

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИЭТИЛОВОГО ЭФИРА СЕБАЦИНОВОЙ КИСЛОТЫ

К.Д.ГУСЕЙНОВ, Э.Г.КЕРИМОВ

*Азербайджанский Технический Университет  
AZ 1073, Баку, пр. Г.Джавида, 25*

На основе данных полученных в результате экспериментальных исследований удельных объемов диэтилового эфира себаценовой кислоты в широком диапазоне параметров состояния составлено уравнение состояния, и описывается метод определения с помощью этого уравнения изменений термодинамических потенциалов, калорических и термических величин, скорости распространения звуковых колебаний в жидкости.

Методом гидростатического взвешивания нами проведено экспериментальное исследование удельных объемов диэтилового эфира себаценовой кислоты при давлениях 0,1÷40МПа и температурах 300÷550К. Результаты для разных значений параметров состояния приводятся в Таблице 1.

### Таблица 1

Удельные объемы диэтилового эфира себаценовой кислоты,  $v \cdot 10^3$  (м<sup>3</sup>/кг).

Р, МПа Т, К	0,1	10	20	30	40
300	1.0398	1.02669	1.0183	1.0119	1.0036
350	1.0694	1.0546	1.0435	1.0338	1.0256
400	1.10266	1.0858	1.0705	1.0579	1.0488
450	1.1391	1.1158	1.1002	1.0856	1.0738
500	1.1782	1.1492	1.1298	1.1118	1.0975
550	1.2263	1.1901	1.1625	1.1414	1.1246

На основании полученных данных составлено эмпирическое уравнение состояния:

$$v = a_0 + a_1 \cdot \frac{T}{P} + a_2 \cdot \frac{T^2}{P^2}, \quad (1)$$

где  $a_0$ (м<sup>3</sup>/кг),  $a_1$ (м<sup>2</sup>/К·сек<sup>2</sup>),  $a_2$  [кг·м/(К·сек<sup>2</sup>)<sup>2</sup>] являются постоянными для каждой изотермы, Т – температура (К), Р – давление (Мпа).

Значения этих коэффициентов определяются для каждой изотермы по экспериментальным данным удельного объема (v). Уравнение (1) описывает опытные значения удельных объемов в пределах 0,04÷0,01% и позволяет с использованием известных термодинамических соотношений вычислить ряд термодинамических потенциалов, калорических и термических величин, скорости распространения звуковых колебаний в жидкости.

Для этих целей напишем известное термодинамическое уравнение для изменения энтальпии в изотермическом процессе [1]:

$$i(P_2, T) - i(P_1, T) = \int_{P_1}^{P_2} \left[ v - T \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \right] dp, \quad (2)$$

где  $i(P_2, T)$  и  $i(P_1, T)$  значения энтальпии при давлениях  $P_2$  и  $P_1$  при  $T = \text{const}$ . Решая совместно уравнения (1) и (2), мы получим эмпирическое соотношение для расчета изменения энтальпии при различных давлениях по изотермам:

$$i(P_2, T) - i(P_1, T) = \Delta P \cdot \left( a_0 - a_2 \cdot T^2 \cdot \frac{1}{P_1 \cdot P_2} \right), \quad (3)$$

где  $\Delta P = P_2 - P_1$ ,  $a_0$  и  $a_2$  определяются из уравнения (1).

По зависимости (3) нами вычислены значения изменения энтальпии для диэтилового эфира себациновой кислоты при давлении 10 МПа и различных температурах. Результаты приводятся в Таблице 2.

**Таблица 2.**

Изменение энтальпии диэтилового эфира себациновой кислоты,  $\Delta i$  (кДж/кг).

Т, К	300	350	400	450	500
$\Delta i$ (кДж/кг)	14.29	15.08	16.00	17.30	20.08

Графическая обработка этих данных показала, что  $\Delta i$  является гладкой функцией температуры, по этой зависимости нами вычислены значения  $\Delta i$  для различных температур. Зависимость изменения энтальпии от температуры при  $P = 10$  МПа хорошо описывается квадратичным уравнением:

$$\Delta i = \kappa_1 + \kappa_2 \cdot T + \kappa_3 \cdot T^2, \quad (4)$$

где  $\kappa_1 = -289,05$  (кДж/кг),  $\kappa_2 = 0,6282$  (кДж/кг·К),  $\kappa_3 = 0,001274$  (кДж/кг·К<sup>2</sup>)

Теперь можно определить величину изобарной теплоемкости при  $P = 10$  МПа из следующего термодинамического соотношения:

$$C_p = \left[ \frac{\partial(\Delta i)}{\partial T} \right]_p. \quad (5)$$

Используя уравнение (4), мы вычислили  $C_p$  при различных температурах. Эти данные приводятся в Таблице 3.

**Таблица 3.**

Изобарная теплоемкость  $C_p$  (кДж/кг·К) при  $P = 10$  МПа.

Т, К	300	350	400	450	500
$C_p$ (кДж/кг·К)	1.393	1.520	1.674	1.775	1.902

Для того чтобы определить барическую зависимость  $C_p$ , можно пользоваться термодинамическим соотношением [1]:

$$C_p(P_2, T) - C_p(P_1, T) = -T \cdot \int_{P_1}^{P_2} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p \cdot dp, \quad (6)$$

где  $C_p(P_2, T)$  и  $C_p(P_1, T)$  значения изобарной теплоемкости при давлениях  $P_2$  и  $P_1$  и температуре  $T$ . Отметим, что  $C_p(P_1, T)$  можно принимать как  $C_p(10 \text{ МПа}, T)$ , эти значения приводятся в Таблице 3.

Зависимость удельного объема жидкости от температуры при изобарическом процессе описывается следующим уравнением:

$$P = \text{const}, \quad v = c \cdot e^{b \cdot T}, \quad (7)$$

где  $c$  и  $b$  – постоянные для каждой изобары.

Из уравнения (7) получим:

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p = c \cdot b^2 \cdot e^{b \cdot T} = (v \cdot b^2)_p. \quad (8)$$

Подставив уравнения (8) в уравнение (6) получим:

$$C_p(P_2, T) - C_p(P_1, T) = -T \cdot \int_{P_1}^{P_2} (v \cdot b^2)_p dp = -T \cdot v \cdot b^2 \cdot \Delta P \quad (9)$$

$$C_p(P_2, T) = C_p(10 \text{ МПа}, T) - T \cdot v \cdot b^2 \cdot \Delta P,$$

где  $\Delta P = P_2 - P_1$ , значение “b” определяется по двум значениям удельного объема при температурах  $T_1$  и  $T_2$ :

$$b = \frac{\lg v_2 - \lg v_1}{(T_2 - T_1) \cdot \lg e}.$$

Значения “b” нами вычислены для давлений 20, 30 и 40 МПа при температурах 300÷500 К. Далее нами оценивалось значение комплекса  $T \cdot b^2 \cdot v \cdot \Delta P$ , входящего в уравнение (9). Ниже приводятся эти результаты для трех изотерм (Таблица 4).

**Таблица 4.**

Значения комплекса  $(T \cdot b^2 \cdot v \cdot \Delta P)$  (кДж/кг·К).

Т, К \ P, МПа	20	30	40
300	0,0008225	0,0013357	0,001816
350	0,0009834	0,0015935	0,0021657
400	0,001154	0,001864	0,0021515

С учетом результатов, приводимых в Таблица 4, определим значения  $C_p$  при различных давлениях и температурах (Таблица 5).

**Таблица 5.**

Изобарная теплоемкость диэтилового эфира себаценовой кислоты  $C_p$  (кДж/кг·К).

Т, К \ P, МПа	10	20	30	40
300	1.393	1.392	1.391	1.389
350	1.520	1.519	1.518	1.517
400	1.647	1.646	1.645	1.644
450	1.775	1.773	1.772	1.771
500	1.902	1.900	1.899	1.898

Расчет  $C_p/C_v$  выполним по зависимости [2]:

$$\frac{C_p}{C_v} = 1 + \frac{K}{\mu \cdot C_p}, \quad (10)$$

где  $K=56,7$  Дж/моль·К,  $\mu$  - молекулярная масса эфира ( $\mu=258,36 \cdot 10^{-3}$  кг/моль),  $C_p$  - изобарная теплоемкость, кДж/кг·К.

Значения  $C_p/C_v$  приводятся в Таблице 6.

**Таблица 6.**

Значения  $C_p/C_v$  для диэтилового эфира себаценовой кислоты.

T, К \ P, МПа	10	20	30	40
300	1.1575	1.1576	1.1577	1.1578
350	1.1444	1.1445	1.1446	1.1447
400	1.1332	1.1333	1.1334	1.1335
450	1.1236	1.1237	1.1238	1.1239
500	1.1154	1.1155	1.1155	1.1156

Зная отношения  $C_p/C_v$  при различных параметрах состояния, мы вычислили изохорную теплоемкость  $C_v$  диэтилового эфира. При этом мы пользовались значениями  $C_p$  (Таблица 5.). Эти результаты приводятся в Таблице 7.

**Таблица 7.**

Изохорная теплоемкость диэтилового эфира себаценовой кислоты  $C_v$  (кДж/кг·К).

T, К \ P, МПа	10	20	30	40
300	1.204	1.202	1.201	1.200
350	1.328	1.327	1.326	1.325
400	1.453	1.452	1.451	1.450
450	1.579	1.578	1.577	1.576
500	1.705	1.704	1.703	1.702

Скорость “с” звуковых колебаний в жидкости можно вычислить по известной зависимости:

$$c = \sqrt{\frac{C_p \cdot v}{C_v \cdot \beta_T}},$$

где  $\beta_T$  изотермическая сжимаемость жидкости.

Тепловое расширение  $\alpha_p$  и  $\beta_T$  можно вычислить из уравнения состояния (1). В Таблица 8. приводится скорость распространения звука в диэтиловом эфире для трех температур при различных давлениях.

**Таблица 3.**

Скорость звука в диэтиловом эфире себаценовой кислоты  $c$  (м/с).

T, К	P, МПа			
	10	20	30	40
300	1160	1211	1268	1334
350	1035	1097	1170	1262
400	895	969	1064	1195

Таким образом, на основании составленного нами эмпирического уравнения состояния с учетом известных термодинамических уравнений можно вычислить изменение энтальпии, изобарной и изохорной теплоемкостей, скорость распространения звуковых колебаний, а также термические коэффициенты  $\beta_T$  и  $\alpha_p$ . Зависимость этих величин от давления и температуры соответствует известным закономерностям молекулярной физики. Такая методика расчета теплофизических

величин может быть применена также к другим жидким системам, так как расчет ведется на основании термодинамических соотношений.

1. В.А.Кириллин, В.В.Сычев, А.Е.Шейндлин, *Техническая термодинамика. М., «Энергия», (1974) 448.*
2. Л.П.Филиппов, Статья в сборнике Теплофизические свойства жидкостей и взрывное вскипание, Свердловск, (1976).
3. Э.Г.Керимов, М.А.Гусейнов Н.Əliyev və Azərbaycanca elmi-texniki tərəqqi mövzusunda professor-müəllim heyətinin və aspirantların elmi-praktiki konfransı, AzTU, I çast (2003) 72.

**SEBATSİNAT TURŞUSUNUN DİETİL EFİRİNİN  
İSTİLİK – FİZİKİ XASSƏLƏRİ**

**K.D.HÜSEYNOV, E.Q.KƏRİMOV**

Hal parametrlərinin geniş diapazonunda xüsusi həcmənin eksperimental tədqiqatlar nəticəsində alınan qiymətləri əsasında hal tənliyi qurulub və bu tənliyin köməyi ilə termodinamik potensialların dəyişməsinin, kalorik və termik kəmiyyətlərin, mayelərdə səs rəqslərinin yayılma sürətinin təyin edilməsi üsulu təsvir olunur.

**THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THE DIETHYL SEBACATE**

**K.D.HUSEYNOV, E.G.KERIMOV**

On the basis of the data of the specific volumes received as a result of experimental researches in a wide range of parameters of a condition the equation of a condition was made and the method of definition with the help of this equation of changes of thermodynamic potentials, thermal-energy variables and thermal variables, speed of distribution of sound fluctuations in a liquid were described.

Редактор: М.Алиев