

## MAYENİN İSTİLİKVERMƏ ƏMSALI İLƏ ONUN DİGƏR FİZİKİ XASSƏLƏRİ ARASINDA ƏLAQƏ

M.A. MUSAYEV, N.N. HAŞIMOVA

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti*  
AZ 1010, Bakı, Azadlıq pr. 20, h-nara89@mail.ru

Mayenin ətraf mühitlə konvektiv istilik mübadiləsi zamanı enerjinin saxlanma qanununu tətbiq etməklə, istilikvermə əmsalı arasında onun digər istilik-fiziki, akustik, sabit elektrik və maqnit sahələrinin parametrləri ilə əlaqə yaradılmışdır. Mayenin ətraf mühitlə konvektiv istilik mübadiləsi zamanı onun istilikvermə əmsalının müəyyən edilməsi riyazi olaraq istilik tənliyi üçün tərs məsələnin həllinə qədər azaldılır.

**Açar sözlər:** maye, istilikvermə əmsalı, termodinamik metod, tərs məsələ.

**PACS:** 05.70.-a

Mayelərin istilik-fiziki parametrlərinin tədqiq olunması, mayenin hal tənzimləyicinin tərtib olunmasına köməklik etməsi ilə yanaşı nəzəri əhəmiyyətindən başqa, energetika, kimya və neft sənayələrində də bəzi texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılmasına ciddi təsir göstərməsi ilə əlaqədar böyük praktiki əhəmiyyətə malikdir. İstilik energetikasında bəzi texnoloji prosesləri intensivləşdirmək məqsədi ilə istilik enerjisinin maye vasitəsi ilə daşınmasından istifadə olunur. Bu prosesdə enerji daşıyan mayenin istilik-fiziki parametrlərinin xarici təsir vasitəsi ilə idarə olunması vacib şərtlərdən biridir. Buna görə də, mayelərin istilik-fiziki parametrlərinin tədqiqi uzun illərdir tədqiqatçıların diqqət mərkəzində olmaqda qalır.

Qeyd etmək lazımdır ki, uzun illərdir ki, mayelərin istilik-fiziki parametrlərinin tədqiqi iki istiqamət üzrə intensiv müzakirə olunur: təcrübi və nəzəri istiqamətlərdə. Təcrübi istiqamətdə tədqiqatlar məlum metod və qurğular vasitəsi ilə tədqiq olunmamış mayelərin nümunələri əsasında yeni təcrübi məlumatların alınması və yaxud da tədqiqat oblastının genişləndirilməsi əsas məqsəd kimi qəbul olunur. Nəzəri tədqiqatlarda isə, mayelərin istilik-fiziki parametrlərini təyin etmək üçün, müasir yeni tələblərə uyğun nisbətən dəqiq metodların yaradılması əsas məqsəd kimi qəbul olunur. Mayelərin istilik-fiziki parametrlərinin nəzəri tədqiqat istiqamətindən çox təcrübi tədqiqat istiqaməti daha sürətlə inkişaf edir.

Mayelərin istilik-fiziki parametrləri mövcud metodlarla müxtəlif dəqiqliklə təyin olunurlar. Bunun əsas səbəbi tətbiq olunan riyazi modellərin təqribiliyinin və istifadə olunan cihazların dəqiqliyinin müxtəliflikləridir. Bundan əlavə, qərarlaşmış proseslər üçün təklif olunmuş metodlar əksər hallarda qərarlaşmamış proseslər üçün də tətbiq olunur. Qeyd olunanlar bir də onunla əlaqədardır ki, mayelərin istilik-fiziki parametrləri tətbiq olunan metodlara çox həssasdırlar. Bircins mayelərin istilikvermə əmsalı istisna olmaqla, bütün

digər istilik-fiziki parametrləri həm təcrübi, həm də nəzəri cəhətdən kifayət qədər dolğun tədqiq olunmuşdur. Qərarlaşmış temperatur sahəsi üçün mayelərin istilikvermə əmsalı Nyuton qanununa əsasən təyin olunur.

$$q = \alpha(T - T_0); \alpha = \frac{q}{T - T_0} = const \quad (1)$$

Burada  $T$ - istilik daşıyan mayenin temperaturu,  $T_0$ - mayeni əhatə edən mühitin temperaturu,  $q$ - konvektiv istilik selinin sıxlığı,  $\alpha$ - isə mayenin istilikvermə əmsalıdır; onun fiziki mənası  $T - T_0 = 1$  olanda  $\alpha = q$  şərtindən müəyyən olunur.

Konvektiv istilik mübadiləsində ən mühüm məsələlərdən biri istilikvermə əmsalının təyini. Təcrübələr göstərir ki, istilikvermə əmsalını, hərəkət edən mayenin temperaturu ilə ətraf mühitin temperaturu arasındakı fərqin kiçik qiymətlərində sabit qəbul etmək olar. Qeyd olunan fərqin böyük qiymətlərində vəziyyət mürəkkəbləşir və istilikvermə əmsalı temperaturdan asılı olaraq dəyişir, yəni

$$\frac{q}{T - T_0} = \alpha(T) \neq const \quad (2)$$

$\alpha$ -nin qiyməti istilik mübadiləsinə təsir edən bütün amillərdən asılıdır və konvektiv istilik mübadiləsində ən mürəkkəb problemlərdən biri bu asılılığı müəyyən etməkdir. Qeyd edək ki, ən sadə halda belə qərarlaşmış temperatur sahəsi üçün  $\alpha$ -nın təyini riyazi olaraq istilikkeçirmə tənliyi üçün tərs məsələnin həllinə gətirildiyindən onun analitik həlli riyazi çətinlik törədir. Qərarlaşmamış birölçülü temperatur sahəsində konvektiv istilik mübadiləsində istilikvermə əmsalının təyini aşağıdakı differensial tənliyin həlli üçün tərs məsələnin həllinə gətirilir. [1,2]

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

Sadəlik üçün, birinci yaxınlaşmada, mayenin istilik-fiziki parametrləri sabit qəbul olunur. Burada  $c_p$ ,  $\rho$ ,  $v$ ,  $\lambda$ ,

$\alpha$  mayenin istilik tutumu, sıxlığı, hərəkət sürəti, istilikkeçirmə əmsalı, istilikvermə əmsalı,  $R$ - maye hərəkət

edən borunun radiusu,  $Q(x)$ -xarici sahənin təsirdən udulan enerjinin sıxlığı,  $T_0$  - ətraf mühitin temperaturu. Konvektiv istilik mübadiləsində konveksiya hesabına daşınan istiliyin miqdarı, diffuziya hesabına daşınan istiliyin miqdarından çoxdur, yəni

$$c_p \rho v \frac{\partial T}{\partial x} \gg \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} . \quad (4)$$

Qəbul edək ki, xarici fiziki sahədə istilik daşıyan

$$T(x, 0) = T_0, \quad T(0, t) = f(t), \quad T(l, t) = \phi(t) \quad (6)$$

(3) tənliyini (4) və (6) şərtləri daxilində həll edərək mayenin istilikvermə əmsalı  $\alpha$ -nı təyin etmək olar. Laplas çevrilməsi və determinləşmiş momentlər metodunu,

$$\alpha = \frac{c_p \rho v R}{2lf_0} - \frac{c_p \rho v R}{2l} \frac{\varphi_0}{f_0} + \frac{c_p \rho R T_0}{2f_0} \quad (7)$$

$$f = \int_0^\infty (f(t) - f_\infty) dt, \quad \varphi_0 = \int_0^\infty (\varphi(t) - \varphi_\infty) dt$$

(7) düsturundan görüldüyü kimi, elektrik sahəsinin udulan enerjisi öz təsirini  $T(t)$  və  $\varphi(t)$  funksiyaları vasitəsi ilə göstərir.

Mayenin hərəkəti konvektiv istilik mübadiləsində və qeyri-bircins mayelərdə istilikvermə əmsalının diaqnostikasıdır, yəni istilikvermə əmsalının nöqtədən-nöqtəyə dəyişməsinin təyini riyazi olaraq ən çətin həll olunan problemlərdən biridir. Qeyri-bircins mayelərin istilikvermə əmsalının diaqnostikası neft quyularının qazılması və neftçıxarmanın bəzi proseslərində yaranan çətinliklərin aradan qaldırılmasında istifadə olunur. Son illər neft çıxarmada bəzi texnoloji çətinliklərin xarici fiziki sahələr vasitəsi ilə aradan qaldırılması isteh-

maye elektrik keçiricidir və elektrik sahəsinin maye daxilində udulması nəticəsində udulan enerjinin sıxlığı

$$Q(x) = \sigma E^2 \quad (5)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Mayenin boruda daxil olduğu kəsikdə, yəni  $x=0$  kəsiyində mayenin temperaturu  $f(t)$ ,  $x = l$  kəsiyində isə  $\phi(t)$  -yə bərabərdir, yəni sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi verilir:

tətbiq edərək mayenin istilikvermə əmsalı üçün aşağıdakı ifadəni alırıq.

salatda və təcrübədə sübut olunmuşdur. Nəzərə alsaq ki, təmizlənməmiş neft özü ilə müxtəlif süxur hissəciklərini də gətirir və bu hissəciklərin xeyli hissəsi yerin səthinə çıxarıla bilməyərək neft quyusunda olan neftin daxilində asılı vəziyyətdə qalır. Qəbul etmək olar ki, həmin hissəciklər neft quyusu daxilində dərinlikdən asılı olaraq Bolsman paylanmasına tabe olurlar. Bu da öz növbəsində neftin istilikvermə əmsalının quyunun dərinliyindən asılı olar nöqtədən-nöqtəyə dəyişməsinə yaradır. Mayenin istilikvermə əmsalının neft quyusunun dərinliyindən asılı olaraq dəyişməsi onun diaqnostika probleminin həllini tələb edir. Qeyri-bircins mayelərin istilikvermə əmsalının diaqnostikası riyazi olaraq

$$c_p(x) \rho(x) \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x} \right] = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(x) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + Q(x) - \frac{2\alpha(x)}{R} (T - T_0) \quad (8)$$

differentensial tənliyi üçün tərs məsələnin həllinə gətirilir. Qeyd olunanlar mayenin istilik-fiziki, akustik və elektrik xassələri arasında əlaqələrin yaradılmasını tələb edir. Bu əlaqələr vasitəsi ilə qeyri-dəqiq təyin olunan kəmiyyəti nisbətən dəqiq təyin olunan kəmiyyətlər vasitəsi ilə təyin etmək daha məqsədə uyğundur. Məsələn, mayenin özlülük əmsalı, istilik tutumu, akustik dalğaların udma əmsalı, elektrikkeçirmə əmsalları vasitəsi ilə mayelərin istilik vermə əmsalını təyin etmək məqsədə uyğundur. Bu kəmiyyətlər arasında əlaqəni müəyyən edək. Əvvəlcə sadə hala baxaq. Radiusu  $R$ , uzunluğu  $l$  olan silindrik boruda özlü mayenin laminar hərəkəti zamanı qərarlaşmış temperatur sahəsi üçün istilik mübadiləsi aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$c_p \rho v \frac{dT}{dx} = - \frac{2\alpha}{R} (T - T_0) \quad (9)$$

Bu tənliyin  $T(0)=T_1, T(l)=T_2$  şərtləri daxilində həllindən mayenin istilikvermə əmsalı üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\alpha = \frac{c_p \rho v R}{2l} \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} \quad (10)$$

Bu düstur mayenin istilikvermə əmsalı ilə digər istilik-fiziki parametrləri arasında əlaqə yaradır. Fərz edək ki, silindrik boruda istilik daşıyan maye elektrik keçiricidir və mayenin laminar hərəkəti sabit elektrik sahəsinin təsiri altında baş verir. Bu halda, elektrik sahəsinin udulan enerjinin həcm sıxlığı nəzərə alınmaqla, istilik keçirmə tənliyi qərarlaşmış hal üçün aşağıdakı kimi yazılır:

$$c_p \rho v \frac{dT}{dx} = \sigma E^2 - \frac{2\alpha}{R} (T - T_0) \quad (11)$$

(11) tənliyinin həllindən mayenin istilikvermə əmsalını təyin etmək üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$T_2 = T_1 e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} + \left( T_0 + \frac{\sigma E^2 R}{2\alpha} \right) \left( 1 - e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} \right) \quad (12)$$

(12) tənliyi transsendent tənlikdir və onun dəqiq həlli yoxdur. Bu səbəbdən onun təqribi həllini tapaq. Nəzərə alsaq ki, real texnoloji proseslər üçün

$$c_p \rho \nu R \gg 2\alpha l, \quad e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} \approx 1 - \frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}$$

şərti ödənilir. (12) tənliyi aşağıdakı şəkllə düşür:

$$\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} + \frac{\sigma E^2 l}{c_p \rho \nu} \frac{1}{(T_1 - T_0)} \quad (13)$$

(13) düsturunu mayenin boruda  $(T_1 - T_2) = \Delta T$  temperatur fərqi altında istilik daşıyarkən onun istilik-fiziki və elektrikkeçirmə əmsalları arasında əlaqə yaradır. Düsturdan görüldüyü kimi, elektrik sahəsinin təbiiq istilik mübadiləsinə intensivləşdirir.

Fərz edək ki, mayenin laminar hərəkəti akustik dalğalarının təsiri altında baş verir və buna əsasən biz akustik dalğaların istilik daşıyan mayenin konvektiv istilik mübadiləsinə təsirini müəyyən edə bilərik. Qəbul olunur ki, udulan akustik dalğanın enerjisinin hamısı mayenin qızmasına sərf olunur. Bu halda qərarlaşmış temperatur sahəsi üçün istilikkeçirmə tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$c_p \rho \nu \frac{dT}{dx} = \beta J_0 e^{-\beta x} - \frac{2\alpha}{R} (T - T_0)$$

$J_0$  - akustik dalğanın intensivliyi,  $\beta$  - udulma əmsalıdır.  $T(0) = T_1$ ,  $T(l) = T_2$  şərtləri daxilində (12) differensial tənliyinin həllindən mayenin boru daxilində akustik dalğaların təsiri altında, laminar hərəkəti prosesində istilikvermə əmsalını təyin etmək üçün aşağıdakı transsedent tənliyini alırıq:

$$T_2 - T_0 = (T_1 - T_0) e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} - \frac{J_0 \beta \left( e^{-\beta l} - e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} \right)}{\left( c_p \rho \nu \beta - \frac{2\alpha}{R} \right)} \quad (14)$$

Bu tənlik mayenin istilik-fiziki parametrləri ilə  $(c_p, \rho, \eta, \alpha)$  onun akustik (akustik dalğanın udma əmsalı) parametri arasında əlaqə yaradır. (11) şərtləri daxilində (14) tənliyini aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$T_2 - T_0 = (T_1 - T_0) - \frac{J_0 \beta \left( -\beta l + \frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R} \right)}{\left( c_p \rho \nu \beta - \frac{2\alpha}{R} \right)} \quad (15)$$

Bu düstur istilik daşıyan mayenin konvektiv istilik mübadilələri zaman istilikvermə əmsalı ilə digər istilik-fiziki və akustik parametrləri arasında əlaqə yaradır.

Əgər istilik mübadiləsi eyni zamanda həm xarici elektrik və maqnit, həm də akustik dalğanın təsiri altında baş verirsə, onda istilikkeçirmə tənliyi qərarlaşmış birölçülü temperatur sahəsi üçün aşağıdakı kimi yazılır:

$$c_p \rho \nu \frac{dT}{dx} = J_0 \beta e^{-\beta x} + \sigma (E + \nu B)^2 - \frac{2\alpha}{R} (T - T_0) \quad (16)$$

Yuxarıda qeyd olunan sabit sərhəd şərtləri daxilində (16) tənliyini həll edərək mayenin istilikvermə əmsalını təyin etmək üçün aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$T_2 - T_0 = (T_1 - T_0) e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} + \frac{R\sigma}{2\alpha} (E + \nu B)^2 \left( 1 - e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} \right) - \frac{J_0 \beta}{\left( c_p \rho \nu \beta - \frac{2\alpha}{R} \right)} \left( e^{-\beta l} - e^{-\frac{2\alpha l}{c_p \rho \nu R}} \right) \quad (17)$$

(17) tənliyi özlü mayenin konvektiv istilik mübadiləsi prosesində onun istilik-fiziki parametrləri ilə həm sabit elektrik və maqnit sahələrini  $(\sigma, E, B)$ , həm də akustik

dalğaları xarakterizə edən kəmiyyətlər  $(J_0, \beta)$  arasında əlaqə yaradır.

Burada hərəkəti ilə istilik daşıyan mayenin istilikvermə əmsalının termodinamik tədqiqatı göstərdi ki, ən sadə riyazi modelin (təqribi modelin) tətbiqi ilə belə mayenin hətta qərarlaşmış və birölçülü temperatur sahəsi üçün istilikvermə əmsalını analitik dəqiq təyin etmək mümkün deyil. Bu səbəbdən, mayenin istilikvermə əmsalının mayenin digər parametrləri arasındakı əlaqə düsturlarından istifadə etməklə təyin edilməsi məsləhət görülür. Bir çox hallarda mayenin istilikvermə əmsalını təyin etmək üçün ölçüsüz ədədlərdən istifadə etmək məqsədə uyğun hesab olunur. Bu məqsədlə

(16) tənliyində aşağıdakı ölçüsüz kəmiyyətlərdən istifadə edək:

$$\theta = \frac{T-T_0}{T_0}; \quad \xi = \frac{x}{\ell},$$

$$\frac{d\theta}{d\xi} + 2 \frac{Nu}{Pe_2} \theta = \frac{P_{01}}{Pe_1} e^{-\beta \ell \xi} + \frac{P_{02}}{Pe_2} \quad (18)$$

Bu tənliyin  $\theta(0) = \theta_1$ ,  $\theta(1) = \theta_2$  şərtləri daxilində həlli

$$\theta_2 = \theta_1 e^{-2 \frac{Nu}{Pe_2}} + \left[ \frac{P_{01}}{Pe_1} \cdot \frac{\left( e^{-\beta \ell} - e^{-2 \frac{Nu}{Pe_2}} \right)}{2 \frac{Nu}{Pe_2} - \beta \ell} + \frac{P_{02}}{Pe_2} \frac{\left( 1 - e^{-2 \frac{Nu}{Pe_2}} \right)}{2 \frac{Nu}{Pe_2}} \right] \quad (19)$$

$$Pe_1 = \frac{\ell v}{a}, \quad Pe_2 = \frac{Rv}{a}, \quad Nu = \frac{\alpha \ell}{\lambda}, \quad P_{01} = \frac{J_0 \beta \ell^2}{\lambda T_0}; \quad P_{02} = \frac{\sigma(E + v\beta)^2 \ell^2}{\lambda T_0}$$

(11) şərtlərini nəzərə almaqla (19) düsturunu sadələşdirərək aşağıdakı formaya salmaq olar

$$\theta_2 = \theta_1 - 2 \frac{Nu}{Pe_2} \theta_1 + \frac{P_{01}}{Pe_1} + \frac{P_{02}}{Pe_2} \quad (20)$$

Buradan Nusselt ədədi üçün aşağıdakı ifadəni alırıq

$$Nu = \frac{Pe_2}{2\theta_1} (\theta_1 - \theta_2) + \frac{Pe_2}{2\theta_1} \left( \frac{P_{01}}{Pe_1} + \frac{P_{02}}{Pe_2} \right) \quad (21)$$

əgər xarici fiziki sahə təsir etmirsə, yəni xaricdən təsir edən fiziki sahənin enerjisi yoxdursa,  $Q(x)=0$  Nusselt ədədini  $Nu_0$ -la işarə etsək, alırıq:

$$\frac{Nu}{Nu_0} = 1 + \frac{\frac{P_{01}}{Pe_1} + \frac{P_{02}}{Pe_2}}{\theta_1 - \theta_2} \quad (22)$$

(22) düsturuna əsasən qeyd etmək olar ki, xarici fiziki sahənin təsirindən konvektiv istilik mübadiləsi və buna uyğun olaraq mayenin istilikvermə əmsalı intensivləşir. Enerjinin saxlanma qanununu tətbiq edərək mayenin laminar hərəkətində konvektiv istilik mübadiləsinin tədqiqi aşağıdakı nəticələrin alınmasına imkan verdi.

1. Mayenin konvektiv istilikvermə əmsalının təyində tətbiq olunan təcrübi riyazi modelin hesabına alınan tənliyin də təqribi metodla həll olunma məcburiyyəti yaranır; yəni həm riyazi modelin özü, həm də onun həll olunma metodu təqribidir. Bu səbəbdən, konvektiv istilik mübadiləsində mayenin istilikvermə əmsalının təyində buraxılan xəta digər parametrlərin təyində buraxılan xətdən çoxdur.

2. Mayenin özlülük əmsalı, istilik tutumu, akustik elektrik və maqnit xassələrini xarakterizə edən parametrlər daha dəqiq təyin olunduğundan, onun istilikvermə əmsalını təyin etmək üçün əlaqə düsturundan istifadə olunması məsləhət görülür.

[1] Г.Т. Гасанов, Х.Г. Гасанов. Нестационарный метод исследования теплофизических параметров жидкостей. Баку «АГНА», 2011, стр.224.

[2] Х.Г. Гасанов. Гидродинамические исследования взаимодействия акустических и лазерных лучей с жидкостью. Баку «stake» 2002, стр. 380.

M.A. Musaev, N.N. Hashimova

### THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE FLUID HEAT RATIO OF ITS RELATIONSHIP BETWEEN OTHER

The coefficient of convective heat exchange in the heat pipe heat-carrying fluid and other liquid thermophysical, acoustic, constant electrical and magnetic fields of a fixed link between the established parameters. The determination of the heat transfer coefficient of a liquid during its convective heat transfer with the environment mathematically reduces to solving the inverse problem for the heat equation.

M.A. MUSAYEV, N.N. HAŞIMOVA

**М.А. Мусаев, Н.Н. Гашимова**

**СВЯЗЬ МЕЖДУ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТЕПЛОТДАЧИ ЖИДКОСТИ С ЕЁ ДРУГИМИ  
ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Применяя закон сохранения энергии установлена связь между коэффициентом теплоотдачи жидкости при ее конвективном теплообмене с окружающей средой с другими ее теплофизическими, акустическими, постоянными электрическими и магнитными свойствами. Определение коэффициента теплоотдачи жидкости при ее конвективном теплообмене с окружающей средой математически сводится к решению обратной задачи для уравнения теплопроводности.

*Qəbul olunma tarixi: 19.10.2022*