АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1996, том 42, № 6, с. 777–782

УДК 544.001.24:535:36:541.135

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ЗВУКА В РАСТВОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ ДВА РАСТВОРЕННЫХ КОМПОНЕНТА

© 1996 г. Д. А. Денисов

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
125047 Москва, Миусская пл., 9

Поступила в редакцию 24.04.95 г.

Предложен метод расчета скорости звука в растворе, содержащем два нелетучих растворенных компонента, по данным о свойствах бинарных систем, состоящих из растворителя и одного из растворенных компонентов. На примере системы KCl–KBr–H_2O показано, согласие рассчитанных и экспериментальных значений скорости звука. Разработана процедура расчета погрешности оценки значения скорости звука, найденного предложенным методом.

Задача расчета скорости звука a_{mix} в смешанных растворах, т.е. в растворах, содержащих несколько растворенных компонентов, по свойствам бинарных систем, состоящих из растворителя и одного из растворенных компонентов, привлекает внимание многих исследователей, например [1–3]. Обычно, решая указанную задачу, основываются на правиле ионной силы (см., например, [2, 3]). Однако, использование этого правила оправдано лишь при расчете свойств разбавленных растворов электролитов [4].

Иная возможность расчета свойств смешанных растворов по данным о бинарных системах вытекает из модели идеальных изопиестических растворов (изопиестическими называют растворы, имеющие одно и то же значение химического потенциала растворителя μ_W [4–7]). В отличие от правила ионной силы, указанная модель применима не только тогда, когда все растворенные компоненты являются электролитами, но и в том случае, когда все растворенные компоненты или часть из них – неэлектролиты [6–8].

В отличие от модели идеальных смесей [9], модель идеальных изопиестических растворов не исключает взаимодействия между растворителем и растворенным компонентом, но позволяет рассматривать растворенные компоненты смешанного раствора как идеальную смесь растворенных компонентов бинарных растворов, имеющих то же значение μ_W, что и смешанный раствор, или, что то же самое, представляет смешанный раствор как идеальную смесь бинарных систем, имеющих одно и то же значение μ_W.

Ранее [10] было получено соотношение, позволяющее рассчитать значение скорости звука в растворе, содержащем два растворенных компонента по свойствам бинарных изопиестических растворов:

$$a_{mix}^{-2} = [1 + 10^{-3}(m_1M_1 + m_2M_2)] \times \left(\sum_{i=1}^{2} \frac{m_i}{m_i^*} \frac{1 + 10^{-3} m_i^* M_i}{\rho_i^*}\right)^{-2} \times \left\{\sum_{j=1}^{2} \frac{m_j}{m_j^*} \frac{1 + 10^{-3} m_j^* M_j}{\rho_j^{*2}} a_j^{*-2} + T\left(\sum_{l=1}^{2} \frac{m_l^*}{m_l C_{pl}^*}\right)^{-1} \left[\sum_{t=1}^{2} \frac{(-1)^t (1 + 10^{-3} m_t^* M_t)\alpha_t^*}{\rho_t^* C_{pt}^*}\right]^2\right\}, \quad (1)$$

где m_i^*, ρ_i^*, α_i^* – моляльная концентрация, плотность и коэффициент расширения изопиестического бинарного раствора i-го растворенного компонента, C_{pi}^* – теплоемкость бинарного изопиестического раствора i-го растворенного компонента, отнесенная к единице массы растворителя, a_i^* – скорость звука в бинарном изопиестическом растворе i-го растворенного компонента, m_i – моляльная концентрация i-го растворенного компонента в смешанном растворе.

Легко видеть, что для использования соотношения (1) надо знать значения свойств бинарных систем, отвечающих тому значению μ_W, которое имеет смешанный раствор.

Как следует из соотношения (1), среднеквадратичная погрешность оценки a_{mix} $\sigma(a_{mix})$ зависит от погрешностей оценок значений свойств изопиестических бинарных систем.

Покажем последовательность расчета a_{mix} на примере системы KCl–KBr–H_2O, которая достаточно точно описывается моделью идеальных изопиестических растворов [11, 12], и следует соотношению, характеризующему такие растворы [13]:

$$\frac{m_1}{m_1^*} + \frac{m_2}{m_2^*} = 1, \quad (\mu_W = \text{const}). \tag{2}$$

Значения плотности идеального изопиестического раствора, рассчитанные по формуле:

$$\rho_{mix} = [1 + 10^{-3}(m_1 M_1 + m_2 M_2)] \times \times \left[\sum_{j=1}^{2} \frac{m_j}{m_j^*} \frac{1 + 10^{-3} m_j^* M_j}{\rho_j^*}\right]^{-1}, \tag{3}$$

как показано в [12], вытекающей из соотношения (2), оказались близки к экспериментальным [2], что подтверждает обоснованность использования соотношений, вытекающих из модели идеальных изопиестических растворов, для расчета свойств выбранной системы.

Расчет значений изопиестических концентраций бинарных систем KCl–H_2O и KBr–H_2O, m_1^*, m_2^*, соответственно, по известным концентрациям смешанного раствора m_1 и m_2 осуществлялся следующим образом [6].

Аппроксимируем концентрационные зависимости осмотических коэффициентов бинарных систем φ_i^* полиномами вида [14]:

$$\varphi_i^* = 1 + \sum_j A_{ij} m_i^{*\,j/2}. \tag{4}$$

Выражая с помощью соотношения (2) m_2^* в виде:

$$m_2^* = m_2\left(1 - \frac{m_1}{m_1^*}\right)^{-1}, \tag{5}$$

ищем значение m_1^* как решение уравнения:

$$\nu_1 m_1^* \varphi_1^* = \nu_2 m_2^* \varphi_2^*, \tag{6}$$

которое можно представить в виде [15]:

$$\nu_1 m_1^* \left[1 + \sum_j A_{1j} m_1^{*\,j/2}\right] = = \frac{\nu_2 m_2^*}{1 - \frac{m_1}{m_1^*}} \left\{1 + \sum_l A_{2l}\left[m_2\left(1 - \frac{m_1}{m_1^*}\right)^{-1}\right]^{l/2}\right\}, \tag{7}$$

выражающего изопиестическое равновесие бинарных систем [4], где ν_i – число ионов, образующихся при диссоциации молекулы i-го растворенного электролита (для неэлектролита $\nu_i = 1$).

Для нахождения значений свойств бинарных систем, отвечающих значению μ_W смешанного раствора, концентрационные зависимости свойств бинарных систем аппроксимируем полиномами вида:

$$f_{il}^* = \sum_{j=1}^{u_{il}} B_{lj}^{(i)} m_i^{*\,\frac{j-1}{2}}, \tag{8}$$

где степень полинома u_{il} отвечает, согласно [16], минимуму дисперсии $\sigma^2(f_{il}^*)$. Для уменьшения времени расчета при аппроксимации экспериментальной зависимости свойства f_{il} полиномами возрастающих степеней в настоящей работе использовался метод ортогональных полиномов Форсайта [17].

Используя рассчитанные ранее значения m_1^* и m_2^*, найдем значения свойств бинарных систем $f_{i1}^* = \rho_1^*$, $f_{i2}^* = (a_i^*)^{-2}$, $f_{i3}^* = C_{pi}^*$, $f_{i4}^* = \alpha_i^*$, приведенные в таблице, необходимые для расчета a_{mix} по формуле (1).

При нахождении дисперсий оценок значений свойств бинарных систем предполагалось, что отклонения фактических значений величин от их оценок, найденных методом наименьших квадратов, являются относительно малыми величинами.

Выражение для дисперсии оценки значения свойства бинарной системы, содержащей i-й растворенный компонент и имеющей то же значений μ_W, что и интересующий нас смешанный раствор, имеет вид:

$$\sigma^2(f_{il}^*) = \sum_{j=1}^{u_{il}} \sum_{k=1}^{u_{il}} m_i^{*\,\frac{j+k}{2}-3}\left[m_i^* 2D(\overline{B}_l^{(i)})_{jk} + + \frac{(j-1)(k-1)}{4} B_{lj}^{(i)} B_{lk}^{(i)} \sigma^2(m_i^*)\right] + \sigma^2_{\text{аппр.}i}, \tag{9}$$

где $D(\overline{B}_l^{(i)})$ – ковариационная матрица вектора коэффициентов полинома $\overline{B}_l^{(i)}$ (8), аппоксимирующего зависимость свойства f_{il} бинарной системы, содержащей i-й растворенный компонент, $\sigma^2_{\text{аппр.}i}$ – дисперсия аппроксимации концентрационной зависимости свойства f_{il} полиномом (8), введение которой позволяет учесть, что фактические значения функции f_{il} варьируют около среднего значения, определяемого формулой (8) с дисперсией, не зависящей от двойной суммы, стоящей в правой части (9) [18].

Расчет скорости звука в системе KCl–KBr–H_2O

Оценки значений величин	Номера экспериментальных точек				Номер уравнения или ссылки
	1	2	3	4	
$m_{KCl} = m_{KBr}$	0.2492	0.4986	0.7478	0.9964	
m^*_{KCl}	0.4999	1.0026	1.5060	2.0076	(2)
m^*_{KBr}	0.4969	0.9920	1.4851	1.9784	(2)
$\rho^*_{KCl} \times 10^{-3}$, кг м$^{-3}$	1.01996	1.04201	1.06274	1.08223	
$\rho^*_{KBr} \times 10^{-3}$, кг м$^{-3}$	1.03827	1.07727	1.11437	1.14975	
$C^*_{P_{KCl}}$, $\frac{\text{Дж К}^{-1}}{\text{кг воды}}$	4.1379	4.1067	4.0843	4.0682	
$C^*_{P_{KBr}}$, $\frac{\text{Дж К}^{-1}}{\text{кг воды}}$	4.1365	4.1035	4.0796	4.0631	
$\alpha^*_{KCl} \times 10^3$, К$^{-1}$	0.35137	0.43075	0.49450	0.54594	
$\alpha^*_{KBr} \times 10^3$, К$^{-1}$	0.38502	0.49364	0.58196	0.64350	
$a^*_{KCl} \times 10^{-3}$, м с$^{-1}$	1.5256	1.5473	1.5681	1.5896	
$a^*_{KBr} \times 10^{-3}$, м с$^{-1}$	1.5084	1.5166	1.5241	1.5319	
$a_{mix} \times 10^{-3}$, м с$^{-1}$	1.5169	1.5315	1.5454	1.5593	(1)
$a^{exp}_{mix} \times 10^{-3}$, м с$^{-1}$	1.517	1.530	1.546	1.559	[2]
$a^{I}_{mix} \times 10^{-3}$, м с$^{-1}$	1.517	1.530	1.550	1.558	[2]
$a_{mix} \times 10^{-3}$, м с$^{-1}$	1.5169	1.5316	1.5458	1.5597	(10)

Цифра в круглых скобках в последнем столбце таблицы означает номер уравнения, использовавшегося при расчете приведенных в соответствующей строке значений. Ссылка в квадратных скобках укзывает на номер источника в списке литературы.

В таблице, в четвертой строке снизу даны значения a_{mix}, рассчитанные предлагаемым методом с использованием соотношения (1) [19]. Следующая строка содержит экспериментальные значения a^{exp}_{mix}, а предпоследняя строка – значения a^{I}_{mix}, найденные авторами [2] с использованием правила ионной силы [20].

Как видно из таблицы, для данной системы и правило ионной силы, и предлагаемый метод приводят к значениям, близким к экспериментальным. Сопоставление рассчитанных разными методами значений с экспериментальными имеет целью лишь убедить читателя в том, что предлагаемый метод в случае рассматриваемой системы не уступает методу расчета, основанному на правиле ионной силы.

Преимущества предлагаемого в настоящей работе метода, как отмечалось выше, состоят в том, что представление смешанного раствора как идеальной смеси бинарных изопиестических систем, в отличие от правила ионной силы, не ограничено разбавленными растворами электролитов. Действительно, использование правила ионной силы оправдано лишь в области применимости первого приближения Дебая, т.е. лишь для предельно разбавленных растворов. В области концентраций, при которых первое приближение Дебая уже недостаточно и требуется учитывать собственные размеры ионов, необосновано и использование правила ионной силы [4]. Конечно,

не следует любой смешанный раствор рассматривать как идеальный изопиестический. Но отклонение найденного в соответствие с моделью идеальных изопиестических растворов значения a_{mix} от экспериментального, как и аналогичные отклонения значений других свойств, например [4–6], является мерой взаимодействия между растворенными компонентами, подобно тому, как отклонение значений, рассчитанных в соответствие с моделью идеальных смесей, от экспериментальных характеризует взаимодействие между компонентами реальных смесей [9].

Отклонение же значения, рассчитанного на основе правила ионной силы, от экспериментального может включать в себя и неучтенное влияние собственных размеров ионов на электростатическое взаимодействие между частицами растворенных компонентов, взаимодействие между растворенным компонентом и растворителем. (Последнее учитывается моделью идеальных изопиестических растворов.)

Поэтому интерпретация отклонения рассчитанного с помощью правила ионной силы значения от экспериментального представляется более сложной задачей. Напомним, что, если один или более растворенных компонентов являются неэлектролитами, то едва ли ионная сила характеризует их взаимодействия [4].

Чтобы судить о точности расчета a_{mix}, разность между рассчитанными и экспериментальным значениями следует сопоставлять не со значением скорости звука в растворе a_s, а с отклонением a_s от скорости звука в растворителе a_0 [21]. Учитывая значение $a_0 = 1497$ м/с [22], найдем, что при $m_1 + m_2 = 1.9929$ $a_s - a_0 = 65$ м/с.

Соотношения теории идеальных смесей [9] позволяют в первом приближении рассчитать по свойствам чистых компонентов свойства любых смесей. Модель идеальных изопиестических растворов, учитывая взаимодействия между растворителем и растворенным компонентом, позволяет, очевидно, с большей точностью находить свойства смешанных растворов.

Значение a_{mix}, найденное по формуле (1) для растворов, которые заметно отклоняются от идеальных изопиестических растворов, можно рассматривать лишь как первое приближение, для уточнения которого уже требуется информация о взаимодействиях между растворенными компонентами в смешанном растворе.

В последней строке таблицы приведены значения a_{mix}, найденные при допущении о равенстве изотермического β_T и адиабатического β_s коэффициентов сжимаемости, т.е. значения a_{mix}, найденные по формуле, вытекающей из (1) при $\alpha_i^{*2} C_{pi}^{*-1} \longrightarrow 0$:

$$a_{\text{mix}}^{-2} = \frac{[1 + 10^{-3}(m_1 M_1 + m_2 M_2)]}{\left[\sum_{j=1}^{2} \frac{m_j}{m_j^*} \frac{1 + 10^{-3} m_j^* M_j}{\rho_j^*}\right]^2} \times \times \sum_{i=1}^{2} \frac{m_i}{m_i^*} \frac{1 + 10^{-3} m_i^* M_i}{\rho_i^{*2}} a_i^{*-2}. \quad (10)$$

Использование последнего соотношения не требует предварительного вычисления значений α_i^* и C_{pi}^*. Значения a_{mix}, рассчитанные по формуле (10), несколько превышают значения a_{mix}, рассчитанные с помощью соотношения (1), и больше чем последние отличаются от экспериментальных значений, причем отклонение растет с увеличением общей моляльности m.

Преимущества более точного соотношения (1) в большей степени должны проявиться при расчете скорости звука в неводных растворах, для которых значения коэффициентов расширения α намного превосходят значения этой величины для водных растворов.

Как отмечали авторы [19], при расчете кажущейся моляльной сжимаемости φ_k водных растворов электролитов пренебрежение разницей в значениях β_s и β_T, составляющей лишь 1%, приводит к погрешностям в значениях φ_k, достигающим 7.5%.

Знание точной формулы (1) необходимо, в частности, при вычислении среднеквадратичной погрешности $\sigma^2(a_{\text{mix}})$, так как случайные величины m_1^*, m_2^*, ρ_1^*, ρ_2^*, C_{p1}^*, C_{p2}^*, α_1^*, α_2^*, a_1^*, a_2^* не являются независимыми друг от друга.

Казалось бы, следуя схеме вывода соотношений, связывающих дисперсии функции с дисперсиями аргументов или параметров [23], не составляет труда получить выражение для $\sigma^2(a_{\text{mix}})$, используя, например, последовательность преобразований для нахождения формулы для $\sigma(\rho_{\text{mix}})$ [10]. Однако выражение для среднеквадратичной погрешности $\sigma(\alpha_{\text{mix}})$ – величины, зависящей от 6 связанных друг с другом случайных величин: m_1^*, m_2^*, ρ_1^*, ρ_2^*, α_1^*, α_2^* не умещается на странице [24]. Можно ожидать, что сама формула для $\sigma(a_{\text{mix}})$, вытекающая из соотношения (1), заняла бы не менее трех страниц и использование ее было бы весьма утомительным.

Поэтому в настоящей работе не ставится задача вывода соотношения для $\sigma(a_{\text{mix}})$, а предлагает-

ся алгоритм расчета $\sigma(a_{mix})$, основанный на возможности проведения аналитических преобразований на ЭВМ [25, 26]. Был составлен комплекс программ, выполняемых последовательно одна за другой. Перед началом работы первой из программ в память ЭВМ вводится выражение для дифференциала $(da_{mix}^{-2})^2$, вытекающее из формулы (1). После завершения работы этой программы получаем выражение, представляющее da_{mix}^{-2} как линейную комбинацию произведений дифференциалов $dm_i^* dm_j^*$, $dm_i^* df_{jl}^*$, $df_{ik}^* df_{jl}^*$, где $i, j = 1, 2$; $k, l = 1 \ldots 4$ с уже рассчитанными значениями коэффициентов при указанных произведениях. При выполнении других программ квадраты дифференциалов dm_i^* и df_{jl}^* заменяются дисперсиями оценок значений соответствующих величин [23]. Произведения дифференциалов различных величин преобразуются с учетом выражений аппроксимирующих полиномов и имеют вид:

$$df_{il}^* dm_i^* = \sum_{j=1}^{u_{il}} B_{lj}^{(i)} \frac{j-1}{2} m_i^{*\frac{j-3}{2}} \sigma^2(m_i^*),$$

$$(i = 1, 2; \quad l = 1, 2, 3, 4),$$

$$df_{il}^* dm_k^* = -\frac{m_1 m_2}{(m_1^* - m_1)^2} \sum_{j=1}^{u_{il}} B_{lj}^{(i)} m_i^{*\frac{j-3}{2}} \frac{j-1}{2} \sigma^2(m_i^*),$$

$$(k \neq i; \quad i, k = 1, 2), \quad (l = 1, 2, 3, 4),$$

$$df_{ik}^* df_{il}^* = \sum_{t=1}^{u_{ik}} \sum_{s=1}^{u_{il}} B_{kt}^{(i)} B_{ls}^{(i)} \frac{(t-1)(s-1)}{4} \times$$

$$\times m_i^{*\frac{t+s}{2}-3} \sigma^2(m_1^*), \quad (i = 1, 2), \quad (k, l = 1, 2, 3, 4),$$

$$df_{ik}^* df_{jl}^* = -\frac{m_1 m_2}{(m_1^* - m_1)^2} \sum_{t=1}^{u_{ik}} \sum_{s=1}^{u_{jl}} B_{kt}^{(i)} B_{ls}^{(j)} \frac{(t-1)}{2} \frac{(s-1)}{2} \times$$

$$\times m_i^{*\frac{t-3}{2}} m_j^{*\frac{s-3}{2}} \sigma^2(m_1^*),$$

$$(i \neq j; \quad i, j = 1, 2; \quad k, l = 1, \ldots, 4).$$

Из-за больших затрат машинного времени, требуемого для вычислений $\sigma(a_{mix})$, ограничились расчетом этой величины лишь для одной точки, отвечающей $m_{KCl} = m_{KBr} = 0.2492$.

Значения дисперсий оценок значений величин, используемых при расчете $\sigma(a_{mix})$, следующие:

$$\sigma^2(m_{KCl}^*) = 0.1448 \times 10^{-8} \frac{\text{моль}^2}{(\text{кг воды})^2}.$$

$$\sigma^2(m_{KBr}^*) = 0.1419 \times 10^{-8} \text{ моль}^2 \text{ (кг воды)}^{-2},$$

$$\sigma^2(\rho_{KCl}^*) = 2.475 \times 10^{-2} \text{ кг}^2 \text{ м}^{-6}$$

$$\sigma^2(\rho_{KBr}^*) = 0.1972 \times 10^{-2} \text{ кг}^2 \text{ м}^{-6},$$

$$\sigma^2(C_{pKBr}^*) = 0.2566 \text{ дж}^2 \text{ К}^{-2} \text{ (кг воды)}^{-2},$$

$$\sigma^2(C_{pKCl}^*) = 0.5448 \text{ дж}^2 \text{ К}^{-2} \text{ (кг воды)}^{-2}$$

$$\sigma^2(a_{KCl}^{*-2}) = 2.759 \times 10^{-18} \text{ м}^{-4} \text{ с}^4,$$

$$\sigma^2(a_{KBr}^{*-2}) = 1.175 \times 10^{-18} \text{ м}^{-4} \text{ с}^4.$$

Среднеквадратичная погрешность скорости звука в системе KCl–KBr–H_2O оказывается равной $\sigma(a_{mix}) = 1.78$ м/с.

Предложенный метод может быть распространен на растворы, содержащие более двух растворенных компонентов.

В заключение автор считает приятным долгом выразить признательность И.А. Чабан за обсуждение статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Satyavati A.V.* Ultrasonic behaviour in simple and complex ternary systems of electrolytes // Acustica 1967/68. V. 19. № 6. P. 350–354.
2. *Vilcu R., Simion A.* Acoustic and Volumetric properties of aqueous salt solutions // Rev. Roumannie Chim. 1976. V. 21. № 1. P. 3–9.
3. *Шихеева Л.В., Михайлов И.Г., Савина Л.И.* Исследование температурной зависимости сжимаемости смешанных растворов электролитов // Вестник ЛГУ, сер. физика и химия. 1981. № 10. С. 25–28.
4. *Киргинцев А.Н.* Очерки о термодинамике смешанных водно-солевых систем. Новосибирск: Наука, 1976. 200 с.
5. *Вдовенко В.М., Рязанов М.А.* Коэффициенты активности в многокомпонентных системах. II. Значение правила Здановского для расчета термодинамических свойств смешанных растворов // Радиохимия. 1965. Т. 7. № 4. С. 442–449.
6. *Фролов Ю.Г., Денисов Д.А.* О возможности использования закона Здановского в термодинамике смешанных растворов // Тр. МХТИ им. Д.И. Менделеева. М.: 1980. Вып. 111. С. 102–115.
7. *Денисов Д.А., Фролов Ю.Г.* Смешанный раствор, подчиняющийся правилу Здановского – идеальная смесь изопиестических бинарных растворов // ЖФХ 1990. Т. 64. № 1. С. 222–224.
8. *Sangster J., Teng T.T., Lenzi F.* A general method of calculatiny the water activity of super saturated aqueous solutions from ternary data // Canadian Journ. Chem. 1973. V. 51. № 16. P. 2626–2631.
9. *Пригожин И., Дэфей Р.* Химическая термодинамика. Пер. с англ. под ред. В.А. Михайлова. Новосибирск: Наука, 1966. 509 с.

10. *Денисов Д.А.* Расчет скорости звука в смешанных растворах, содержащих несколько растворенных компонентов, по данным о бинарных растворах // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 4. С. 772–773.

11. *McCoy W.H., Wallace W.E.* Activity coefficients in concentrated aqueous KCl-KBr solutions at 25°C // Journal of the American Chemical Society. 1956. V. 78. № 9. P. 1830–1833.

12. *Денисов Д.А.* Расчет плотности смешанных растворов, подчиняющихся правилу Здановского // Тр. МХТИ им. Д.И. Менделеева. М.: 1985. Вып. 136. С. 129–136.

13. *Здановский А.Б.* Закономерности в изменениях свойств смешанных растворов сильных электролитов // Тр. соляной лаборатории АН СССР. Л.; 1936. Вып. 6. С. 5–70.

14. *Микулин Г.И.* Пути построения количественной теории концентрированных растворов сильных электролитов // Вопросы физической химии растворов электролитов. Л.: Химия, 1968. С. 5–43.

15. *Денисов Д.А., Фролов Ю.Г.* О расчете термодинамических свойств смешанных растворов электролитов // Тр. МХТИ им. Д.И. Менделеева. М.; 1982. Вып. 121. С. 19–33.

16. *Тарасов В.Д.* Оценки погрешности при дифференцировании и интегрировании эмпирического уравнения, полученного методом наименьших квадратов // VIII Всесоюзная конференция по калориметрии и химической термодинамике. Тезисы докладов. Часть 2. Иваново. 1978. С. 431–441.

17. *Forsythe G.E.* Generation and use of orthogonal polynomals for data fitting with a digital computer // J. Soc. Industr. Appl. Mathem. 1957. V. 5. № 2. P. 74–88.

18. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ / Пер. с англ. под ред. Адлер Ю.П. и Горского В.Г. М.: Статистика, 1973.

19. *Denisov D.* Calculation of the sound velocity in the solutions containing some dissolved components in book "European conference on Underwater Acoustics" edited by M. Weydert. Commission of the European Communities Bruseels, London, New York, 1992. P. 185–189.

20. *Робинсон Р., Стокс Р.* Растворы электролитов / Пер. с англ. под ред. Фрумкина А.Н. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1963. 646 с.

21. *Стюэр Дж., Егер Е.* Распространение ультразвуковых волн в растворах электролитов. // Свойства газов и жидкостей. Физическая акустика. Под ред. Михайлова И.Г. М.: Мир, 1968. Т. 2. Ч. А. С. 371–485.

22. Таблицы физических величин. Справочник под ред. Кикоина И.К. М.: Атомиздат, 1976.

23. *Худсон Д.* Статистика для физиков. Лекции по теории вероятностей и элементарной статистике. 2-е дополненное издание. М.: Мир, 1970. 296 с.

24. *Денисов Д.А.* Расчет коэффициентов расширения смешанных растворов, подчиняющихся правилу Здановского // Тр. МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1989. Вып. 158. С. 165–174.

25. *Глушков В.М., Бондарчук В.Г., Гринченко Т.А. и др.* АНАЛИТИК (алгоритмический язык для описания вычислительных процессов с использованием аналитических преобразований) // Кибернетика. 1971. № 3. С. 102–134.

26. *Char B.W., Geddes G.H., Gonnet G.H. and others.* First leaves for machintosh a tutorial introduction to Maple. Brooks/Cole Publishing Company. Pacific Grove California. 1989.

A Calculation of the Velocity of Sound in Two Solute Solutions

D. A. Denisov

The velocity of sound in a solution with two nonvolatile solutes is estimated from the properties of binary systems of this solvent and one of the solutes. Agreement of the calculated sound velocities with experimental is demonstrated in KCl-KBr water solutions. An error estimation procedure for this calculation technique is also presented.