

## РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИНАРНЫХ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ *n*-АЛКАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ. ИЗБЫТОЧНЫЙ МОЛЯРНЫЙ ОБЪЕМ

*В.С. Самуйлов, Т.С. Хасанишин*

С использованием данных о скорости звука вычислены избыточные молярные объемы четырех бинарных жидких смесей *n*-алканов с одним общим компонентом: гексан + гексадекан, октан + гексадекан, декан + гексадекан и додекан + гексадекан при температурах 298–433 К и давлениях 0,1–100 МПа. Изучено поведение избыточного молярного объема в зависимости от температуры, давления и состава смеси. Избыточные молярные объемы аппроксимированы полиномиальными уравнениями.

### Введение

При анализе и статистической обработке данных по термодинамическим свойствам жидких смесей общепринятой практикой является аппроксимация либо непосредственно самого свойства реальной смеси, либо отклонение его от свойства идеальной смеси в зависимости от состава смеси и параметров состояния, т.е.

$$Y^E = Y - Y^{ид}, \quad (1)$$

где  $Y^E$  – отклонение свойства реальной смеси от свойства идеальной смеси, называемое избыточной термодинамической функцией (свойством);

$Y$  – свойство реальной смеси;

$Y^{ид}$  – свойство идеальной смеси.

Действительно, характер зависимостей реальных смесей наиболее полно раскрывается при сопоставлении их с соответствующими зависимостями для идеальных смесей [1–3]. При интерпретации экспериментальных данных появление избыточных термодинамических функций связывают с изменением как структуры веществ, так и межмолекулярных взаимодействий при переходе из индивидуального состояния в смесь. Анализ и систематизация бинарных смесей позволяет выявить закономерности поведения многокомпонентных смесей.

В термодинамических исследованиях важное место занимает изучение избыточного молярного объема  $V^E$ . Такие исследования обусловлены высокой чувствительностью объемных свойств и особенностями структуры смесей, поскольку отличия взаимодействия между молекулами заметно проявляются на объемных свойствах, которые являются важным источником характеристик взаимодействия между компонентами в смеси.

В представленной работе выполнен расчет избыточного молярного объема бинарных жидких смесей *n*-гексадекана ( $C_{16}$ ) с *n*-гексаном ( $C_6$ ), *n*-октаном ( $C_8$ ), *n*-деканом ( $C_{10}$ ) и *n*-додеканом ( $C_{12}$ ) при давлениях 0,1–100 МПа и температурах для смеси  $C_6 + C_{16} - T = 298-333$  К, для  $C_8 + C_{16} - T = 298-393$  К, для  $C_{10} + C_{16}$  и  $C_{12} + C_{16} - T = 298-433$  К.

### Метод расчета

Избыточные молярные объемы  $V^E$  в соответствии с (1) определялись по уравнению

$$V^E = V - V^{ид}, \quad (2)$$

где  $V$  и  $V^{ид}$  – молярные объемы реальной и идеальной смеси соответственно. Они определяются как

$$V = \frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho}, \quad (3)$$

$$V_{ид} = \frac{x_1 M_1}{\rho_1} + \frac{x_2 M_2}{\rho_2}. \quad (4)$$

Уравнение (2) с учетом (3) и (4) принимает окончательный вид

$$V^E = x_1 M_1 \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_1} \right) + x_2 M_2 \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_2} \right), \quad (5)$$

где  $x_1, x_2, \rho_1, \rho_2$  и  $M_1, M_2$  – молярные концентрации, плотности и молярные массы первого и второго компонентов смеси соответственно;

$\rho$  – плотность смеси.

Плотность смесей  $\rho$  и плотность чистых компонентов  $\rho_1, \rho_2$  рассчитывались с использованием экспериментальных данных о скорости звука [4–7]. Подробно методика их расчета описана в [8, 9].

Результаты расчета избыточного объема представлены в таблице 1. Здесь и далее в таблицах и рисунках  $x_1$  – молярная концентрация первого компонента.

Таблица 1 – Рассчитанные значения избыточного молярного объема  $V^E$  в бинарных жидких смесях *n*-алканов

$x_1$	$T, K$							
	298,15	313,15	333,15	353,15	373,15	393,15	413,15	433,15
$C_6(1) + C_{16}(2)$								
$p = 0,1 \text{ МПа}$								
0,25	-0,390	-0,492	-0,660	-	-	-	-	-
0,50	-0,636	-0,805	-1,089	-	-	-	-	-
0,75	-0,613	-0,782	-1,072	-	-	-	-	-
$p = 20 \text{ МПа}$								
0,25	-0,274	-0,322	-0,408	-	-	-	-	-
0,50	-0,417	-0,502	-0,644	-	-	-	-	-
0,75	-0,385	-0,463	-0,601	-	-	-	-	-
$p = 40 \text{ МПа}$								
0,25	-	-0,226	-0,279	-	-	-	-	-
0,50	-	-0,347	-0,435	-	-	-	-	-
0,75	-	-0,308	-0,391	-	-	-	-	-
$p = 60 \text{ МПа}$								
0,25	-	-0,161	-0,194	-	-	-	-	-
0,50	-	-0,252	-0,312	-	-	-	-	-
0,75	-	-0,217	-0,274	-	-	-	-	-
$p = 80 \text{ МПа}$								
0,25	-	-0,109	-0,130	-	-	-	-	-
0,50	-	-0,186	-0,229	-	-	-	-	-
0,75	-	-0,156	-0,198	-	-	-	-	-
$p = 100 \text{ МПа}$								
0,25	-	-	-0,077	-	-	-	-	-
0,50	-	-	-0,167	-	-	-	-	-
0,75	-	-	-0,143	-	-	-	-	-
$C_8(1) + C_{16}(2)$								
$p = 0,1 \text{ МПа}$								
0,25	-0,183	-0,226	-0,297	-0,387	-0,502	-0,650	-	-
0,50	-0,285	-0,352	-0,465	-0,609	-0,795	-1,039	-	-
0,75	-0,253	-0,317	-0,423	-0,560	-0,738	-0,974	-	-
$p = 20 \text{ МПа}$								
0,25	-0,118	-0,142	-0,181	-0,226	-0,279	-0,339	-	-
0,50	-0,187	-0,226	-0,287	-0,360	-0,446	-0,546	-	-

Продолжение таблицы 1

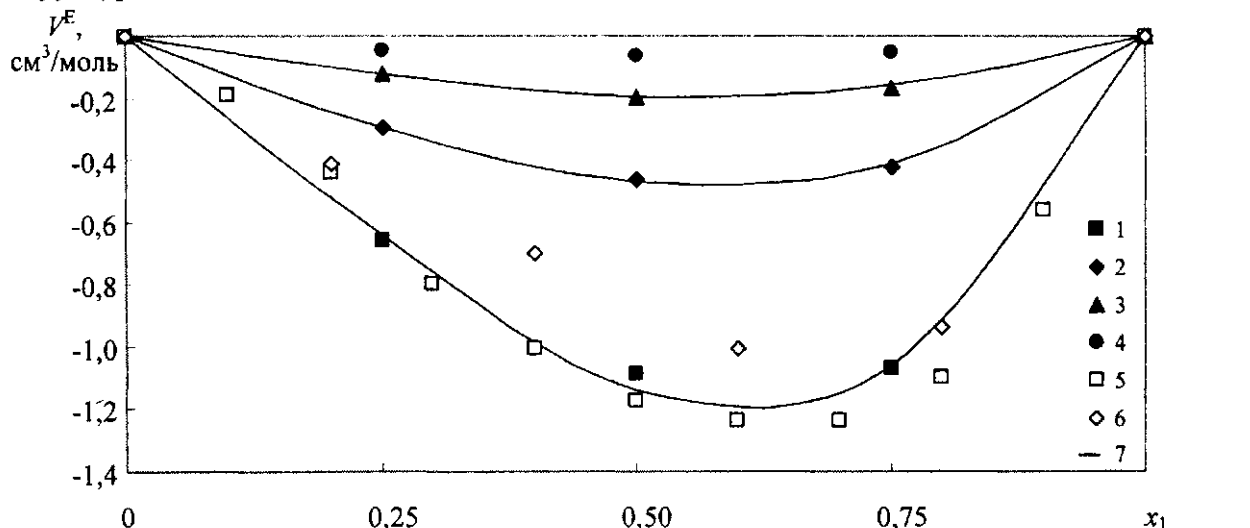
$x_1$	$T, K$							
	298,15	313,15	333,15	353,15	373,15	393,15	413,15	433,15
0,75	-0,165	-0,204	-0,262	-0,330	-0,409	-0,502	-	-
				$p = 40 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,095	-0,119	-0,148	-0,180	-0,217	-	-
0,50	-	-0,158	-0,198	-0,244	-0,299	-0,361	-	-
0,75	-	-0,143	-0,184	-0,229	-0,279	-0,337	-	-
				$p = 60 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,064	-0,080	-0,099	-0,123	-0,149	-	-
0,50	-	-0,115	-0,143	-0,177	-0,216	-0,262	-	-
0,75	-	-0,105	-0,137	-0,172	-0,209	-0,252	-	-
				$p = 80 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,043	-0,053	-0,066	-0,083	-0,104	-	-
0,50	-	-0,086	-0,107	-0,131	-0,162	-0,199	-	-
0,75	-	-0,078	-0,106	-0,134	-0,164	-0,200	-	-
				$p = 100 \text{ МПа}$				
0,25	-	-	-0,033	-0,041	-0,054	-0,071	-	-
0,50	-	-	-0,080	-0,099	-0,123	-0,154	-	-
0,75	-	-	-0,083	-0,107	-0,132	-0,162	-	-
			$C_{10}(1) + C_{16}(2)$					
				$p = 0,1 \text{ МПа}$				
0,25	-0,077	-0,095	-0,124	-0,159	-0,203	-0,258	-0,328	-0,419
0,50	-0,126	-0,154	-0,198	-0,252	-0,320	-0,406	-0,516	-0,660
0,75	-0,108	-0,132	-0,170	-0,218	-0,277	-0,354	-0,454	-0,584
				$p = 20 \text{ МПа}$				
0,25	-0,046	-0,061	-0,080	-0,100	-0,120	-0,140	-0,163	-0,190
0,50	-0,085	-0,105	-0,134	-0,164	-0,196	-0,231	-0,270	-0,318
0,75	-0,071	-0,089	-0,114	-0,141	-0,169	-0,200	-0,235	-0,281
				$p = 40 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,037	-0,054	-0,070	-0,084	-0,095	-0,105	-0,118
0,50	-	-0,074	-0,098	-0,121	-0,143	-0,163	-0,185	-0,212
0,75	-	-0,061	-0,083	-0,104	-0,123	-0,142	-0,163	-0,190
				$p = 60 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,018	-0,035	-0,050	-0,062	-0,070	-0,075	-0,081
0,50	-	-0,052	-0,074	-0,094	-0,112	-0,127	-0,142	-0,159
0,75	-	-0,039	-0,06	-0,079	-0,096	-0,111	-0,126	-0,146
				$p = 80 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,002	-0,020	-0,035	-0,046	-0,052	-0,055	-0,058
0,50	-	-0,034	-0,055	-0,074	-0,091	-0,103	-0,114	-0,126
0,75	-	-0,021	-0,042	-0,061	-0,077	-0,091	-0,103	-0,118
				$p = 100 \text{ МПа}$				
0,25	-	-	-0,006	-0,021	-0,032	-0,038	-0,040	-0,039
0,50	-	-	-0,040	-0,059	-0,074	-0,085	-0,094	-0,102
0,75	-	-	-0,027	-0,046	-0,062	-0,074	-0,085	-0,097
			$C_{12}(1) + C_{16}(2)$					
				$p = 0,1 \text{ МПа}$				
0,25	-0,029	-0,035	-0,046	-0,058	-0,073	-0,091	-0,113	-0,140
0,50	-0,041	-0,050	-0,065	-0,083	-0,104	-0,131	-0,163	-0,204
0,75	-0,033	-0,040	-0,052	-0,067	-0,085	-0,106	-0,134	-0,168
				$p = 20 \text{ МПа}$				
0,25	-0,013	-0,019	-0,027	-0,034	-0,041	-0,046	-0,051	-0,058
0,50	-0,021	-0,028	-0,037	-0,046	-0,055	-0,063	-0,072	-0,082
0,75	-0,016	-0,022	-0,031	-0,041	-0,050	-0,059	-0,066	-0,071
				$p = 40 \text{ МПа}$				
0,25	-	-0,005	-0,013	-0,019	-0,024	-0,026	-0,026	-0,027
0,50	-	-0,009	-0,016	-0,023	-0,028	-0,031	-0,032	-0,035
0,75	-	-0,006	-0,014	-0,022	-0,028	-0,033	-0,035	-0,033
				$p = 60 \text{ МПа}$				
0,25	-	0,007	-0,001	-0,008	-0,012	-0,013	-0,011	-0,009
0,50	-	0,006	0,000	-0,006	-0,009	-0,010	-0,009	-0,009
0,75	-	0,007	0,000	-0,007	-0,013	-0,016	-0,016	-0,011

Продолжение таблицы 1

$x_1$	$T, K$							
	298,15	313,15	333,15	353,15	373,15	393,15	413,15	433,15
	$p = 80 \text{ МПа}$							
0,25	–	0,017	0,009	0,002	–0,003	–0,004	–0,001	0,004
0,50	–	0,019	0,013	0,008	0,005	0,005	0,007	0,010
0,75	–	0,019	0,011	0,005	0,000	–0,003	–0,002	0,003
	$p = 100 \text{ МПа}$							
0,25	–	–	0,018	0,010	0,005	0,004	0,008	0,014
0,50	–	–	0,025	0,020	0,017	0,017	0,020	0,023
0,75	–	–	0,021	0,015	0,010	0,007	0,008	0,013

### Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 1 в качестве примера показаны зависимости избыточного молярного объема от состава для изученных смесей при атмосферном давлении и температуре 333,15 К. Как видно из таблицы 1, избыточные молярные объемы отрицательны, за исключением смеси  $C_{12} + C_{16}$ , для которой значения  $V^E$  при давлениях  $p = 60\text{--}80$  МПа меняют знак и при  $p = 100$  МПа во всем исследованном интервале температур становятся положительными. С ростом давления при постоянной температуре значение  $V^E$  уменьшается, с ростом температуры при неизменном давлении увеличивается. Самые большие отрицательные избыточные объемы находятся в интервале  $0,55 < x_1 < 0,65$  и имеют максимальные значения для смеси  $C_6 + C_{16}$ , поскольку гексан очень сжимаем. С увеличением числа углеродных атомов в молекуле первого компонента величина избыточных объемов уменьшается во всем исследованном диапазоне параметров. Смесь  $C_{12} + C_{16}$  становится близкой к идеальной смеси. Это свидетельствует о том, что отклонение от идеальности тем меньше, чем меньше различие в массе и структуре компонентов смеси.



1 –  $C_6 + C_{16}$  (настоящая работа); 2 –  $C_8 + C_{16}$  (настоящая работа); 3 –  $C_{10} + C_{16}$  (настоящая работа); 4 –  $C_{12} + C_{16}$  (настоящая работа); 5 –  $C_6 + C_{16}$  [16]; 6 –  $C_6 + C_{16}$  [18]; 7 – расчет по уравнению (8)

Рисунок 1 – Избыточный молярный объем в смеси алкан + гексадекан при давлении 0,1 МПа и температуре 333,15 К

Проведено сравнение результатов расчета при атмосферном и повышенном давлении для отдельных смесей с данными прямых измерений [10–13] и со значениями  $V^E$ , вычисленными с использованием экспериментальных данных о плотности [14–19]. Результаты сравнения для смеси  $C_6 + C_{16}$  (рисунок 2) при атмосферном давлении показали, что данные [10] при температуре 324,15 К, величины [11] и [13] при 313,15 К лежат выше наших расчетных значений в среднем на  $0,1 \text{ см}^3/\text{моль}$ . Измерения [12] при 303,15 К имеют величину отклонения, не превышающую  $0,08 \text{ см}^3/\text{моль}$ . Согласование со значениями  $V^E$  [16] при температурах 298–333 К находится в пределах  $\pm 0,12 \text{ см}^3/\text{моль}$ . Измерения [10] для смеси  $C_8 + C_{16}$  при

$T = 324\text{--}379$  К согласуются в среднем в пределах  $\pm 0,08$  см<sup>3</sup>/моль. Необходимо отметить, что максимальное отклонение результатов наших расчетов от данных других авторов не превышает  $0,12$  см<sup>3</sup>/моль. Таким образом, проведенный сопоставительный анализ показывает, что согласование с литературными данными находится в пределах суммарной погрешности экспериментов и расчетов.

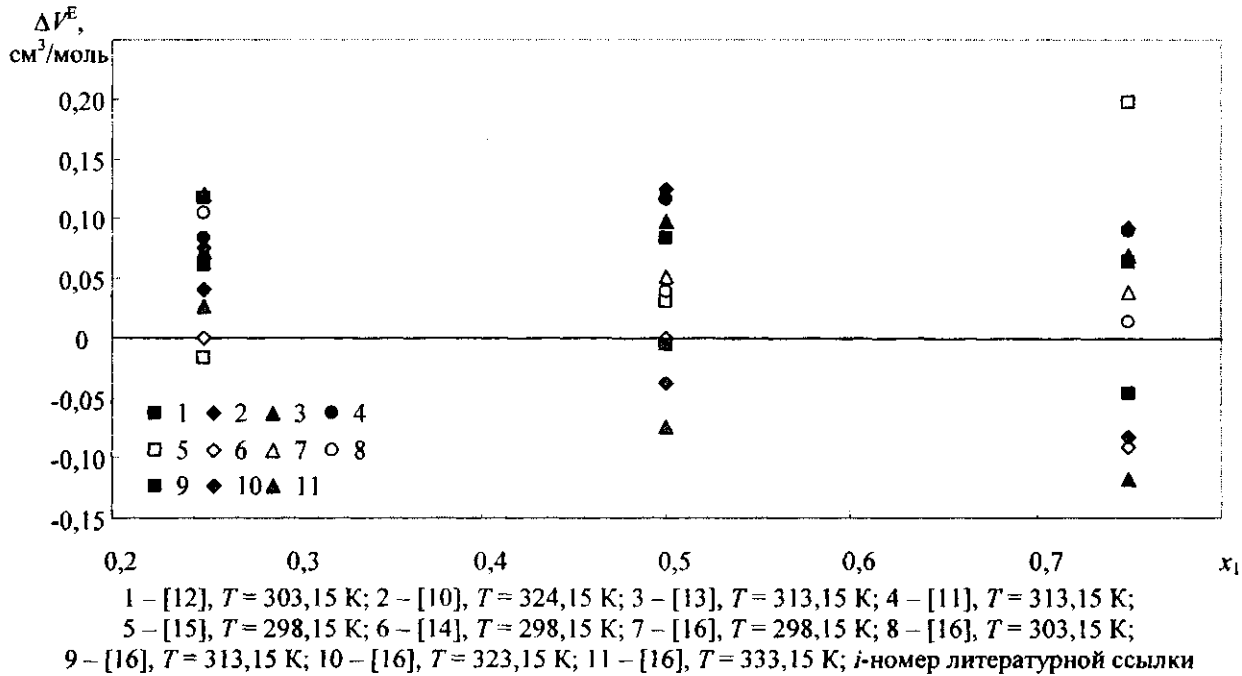


Рисунок 2 – Отклонение  $\Delta V^E = V^E[i] - V^E_{\text{расч}}$  литературных данных о избыточном

молярном объеме  $V^E$  от рассчитанных  $V^E_{\text{расч}}$  для смеси  $C_6 + C_{16}$  при давлении  $0,1$  МПа

Что касается высоких давлений, то сравнение здесь возможно выполнить лишь со значениями  $V^E$ , вычисленными из измерений плотности. В [17] расчет  $V^E$  выполнен для эквимолярной смеси  $C_{12} + C_{16}$  при температурах  $318\text{--}358$  К и давлениях  $0,1\text{--}294$  МПа, в [18] для  $C_6 + C_{16}$  при  $298\text{--}373$  К и давлениях  $0,1\text{--}500$  МПа во всем интервале составов и в [19] для эквимолярной смеси  $C_{10} + C_{16}$  при температурах  $298\text{--}373$  К и давлениях  $0,1\text{--}500$  МПа. Проведенное сравнение показало, что между анализируемыми значениями  $V^E$  существуют значительные расхождения, по своей величине в ряде случаев равные половинным значениям самого избыточного свойства. Очевидно, это обусловлено невысокой точностью расчетов в [17–19]. На это указывают и сами авторы упомянутых работ. Однако следует отметить, что, несмотря на большие расхождения, поведение  $V^E$  в зависимости от параметров состояния во всех работах имеет качественно одинаковый характер. Наши исследования [17–19] показывают, что с увеличением температуры при постоянном давлении значения  $V^E$  становятся более отрицательными, а с увеличением давления при постоянной температуре становятся менее отрицательными и даже положительными. К примеру,  $V^E$  становится положительным для смеси  $C_6 + C_{16}$  при температуре  $373,15$  К и давлениях больше  $100$  МПа [18], для  $C_{10} + C_{16}$  при  $T \geq 348,15$  К и  $p > 100$  МПа [19]. Для смеси  $C_{12} + C_{16}$  при  $T \geq 333,15$  К происходит изменение знака  $V^E$  и затем при  $p \geq 100$  МПа  $V^E$  также становится положительным [настоящая работа, 17]. Для смеси  $C_{10} + C_{16}$  и особенно для  $C_{12} + C_{16}$  наблюдается небольшое отклонение от идеальности. Наши исследования подтвердили ранее отмеченное наблюдение [18], что избыточные объемы, значения которых небольшие и отрицательные при атмосферном давлении, становятся небольшими и положительными при возрастании давления. Однако вследствие того, что в этой области параметров для указанных смесей значения  $V^E$  небольшие, а погрешности их определения большие, то для выявления полной и действительной картины поведения  $V^E$  необходимо проведение дополнительных более точных исследований.

**Обобщающие зависимости**

Вычисленные значения  $V^E$  были обобщены уравнением Редлиха–Кистера

$$V^E = x_1 x_2 \sum_i v_i (x_1 - x_2)^i, \quad (8)$$

где  $v_i$  – функция, зависящая от температуры и давления.

Она искалась в виде

$$v_i = v_{i0} + \frac{v_{i1}}{v_{i2} + (p/100)}, \quad (9)$$

где  $v_{i0}$ ,  $v_{i1}$  и  $v_{i2}$  – температурные функции, которые имеют вид

$$v_{ij} = \sum_{k=0}^1 v_{ij}^{(k)} \left( \frac{T}{100} \right)^k. \quad (10)$$

Коэффициенты аппроксимации  $v_{ij}^{(k)}$  вычислены методом наименьших квадратов и их значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры уравнений (9) и (10)

$k$	$v_{00}^{(k)}$	$v_{01}^{(k)}$	$v_{02}^{(k)}$	$v_{10}^{(k)}$	$v_{11}^{(k)}$	$v_{12}^{(k)}$	$v_{20}^{(k)}$	$v_{30}^{(k)}$	
	$C_6 + C_{16}$								
0	-1,0633	1,2661	1,73566	1,9805	-0,265	0,8778	-	-	
1	0,6177	-1,0558	-0,3973	-0,63076	-	-0,2255	-	-	
	$C_8 + C_{16}$								
0	0,2078	0,6891	1,2797	1,0282	-0,1177	1,207	-	-	
1	0,0431	-0,4919	-0,2568	-0,35905	-	-0,2873	-	-	
	$C_{10} + C_{16}$								
0	2,4112	-4,2973	3,8363	-0,11143	-2,092	13,34	0,617	0,2304	
1	-0,567	0,89715	-0,8538	0,0913	-	-2,56	-0,1232	-	

Уравнение (8) совместно с (9) и (10) хорошо описывает исходные значения  $V^E$ . Отклонение для всех изученных смесей не превышает в среднем  $0,03 \text{ см}^3/\text{моль}$ .

**Заключение**

Проведенные расчеты и оценки свидетельствуют о корректности предложенной методики расчета молярного избыточного объема бинарных жидких смесей с использованием результатов акустических измерений. Предложены значения избыточного молярного объема для четырех смесей  $C_6 + C_{16}$ ,  $C_8 + C_{16}$ ,  $C_{10} + C_{16}$  и  $C_{12} + C_{16}$  трех составов при давлениях 0,1–100 МПа, температурах 298–333, 298–393 и 298–433 К соответственно. Результаты расчетов описаны уравнением Редлиха–Кистера. Показано, что с ростом числа углеродных атомов в молекуле первого компонента величина избыточного молярного объема уменьшается во всем исследованном диапазоне параметров. Смесь  $C_{12} + C_{16}$  становится близкой к идеальной смеси.

**Литература**

- 1 Пригожин, И. Р. Молекулярная теория растворов / И. Р. Пригожин. – М.: Металлургия, 1990. – 360 с.
- 2 Смирнова, Н.А. Молекулярные теории растворов / Н.А. Смирнова. – Ленинград: Химия, 1987. – 336 с.
- 3 Баланкина, Е.С. Влияние размера и упаковки молекул на термодинамические свойства смесей / Е.С. Баланкина // ТВТ. – 2009. – Т. 47, №1. – С. 61–67.
- 4 Хасаншин, Т.С. Скорость звука в *n*-гексане, *n*-октане, *n*-декане и *n*-гексадекане в жидком состоянии / Т.С. Хасаншин, В.С. Самуйлов, А.П. Щемелев // ИФЖ. – 2008. – Т.81, №4. – С. 732–736.
- 5 Хасаншин, Т.С. Скорость звука в бинарных жидких смесях *n*-алканов / Т.С. Хасаншин, В.С. Самуйлов, А.П. Щемелев // ТВТ. – 2009. – Т. 47, №4. – С. 556–561.

- 6 Акустические и термодинамические свойства бинарной жидкой смеси *n*-додекан + *n*-гексадекан / Хасаншин Т.С. [и др.] // ИФЖ. – 2010. – Т. 83, №5 (в печати).
- 7 Хасаншин, Т.С. Скорость звука в жидких *n*-алканах / Т.С. Хасаншин, А.П. Щемелев // ТВТ. – 2001. – Т.39, №1. – С.64–71.
- 8 Khasanshin, T.S. Thermodynamic properties of heavy *n*-alkanes in the liquid state: *n*-dodecane / T.S. Khasanshin, A.P. Shchamialiou, O.G. Poddubskij // Int. J. Thermophys. – 2003. – Vol. 24, №5. – P. 1277–1289.
- 9 Хасаншин, Т.С. Определение термодинамических свойств жидкого *n*-гексадекана по измерениям скорости звука / Т.С. Хасаншин, В.С. Самуйлов, А.П. Щемелев // ИФЖ. – 2009. – Т. 82, № 1. – С. 150–156.
- 10 Holleman, Th. Application of the principle of corresponding states to the excess volumes of liquid binary normal alkane mixtures / Th. Holleman // Physica. – 1963. – Vol. 29. – P. 585–599.
- 11 Reeder, J. Excess volumes of *n*-hexadecane + the isomers of hexane / J. Reeder, C.M. Knobler, R.L. Scott // J. Chem. Thermodynamics. – 1975. – Vol. 7. – P. 345–352.
- 12 Lim, C.B. Excess volumes of ternary and quaternary mixtures of *n*-alkanes / C.B. Lim, A.G. Williamson // J. Chem. Thermodynamics. – 1980. – Vol. 12. – P. 65–70.
- 13 Marsh, K.N. Excess molar enthalpies and excess molar volumes for three- and four- component *n*-alkanes mixtures simulating (*n*-hexane + *n*-hexadecane) / K.N. Marsh, P.P Organ // J. Chem. Thermodynamics. – 1985. – Vol. 17. – P. 835–841.
- 14 Densities, viscosities, and refractive indices of some *n*-alkanes binary liquid systems at 298.15 K // A. Aucejo [et al] // J. Chem. Eng. Data. – 1995. – Vol. 40. – p. 141–147.
- 15 Tripathi, N. Densities, viscosities, and refractive indices of mixtures of hexane with cyclohexane, decane, hexadecane, and squalane at 298.15 K / N. Tripathi // Int. J. Thermophys. – 2005. – vol. 26, №3. – p. 693–703.
- 16 Temperature dependence of the speed of sound, densities, and isentropic compressibilities of hexane + hexadecane in the range of (293.15 to 373.15) K / M.F. Bolotnikov [et al] // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50. – P. 1095–1098.
- 17 *PVT* properties of liquid *n*-alkanes mixtures / P.S. Snyder [et al] // J. Chem. Eng. Data. – 1974. – Vol. 19, №2. – P. 157–161.
- 18 Dymond, J.H.  $p$ ,  $\rho$ ,  $T$  behaviour for *n*-hexane + *n*-hexadecane in the range 298 to 373 K and 0.1 to 500 MPa / J.H. Dymond, K.J. Young, J.D. Isdale // J. Chem. Thermodynamics. – 1979. – Vol. 11. – P. 887–895.
- 19 Dymond, J. H. ( $p$ ,  $\rho$ ,  $T$ ) of some pure *n*-alkanes and binary mixtures of *n*-alkanes in the range 298 to 373 K and 0.1 to 500 MPa / J.H. Dymond, Robertson J., J.D. Isdale // J. Chem. Thermodynamics. – 1982. – Vol. 14. – P. 51 – 59.

*Поступила в редакцию 21.05.2010*