

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ (УС) МАМЕДОВА – АХУНДОВА – САФАРОВА И ТЕЙТА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ, ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

Гуломов М.М.-к.т. н., и.о. доцента ТТУ им. М.С. Осими, Асоев М.Дж., зав. кафедры, Махкамова И.И.,
асистент - Технический колледж им. акад. М. Осими

Ключевые слова: уравнение состояния типа Мамедова–Ахундова–Сафарова и Тейта, наножидкость, вода, двуокись титана, давление, температура.

Создание экспериментальной установки для измерения вязкости наножидкостей при различных температурах и давлениях – трудоёмкая работа и необходимые различные аппаратуры, в частности, вискозиметр, грузопоршневой манометр МП-600, МП-2500 и др.

Для исследования плотности электролитов системы (воды +TiO₂) авторами был использован метод гидростатического взвешивания (установка профессора Гусейнова К. Д.). Вышеназванная установка, в основном, состоит из измерительного автоклава системы заполнения, системы вакуумирования, системы измерения изменения давления, температуры и аналитические весы [10]. Погрешность измерения плотности этим методом при $\alpha=0,95$, равна 0,1%. До проведения исследования плотности наножидкостей системы (H₂O+0; 0,1; 0,2; 0,3%) двуокись титана, экспериментальная установка (установка Гусейнова К.Д), было протестирована, т.е. было проведено контрольное измерение. В качестве контрольных образцов (тестирование установки) нами были использованы, толуол, бензол, вода и воздух.

Цель данной работы заключается в экспериментальном определении плотности нано жидкостей системы вода + двуокись титана в зависимости от температуры (293-553) К и давления (0,101-49,01) МПа. Для измерения плотности наножидкостей, электролитов, обычно используют метод гидростатического взвешивания и пьезометрический метод. Общая относительная погрешность измерения плотности наножидкостей при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ соответственно для метода гидростатического равен 0,1, а для пьезометрического метода -0,05%.

Результаты тестирования установки т.е. контрольных измерений показало что, в пределах погрешности опыта совпадает с литературными данными.

Надо отметить, что коэффициент динамической вязкости простых эфиров [8,9], сложных эфиров ацетатов, кислот, бензолов, ксилолов, алифатических спиртов и др. при различные интервалы температур и давление измеренных авторами работ Назиев Я.М, Гусейнов С.О., Шахвердиев А.А. [4,5,7,9,11].

Результаты экспериментального исследования плотности наножидкостей (коллоидных) показало, что с увеличением температуры плотность исследуемых электролитов уменьшается почти по линейному закону, а с повышением давления их плотность растёт.

Авторы ряд работ в том числе теплофизиков из г. Баку, Грозный, Москвы, Санкт-Петербурга для получения уравнение состояния использовали бинарные, тернарные растворы, электролитов, а также чистых углеводородов степенные, логарифмические и др. Уравнение состояния (УС). Для исследование плотности при высоких параметрах состояния было получено авторам д. тех. наук. Зариповой М. А. и др. (ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе) [1,2,11].

Погрешность измерения вязкости экспериментальными установками при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ равна 2,6%.

В настоящее время коэффициент динамической вязкости растворов бензола при различных температурах и атмосферном давлении и др. под руководством профессора Сафарова М.М., Нетьматова А. проведены экспериментальные исследования.

Кроме того, вязкость наножидкостей различного природа носителей в том числе масел, углеводородов, простых эфиров, бензолов и др. как в чистом виде, так и содержащей различных количества наночастиц (Ti, Ag, Al₂O₃, Ni, и др.).

Для составления физико-химических моделей и расчета процессов тепло-массообмена необходимо данные по теплофизическим реологическим свойствам в широком интервале температур и давления. Но так, как экспериментальная установка не позволяет провести измерения вязкости в этом диапазоне параметров состояния, поэтому мы перед собой поставили задачу использовать уравнение типа Тейта в следующем виде [5,11]:

$$\eta = \eta_0 \left(1 - AL_n \left| \frac{B+P}{B_0+P_0} \right| \right), \quad (1)$$

$$\gamma = \gamma_0 \left(1 - AL_n \left| \frac{B+P}{B_0+P_0} \right| \right), \quad (2)$$

Где η , η_0 - коэффициент динамической вязкости исследуемых растворов при различных температурах и давлениях.

γ , γ_0 – кинематический вязкость при заданных параметров состояние T, P и T₀, P₀:

A и B – соответственно коэффициенты уравнение Тейта.

С другой стороны уравнение (1) и (2) являются уравнение состояния для жидкостей.

Создание уравнение состояния вещество является важнейшей проблемой молекулярной физики. Если для газов и твердых тел этот вопрос отчасти решен, то для наножидкостей в настоящее время не существует уравнения состояния, достаточно обоснованного и пригодно для точных расчетов теплофизических свойств. Поэтому многие исследователи создают и используют эмпирические и полумэмпирические уравнения, которые в большинстве случаев дают вполне приемлемые результаты. Среди них уравнение состояния Тейта, Марнегхена, Берга, Ахундова-Мамедова [10,11].

Одним из самых известных эмпирических уравнений состояния является уравнения Тейта и его модифицированные варианты [8,11].

Таммам [47] усовершенствовал уравнение Тейта, и как оказалось, довольно удачно. Он научил следующее уравнение [4,5-9]:

$$-\frac{1}{\gamma_0} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial P} \right)_T = \frac{A}{B+P}, \quad (3)$$

Где А и В – параметры, не зависящие от давления, но, в общем случае, зависящие от температуры. Уравнение (3) можно представить в интегральной форме:

$$\gamma = \gamma_0 \left(1 - A \ln \frac{B+P}{B+P_0} \right), \quad (4)$$

Где P_0 - атмосферное давление, Па.

В существующих методах теоретического обоснования уравнения Тейта обычно получают сложные уравнения состояния, по функциональному виду подобное уравнению Тейта. Затем на основании экспериментальных данных делают допущение о том, что некоторые величины, являющиеся функциями температуры, плотности или вязкости, можно считать постоянными или величинами, зависящими только от температуры. На основе экспериментальных данных по плотности жидких простых эфиров при атмосферном давлении и различных температурах (до температуры кипения, $T_{кип}$) [7-9] (для всех жидких простых эфиров) получил следующие модифицированные уравнения Тейта.

$$\rho = \frac{\rho_0}{\left\{ 1 - C(T) \ln \left[\frac{B(T)+P}{B(T)+P_0} \right] \right\}}, \quad (5)$$

$$\text{Где } C(T) = \left[1,82 - 0,8 \left(\frac{T}{T_1} \right) \right] (1,6\mu^2 - 0,43\mu + 3,14 \cdot 10^{-2}), \quad (6)$$

$$B(T) = \left[2,53 - 1,52 \left(\frac{T}{T_1} \right) \right] (5,98 \cdot 10^7 \mu^2 - 1,24 \cdot 10^7 \mu + 1,09 \cdot 10^8), \quad (7)$$

Полученные уравнение (5) с учетом выражения (6) и (7) описывает экспериментальные данные по плотности жидких простых эфиров (диэтил-, дибутил-, диамил-, диизопропил-, диаллил-, дигексил-, диоктил др.) в интервале температур $T=(290-550)$ К и давлений (4,98-98,1) МПа со средне погрешностью (0,5-3,6) % [9,11].

Нами таким образом, доказано, что коэффициенты входящей в уравнение Тейта являются переменным для ряда простых эфиров, т.е. они также зависят от температуры. Исследованию уравнение Тейта посвящена не одна сотня научных публикаций. До настоящего времени нет строгого теоретического обоснования уравнений Тейта, неясен до конца и физический смысл параметров А и В.

В наножидкостях системы вода+TiO₂ нанонаполнителем изменялось в пределе от 0-0,3% массовой концентрации. Надо отметить, что для расчета плотности растворов жидкостей. В своей работе, мы использовали уравнение в следующем виде которое в науке названо уравнением типа Тейта[4-9].

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \ln \left[\frac{B+P}{B_0+P_0} \right]}, \quad (8)$$

где ρ_0, ρ – плотность при атмосферном давлении и $T = const$ плотность при различных температурах и (273 - 573)К и давлениях (4,91 - 100) МПа; В и В₀ – постоянные которые равны к единицу давление.

В 60-70 годы прошлого века теплофизики мира уравнение состояния жидких растворов электролитов и наножидкостей искали в вириальных виды, а также прямых имеющих логарифмических вид:

$$\rho = f(\rho); \rho = f(\rho^2, \rho^3, \rho^4 \dots \rho^n); \quad (9)$$

С помощью выражения (9) и экспериментальных данных т.е. плотности исследуемых растворов в координатах (P,T) был построен график зависимости $\rho = f(\rho, T)$; а затем получено уравнение состояния в виде:

$$\rho = f(\rho, T);$$

Так как графики уравнений полученных на плоскости (P,T) имеют сложный вид, т.е. не прямые линии, поэтому многие авторы, в том числе профессора Мамедов, Ахундов, Григорьев, Сафаров, и др., для получения прямых линии искали в следующих выражениях:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= f(T, P); \rho = f(T, P^2); P = f(\rho, T) \\ P &= f(\rho^2, T); P = f(P^3, T); \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Кроме, того на основе значения плотности, температуры и давления авторы для того чтобы получили прямые линии использовали следующие функции:

$$\rho = f(\rho); \frac{P}{\rho^2} = f(\rho^3; \rho^4; \rho^5; \rho^6). \quad (11)$$

Авторы Мамедов- Ахундов используя выражение (4) получили прямые линии;

$$\frac{P}{\rho^2} = f(\rho^6). \quad (12)$$

для ацетатов, бутиратов, сложных кислот эфиров и др. Были получены следующие графики представленные на рисунке 1[2].

Профессор Сафаров М.М., используя выражение (12) для жидких простых эфиров, водных раствор гидразина при высоких параметров состояние также получил график приведенных на рисунке 1-4[2,10,11]. Надо отметить, что ученики Сафарова М.М., также успешно использовали данную методику получения уравнения состояния, которые занимались исследованием плотности жидкостей, наножидкостей (как Едалиева З.Н., Зарипова М.А., Давлатов Н.Б. и др), [2,10,11].

Убедившись в точном получении уравнения состояния (УС) также для электролитов системы (H_2O+TiO_2), нами была использована данная методика.

Результаты обработки и получение уравнения состояния (УС) для некоторых исследуемых растворов при различных температурах и давлениях уравнение(1-5), представлены в таблицах 1-3 и рисунках 1-3.

-для воды без добавки наночастиц(TiO_2): $T = 283K : \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 295$ (13)

$$T = 293K : \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 238,9 \quad (14)$$

$$T = 323K : \frac{P}{\rho^2} = 666,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 669,8 \quad (15)$$

$$T = 353K : \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 192,2 \quad (16)$$

$$T = 393K : \frac{P}{\rho^2} = 285,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 218,6 \quad (17)$$

$$T = 433K : \frac{P}{\rho^2} = 333,3 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 223,3 \quad (18)$$

- для растворов системы ($H_2O+1,0\%TiO_2$): выражение (19) –(10)

$$T = 283K : \frac{P}{\rho^2} = 285,4 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 347,1 \quad (19)$$

$$T = 293K : \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 252,5 \quad (20)$$

$$T = 323K : \frac{P}{\rho^2} = 285,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 289,9 \quad (21)$$

$$T = 353K : \frac{P}{\rho^2} = 166,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 144,9 \quad (22)$$

$$T = 393K : \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 169,9 \quad (23)$$

$$T = 433K : \frac{P}{\rho^2} = 333,3 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 236,7 \quad (24)$$

-для растворов системы ($H_2O+3,0\%TiO_2$): выражение (25 - 30)

$$T = 283K : \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 315 \quad (25)$$

$$T = 293K : \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 290 \quad (26)$$

$$T = 323K : \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 241,1 \quad (27)$$

$$T = 353K : \frac{P}{\rho^2} = 222,2 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 221,1 \quad (28)$$

$$T = 393\text{K} : \frac{P}{\rho^2} = 285,7 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 247,1 \quad (29)$$

$$T = 433\text{K} : \frac{P}{\rho^2} = 250 \cdot 10^{-18} \rho^6 - 197,5 \quad (30)$$

Коэффициенты уравнения состояния (УС) для некоторых растворов системы представлены ниже (табл.).
-для воды без добавки наночастиц (TiO₂).

Таблица. -Значение коэффициентов уравнения Мамедова-Ахундова для H₂O.

T, K	$B \cdot 10^{-18}, \frac{\text{Па} \cdot \text{кг}^4}{\text{м}^3}$	$-A, \frac{\text{Па} \cdot \text{М}^6}{\text{кг}^2}$
283	250	295,0
293	222,2	238,9
323	666,9	669,8
353	222,2	192,2
393	285,7	218,6
433	333,3	223,3

-для растворов системы (H₂O+1,0%TiO₂).

T, K	$B \cdot 10^{-18}, \frac{\text{Па} \cdot \text{кг}^4}{\text{м}^3}$	$-A, \frac{\text{Па} \cdot \text{М}^6}{\text{кг}^2}$
283	285,4	347,1
293	250,0	252,5
323	285,7	285,9
353	166,7	144,9
393	222,2	169,9
433	333,3	236,7

-для растворов системы (H₂O+3,0%TiO₂):

T, K	$B \cdot 10^{-18}, \frac{\text{Па} \cdot \text{кг}^4}{\text{м}^3}$	$-A, \frac{\text{Па} \cdot \text{М}^6}{\text{кг}^2}$
283	250,0	315,0
293	250,0	290
323	222,2	241,1
353	222,2	221,1
393	285,7	247,1
433	250,0	197,5

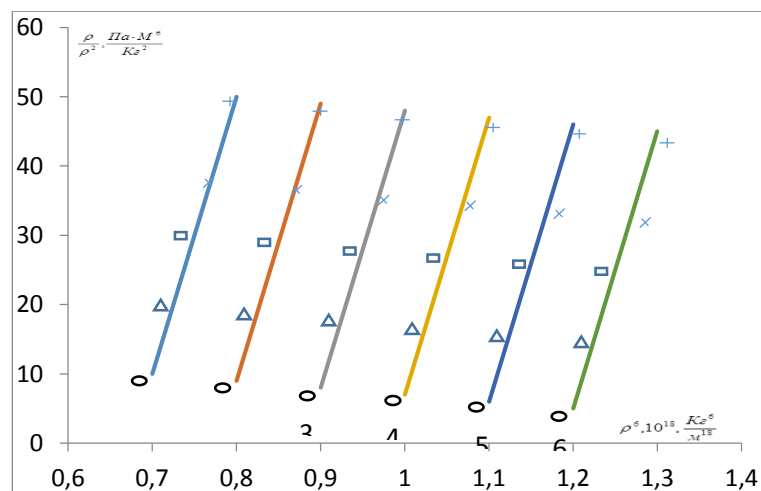


Рис. 1. -Зависимость $\frac{P}{\rho^2}$ от ρ^6 для образца №1 (H₂O – без добавки нано частиц) при различных температурах и давлениях: 1-433; 2-353; 3-323; 4-293; 5-293; 6-283К

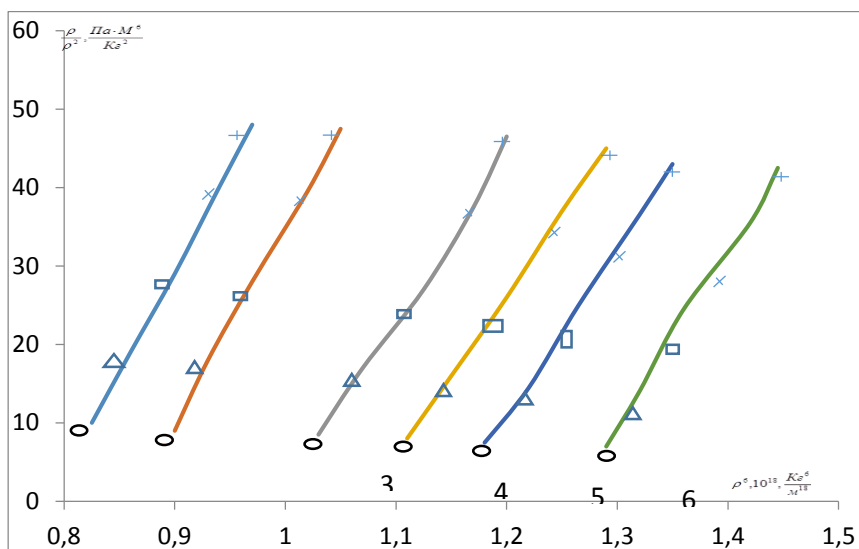


Рис. 2. -Зависимость $\frac{\rho}{\rho^2}$ от ρ^6 для образца ($H_2O + 3,0\%TiO_2$) при различных температурах и давлениях: 1-433; 2-393; 3-353; 4-323; 5-293; 6-283 К.

Как видно из рисунков 1 и 2 для всех исследуемых растворов системы ($H_2O + TiO_2$) график функциональной зависимости имеет $\frac{\rho}{\rho^2} = f(\rho^6)$ линейный характер.

Для определения коэффициента прямых линий представленных на рисунке 1 и 2 нами использованы метод наименьших квадратов, Excel или Matlab.

Уравнение состояния (УС) исследуемых образцов т.е. водных растворов двуокись титана имеет вид:

$$\frac{\rho}{\rho^2} = A + B\rho^6 \quad (31)$$

Анализ значений А и В, которые представлены в таблице 1 зависят от температуры.

График зависимости коэффициентов уравнения состояния (УС) типа Мамедова –Ахундова-Сафарова, т.е. для выражение имеет следующее вид (рисунки 3,4):

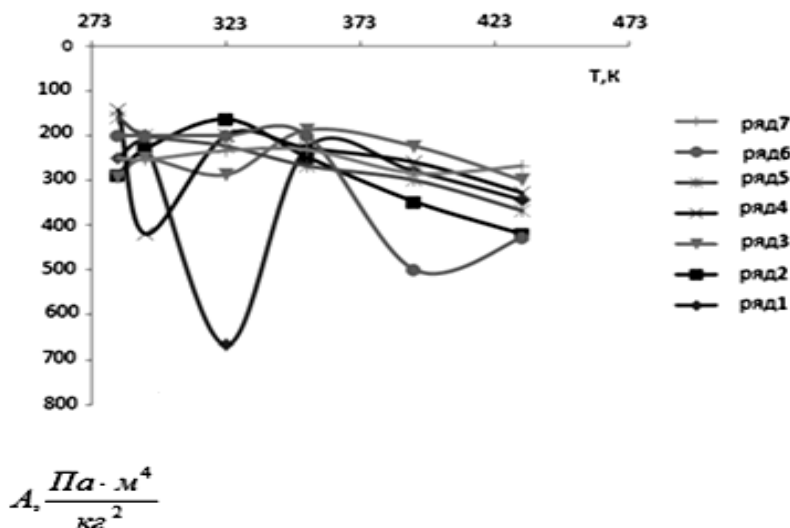


Рис. 3. -Зависимость коэффициента А от Т температуры Т,К:1– обр. №1 (H_2O); 2- обр. №2 ($H_2O + 0,5\%TiO_2$); 3- обр. №3 ($H_2O + 1,0\%TiO_2$); 4- обр. №4 ($H_2O + 1,5\%TiO_2$); 5- обр. №5 ($H_2O + 2,0\%TiO_2$); 6- обр. №6 ($H_2O + 2,5\%TiO_2$); 7- обр. №6 ($H_2O + 3,0\%TiO_2$);

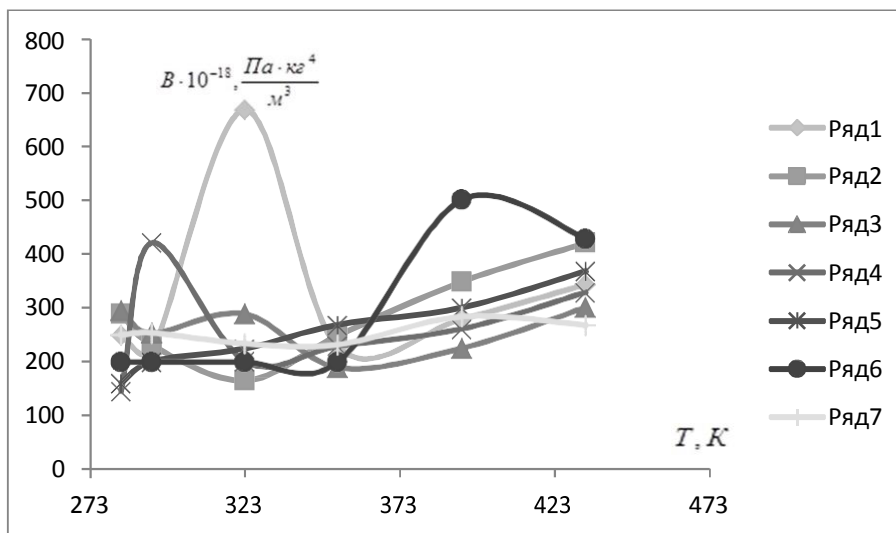


Рис. 4. -Зависимости коэффициента В от температуры Т, К: 1-обр. №1 (H₂O); 2-обр. №2 (H₂O+0,5%TiO₂); 3- обр. №3 (H₂O+1,0%TiO₂); 4- обр. №4 (H₂O+1,5%TiO₂); 5- обр. №5 (H₂O+2,0%TiO₂); 6- обр. №6 (H₂O+2,5%TiO₂); 3-обр. №6 (H₂O+3,0%TiO₂) Далее определив значение коэффициентов и получим температурную зависимость А(Т) и В(Т) определяется только для жидкого диэтило-вого эфира.

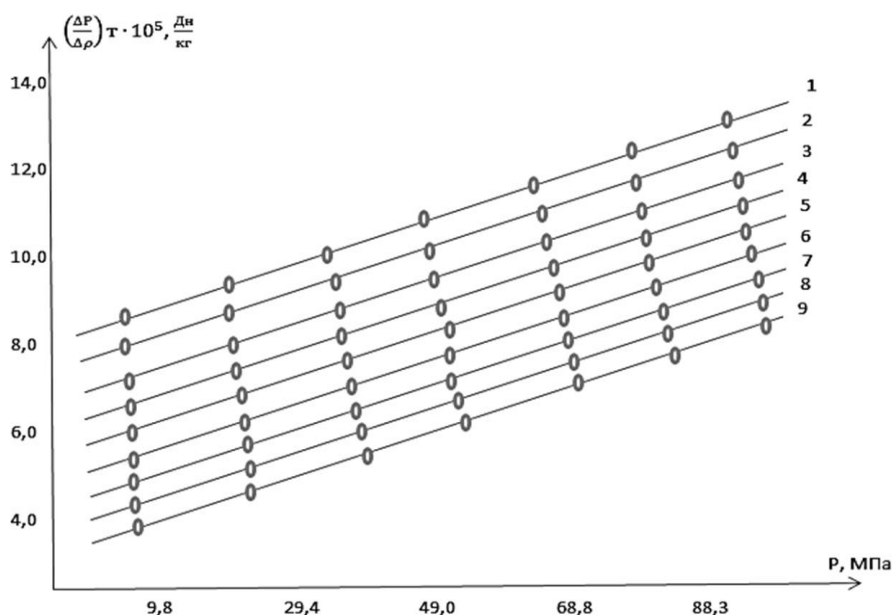


Рис. 5.- Зависимость для жидкого диэтилового эфира: 1-293,5; 2-317,4; 3-341,6; 4-396,7; 5-422,7; 6-450,9; 7-480,0; 9-453,0К.

Уравнение состояния (УС) Мамедова – Ахундова дает возможность с учетом решения дифференциальных уравнений первого и второго порядка можно определить calorические, термодинамические свойства исследуемых растворов системы (H₂O+TiO₂), т.е. разность теплоемкостей (C_p- C_v), коэффициент термического расширения () и коэффициент изотермической сжимаемости () при различных температурах и давлениях.

Литература

1. Сафаров М.М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина при различных температурах и давлениях. /Махмадали Махмадиевич Сафаров//Дис. д.т.н.- Душанбе, 1993. - 495 с.
2. Зарипова М.А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азото-содержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях. /Мохира Абдусаломовна Зарипова/дис.д-рат.н.- Душанбе, 2016. - 530с.
3. Исмонов Ф.Д. Взаимосвязь между динамическими характеристиками растворов системы бензола и полистирола при атмосферном давлении Т=293К, Вестник
4. Tait P.6 Report on Some of the Physical Properties of Water 1888 v 47.pp.301-308
5. Махно М.Г Изучение уравнения состояния и равновесных свойств молекулярных жидкостей./ Михаил Георгиевич Махно//Дис.канд.физ-матем.наук –Киев, 1982.-186с.
6. Абовский В.А. Об уравнении состояния Тейта/Теплофизика высоких температура, 1972.-Т.10.-№6.- С.1221-1225.
7. Сысоев В.М О статическом обосновании функционального вида уравнения Тейта// физика жидкого состояния–Киев, 1987.-№6.-С. 1221-1225.
8. Циклис Д.С., Маслеников В.Я., Абовский В.А. Корреляции констант уравнения Тейта. Докл.АН СССР, 1977.-

T.233.-№5.-С. 816-820.

9. Адаменко И.И., Самойленко Л.П. Об уравнении состояния Тейта // физика жидкого состояния – Киев, 1987. -№15. - С.120-124.

10. Едалиева З.Н. Теплофизические и термодинамические характеристики полупроводниковых систем $Cd_{50}Sb_{50}$ – $Ni_{50}Sb_{50}$ и влияние их на изменение свойства диметилгидразина от температуры и давления /Зулфия Нуралиевна Едалиева// дис.к.т.н. -Душанбе- Казань, 2016. - 148с.

11. Давлатов Н. Б., Сафаров М.М., Зарипова М.А. Плотность и уравнение состояния водных растворов ($0,5N_2H_4+0,5H_2O$). Материалы 10 МТФШ Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ материалов и изделий, 3-8 октября 2016г.- Душанбе- Тамбов, 2016. - С.335-340.

АННОТАЦИЯ

ИСТИФОДАИМУОДИЛАИ-и МАМЕДОВ-АХУНДОВ-САФАРОВ ВА ТЕЙТА БАРОИ ҲИСОБКАРДАНИ ЗИЧИИ ЭЛЕКТРОЛЕТҲО ДАР ҲАРОРАТ ВА ФИШОРҲО

Дар мақола натиҷаҳои генерализатсия ва дарёфт кардани муодилаи ҳолати электролитҳои Мамедов - Ахундов - Сафаров ва Тейта дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун оварда шудаанд. Хатогии нисбии ченкунии зичӣ аз рӯи эҳтимолияти боварӣ мутаносибан 0,1% мебошад. Таъвозуни ҳолати электролитҳо ва нано- моеъҳо имкон медиҳад, ки хусусиятҳои калориметрӣ ва термодинамикии онҳо дар ҳарорат ва фишорҳои гуногун ҳисоб карда шаванд.

ANNOTATION

EQUATION OF CONDITION (US) OF MAMEDOV - AHUNDOV - SAFAROV AND TEIT FOR CALCULATION OF VISCOSITY, ELECTROLYT DENSITY AT DIFFERENT TEMPERATURES AND PRESSURES

The paper presents the results of generalization and obtaining an equation of state of the Mamedov – Akhundov – Safarov and Teita type of electrolytes at various temperatures and pressures. The total relative error of density measurement at a confidence probability of 0.1%, respectively. The equations of state of electrolytes and nano-liquids will make it possible to calculate their calorimetric and thermodynamic properties at different temperatures and pressures.

Keywords: Mamedov – Akhundov – Safarov and Teita type equations of state, nanofluid, water, titanium dioxide, pressure, temperature.