

УДК 541.13

## ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА KF-NaF-H<sub>2</sub>O ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

**ГУСЕЙНОВ А.Г., БАБАЕВА С.Ш., НАСИРОВ Ш.Н.**

*Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия*

В современных условиях рациональное использование природных ресурсов (в том числе воды) и защита окружающей среды приобретают исключительно важное значение. Совершенно очевидно, что в настоящее время ограниченность ресурсов пресной воды в природе приводит к необходимости более широкого использования в промышленности морских и солоноватых вод. Использование морской воды в опреснительных установках и умягченной морской воды в парогенераторах прибрежных тепловых электростанций ставит задачу грамотного проектирования и расчета отдельных узлов парогенераторов и опреснителей. Расчет поверхности нагрева, осуществление гидродинамических расчетов и изучение внутрикотловых физико-химических процессов требуют значения теплофизических свойств, различных многокомпонентных растворов солей, которые по составу близки к морской воде.

Развитие и интенсификация современного производства требуют надежной информации о термических свойствах водных систем в широком интервале температур и давлений. Особое внимание привлекают в последнее время высокотемпературные водные растворы, использование которых позволяет создавать новые и повышать эффективность существующих промышленных процессов.

Ограниченность данных по теплофизическим свойствам галогенопроизводных смешанных водных растворов в широком диапазоне изменения параметров состояния вынуждает при проектировании использовать данные по чистой воде, что приводит к неточному расчету стоимости объектов и оценке их экономичности.

Поэтому создание и реализация в промышленности оборудования, работающего с использованием смешанных водно-солевых растворов галогенопроизводного типа, широкое использование их в различных отраслях науки обуславливают актуальность экспериментальных исследований термических свойств системы KF-NaF-H<sub>2</sub>O в широком диапазоне изменения параметров состояния.

В работе приводятся результаты экспериментального исследования плотности и упругости паров KF-NaF-H<sub>2</sub>O с содержанием солей (% по массе) соответственно 5-0,75 в интервале температур 293,15-598,15 К и давлений 0,1-40,0 МПа, а также рассмотрена возможность расчета указанных свойств по данным бинарных растворов NaCl-H<sub>2</sub>O и NaF-H<sub>2</sub>O

Таблица 1.

Пикнометрические данные плотности системы KF-NaF-H<sub>2</sub>O при давлении  
P=0,1 МПа

Концентрация %	Т, К							
	293,15	298,15	303,15	313,15	323,15	333,15	343,15	348,15
	ρ, кг/м <sup>3</sup>							
c <sub>1</sub> =5	1046,4	1044,6	1042,9	1038,9	1033,8	1030,2	1024,5	1021,5
c <sub>2</sub> =0,5	1046,4	1044,6	1042,9	-	-	-	-	-

Выбор указанного выше соотношения концентраций солей KFCI (c<sub>1</sub>) и NaF(c<sub>2</sub>) был продиктован тем обстоятельством, что растворимость фторида натрия почти на порядок меньше растворимости его хлорида, и в присутствии последнего в растворе

возможно выпадение в осадок NaF, в особенности при повышенных параметрах состояния.

Исследования осуществлены на установке, реализующей метод пьезометра постоянного объема (1). Максимальная суммарная оптимальная погрешность определения плотности составила  $\pm 0,065\%$ , а для упругости паров в диапазоне 373,15...598,15K-не более 0,26 %. Погрешность пикнометрических данных по плотности указанных растворов, приведенных в табл.1, составляет  $\pm (0,03-0,05)\%$ . Значение ее при более высоких параметрах приведены в табл.2, там же даны значения плотностей на линии насыщения со стороны жидкости, полученные графической экстраполяцией экспериментальных изотерм на соответствующие давления насыщения (последняя строка при каждой температуре). Измерения упругости паров проводились на экспериментальных изотермах со входом в двухфазную область со стороны жидкости. Незначительные выпуски жидкости при этом почти не влияли на концентрацию раствора. Сказанное было подтверждено повторными пикнометрическими измерениями и химическим анализом остатка раствора в температуре.

Таблица 2.

Плотность  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) системы KF-NaF-H<sub>2</sub>O, содержащей  $c_1$  масс% KF,  $c_2$  масс% NaF (P, МПа; T, К)

P	$\rho$												
T=298,15		T=323,15		T=348,15		T=373,15		T=398,15		T=423,15		T=448,15	
39,80	1062,	39,91	1054	39,81	1041	39,71	1025	39,75	1007	39,78	987	39,71	965
33,65	1059	32,65	1050	34,08	1037	33,59	1022	34,61	1003	33,41	983	33,86	961
26,64	1055	26,29	1047	28,13	1035	27,25	1019	28,13	1000	27,24	979	27,31	958
20,00	1053	20,45	1044	20,60	1030	21,90	1016	19,67	996	20,17	977	19,35	954
14,55	1050	14,81	1042	15,68	1029	15,37	1013	13,21	991,7	14,42	973	13,28	949
9,054	1046	7,481	1039	6,949	1025	9,063	1010	6,634	988,3	7,270	970	7,682	945
0,582	1044	0,309	1034	0,672	1022	0,572	1005	0,698	984,9	0,817	966	1,487	941
						0,101	1004	0,231	983,6	0,474	965	0,868	940
T=473,15		T=498,15		T=523,15		T=548,15		T=573,15		T=598,15			
39,95	943,2	39,84	918,2	39,98	891,8	39,85	862,0	39,87	830,4	39,90	787	-	-
34,01	939,3	34,80	914,3	35,68	888,5	34,72	857,8	35,23	826,4	35,50	782	-	-
29,42	935,9	29,62	910,2	31,50	884,2	30,34	853,4	30,99	820,2	31,83	776	-	-
23,58	932,8	23,23	906,6	24,82	879,4	24,20	846,9	26,12	812,4	27,37	770	-	-
18,55	928,6	16,44	900,7	19,74	874,4	18,58	839,8	21,54	804,9	21,65	761	-	-
10,30	924,3	9,598	894,8	11,19	866,0	12,31	834,3	15,60	796,3	16,91	751	-	-
1,819	918,1	2,834	889,0	4,919	859,8	6,287	926,8	9,219	790,3	12,43	734	-	-
1,550	917,8	2,542	888,0	3,962	859,0	5,923	826,3	8,553	789,2	12,02	733	-	-

Используя экспериментальные значения плотности бинарных растворов KF-H<sub>2</sub>O и NaF- H<sub>2</sub>O, а также тройной системы KF-NaF-H<sub>2</sub>O, приведенные в табл. 1 и 2, было установлено, что в пределах погрешности эксперимента для плотности тройной системы  $\rho_{т.с.}$  во всем исследованном диапазоне давлений и температур можно записать

$$\rho_{т.с.} = \rho_1(c_1) + \rho_2(c_2) - \rho_v, \quad (1)$$

где  $\rho_1(c_1)$ ,  $\rho_2(c_2)$  и  $\rho_v$  –плотность соответственно водных растворов хлорида натрия (2-4), фторида натрия (1) и воды (5).

Расхождение между вычисленными по выражению (1) и экспериментальными значениями  $\rho_{т.с.}$  не превышает  $\pm 0,2\%$ , то есть находится в пределах суммарной ошибки двух независимых опытов.

Для упругости паров тройной системы  $\rho_{s.т.с.}$

$$\rho_{s.t.c.} = \rho_{s_1}(c_1) + \rho_{s_2}(c_2) - \rho_{s_e} \quad (2)$$

Здесь  $\rho_{s_1}$ ,  $\rho_{s_2}$ ,  $\rho_{s_e}$  - упругости паров, соответственно, водных растворов хлорида натрия (2-4), фторида натрия (1), и воды (5). Расчеты показали, что расхождение вычисленными по выражению (2) и экспериментальными значениями упругости паров системы KF-NaF-H<sub>2</sub>O во всем рассматриваемом диапазоне T и P не превышает  $\pm (0,2-0,5)\%$ . Наибольшие отклонения относятся к области температур ниже 450 К.

### ВЫВОДЫ

Получен обширный экспериментальный материал по плотности и упругости паров системы NaCl-NaF-H<sub>2</sub>O в диапазоне температур 293,15÷598,15 К, давлений 0,1-40,0 МПа с содержащем солей (% по массе) соответственно 5-0,75. Полученные экспериментальные данные не имеют аналогов в технической литературе. При этом использован апробированный метод пьезометра постоянного объема.

Используя экспериментальные значения плотности и упругости паров бинарных растворов KF-H<sub>2</sub>O и NaF-H<sub>2</sub>O, а также тройной системы KF-NaF-H<sub>2</sub>O, составлены уравнения состояния и упругости паров. Расхождение между вычисленными уравнениям состояния и экспериментальными значениями  $\rho_{t.c}$  не превышает  $\pm 0,2\%$  а для экспериментальных значений упругости паров во всем рассматриваемом диапазоне T и P не превышает  $\pm (0,2-0,5)\%$ .

- 
1. Гусейнов А.Г. и др. P-ρ-T и P<sub>3</sub>-T<sub>3</sub> зависимости водного раствора фтористого натрия. Термодинамические и переносные свойства веществ // Тематик. Сб. науч. Трудов АзПИ-Баку 5-7 ноября 1989 г.
  2. Ахундов Т.С., Иманова М.В. Термические свойства водного раствора хлористого натрия при концентрации 200 г/л // Инженерно-физический журнал-Т. XVII, №6-1984 г.
  3. Ахундов Т.С., Исмаилзаде Ш.М., Иманова М.В. Термические свойства водных растворов хлористого натрия при концентрациях 100 и 300 г/л // Нефть и Газ - №2-1085 г.
  4. Ахундов Т.С., Таиров А.Д., Иманова М.В. Термические свойства водных растворов хлористого натрия при концентрациях 20 и 50 г/л // Докл. АН АзССР-№2-1986 г.
  5. Вуколович Н.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара-М.: Из-во стандартов 1969 г.

## KF – NaF – H<sub>2</sub>O MƏHLULUNUN YÜKSƏK TƏZYİQ VƏ TEMPERATURDA TERMİKİ XASSƏLƏRİ

HÜSEYNOV A.Q., BABAYEVA S.Ş., NƏSİROV Ş.N.

KF-NaF-H<sub>2</sub>O sisteminin (293,15 ÷ 598,15)K temperatur və (0,1 ÷ 40) MPa təzyiqlik intervalında sıxlığının və doymuş buxarının təzyiqinin tədqiqi üzrə nəticələr verilmişdir. Məhlulun tərkibində duzun miqdarı kütləyə görə %-lə (5 ÷ 0,75)% təşkil etmişdir. Sınanılmış sabit həcmli pьezometr üsulu ilə alınmış təcrübi qiymətlər əsasında riyazi tənlikləri tərtib olunmuşdur. Sıxlığın təcrübi və hesabi qiymətləri arasındakı xəta  $\pm 0,2\%$ , doymuş buxarın təcrübi və hesabi qiymətləri arasındakı xəta isə baxılan təzyiqlik və temperatur intervalında  $\pm (0,2-0,5)\%$ , təşkil etmişdir.

## **THERMAL PROPERTIES OF KF – NaF – H<sub>2</sub>O SOLUTIONS AT HIGH PRESSURES AND TEMPERATURES**

**HUSEYNOV A.G., BABAYEVA S.Sh., NASIROV Sh.N.**

The extensive experimental data on density and vapor pressure of systems KF-NaF-H<sub>2</sub>O in a range of temperature 293,15-598,15 K pressure 0,1-40 MPa with the main of salts (weight %) accordingly (5-0,75) is received thrived experimental data have no analogies in the technological literature. The approved method piezometer of constant volume is used. Using experimental values of density and vapor pressure of binary solutions KF-H<sub>2</sub>O and NaF-H<sub>2</sub>O and also ternary system KF-NaF-H<sub>2</sub>O the equations of state and vapor pressure one made a divergence between calculated on the equations of state and experimental values of density does not exceed  $\pm 0,2\%$  and vapor pressures 0,2-0,5%