU TƏYİN ETMƏK ÜÇÜN QƏRARLAŞMAMIŞ METOD**

**Q.T.HƏSƏNOV, A.N.MƏMMƏDOVA**

Məqalədə mayelərin istilik tutumunu təyin etmək üçün yeni qərarlaşmamış metod təklif olunmuşdur. Təklif edilən yeni metod istilik keçirmə tənliyinin həlli üçün tərs məsələyə gətirilmişdir, bələki, temperatur paylanması bilərək, istilik tutumunun təyin edilməsi nəzərdə tutulur.

### **NONSTATIONARY METHOD OF FLUIDS THERMAL CAPACITY DETERMINATION**

**Q.T.HASANOV, A.N.MAMMADOVA**

New nonstationary method of thermal capacity of fluids investigation according to the date of temperature changing by time in two fixed points was proposed by using the solution of the inverse problem for the differential equation of thermal conductivity. The obtained expression lets to set up the connection between thermophysical and acoustical properties of fluids.

Редактор: М.Алиев