

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ ПОДГРУППЫ БЕРИЛЛИЯ

Докт. техн. наук, проф. АБДУЛЛАЕВ К. М.,
канд. техн. наук ЭЛЬДАРОВ В. С., инж. КЕРИМОВА Р. К.

Азербайджанская государственная нефтяная академия

Теплопроводность водных растворов хлоридов металлов подгруппы бериллия изучена недостаточно, а данные о λ водных растворов BeCl_2 вообще отсутствуют в литературе. В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований теплопроводности водных растворов BeCl_2 и SrCl_2 в интервале температур 293–573 К при пяти значениях массовой концентрации растворенного вещества.

Для исследования теплопроводности выбран метод коаксиальных цилиндров в относительном варианте. Опыты выполнены на установке с модифицированной измерительной ячейкой [1]. Исследованные растворы солей готовили из реактивов марки «химически чистый» по методике, предложенной в [2].

Измерения теплопроводности растворов в интервале температур 293–573 К были выполнены через каждые 10 К. Это связано с тем, что к такому интервалу температур относится большинство литературных данных по физическим свойствам воды и водных растворов. При исследованиях теплопроводности растворов вблизи линии насыщения начальное давление было принято от атмосферного до 9 МПа. Погрешность измерения составляет $\pm(1,3-1,6)$ % в зависимости от температуры. Экспериментальные данные приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Экспериментальные значения теплопроводности водных растворов BeCl_2
вблизи линии насыщения $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)**

T, К	Концентрация c, масс %						
	4	8	12	16	20	25	30
293,17	593	588	582	577	571	564	557
303,18	609	603	598	594	586	579	572
313,16	622	616	610	605	599	591	584
323,19	634	628	622	616	610	603	595
333,18	643	637	631	625	619	611	603
353,22	658	652	645	639	633	625	617
373,20	670	663	657	651	644	636	629
393,19	676	669	663	656	651	648	634
413,18	678	671	665	658	652	644	636
423,21	677	670	664	657	651	643	635
433,23	674	667	661	655	648	640	632
453,17	668	661	655	649	642	635	627
473,16	657	651	644	638	632	624	616
493,19	642	636	630	624	618	610	603
498,22	639	631	625	619	613	605	598
523,18	611	605	600	594	588	581	574
533,23	599	594	588	582	577	570	563
543,24	586	581	575	570	564	557	550
548,19	578	574	568	562	557	550	543
553,18	572	566	561	555	550	543	536
573,21	538	533	529	524	519	512	506

Таблица 2

Экспериментальные значения теплопроводности водных растворов SrCl₂
вблизи линии насыщения $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)

T, К	Концентрация c, масс %					
	4	8	12	16	20	30
293,16	596	591	585	580	575	562
303,19	612	606	601	596	590	577
313,17	626	620	615	609	604	590
323,18	637	632	626	621	615	601
333,17	647	642	636	630	625	611
353,23	662	657	652	646	640	626
373,21	673	669	663	657	652	637
393,20	679	676	670	664	658	643
413,19	681	678	672	666	660	645
423,22	680	676	670	664	658	643
433,21	677	674	668	662	656	642
453,18	670	668	662	656	651	636
473,16	660	657	652	646	640	626
493,18	645	642	639	633	628	613
498,20	641	638	636	630	625	611
523,17	613	610	607	604	601	587
533,22	602	596	592	586	580	565
543,18	589	583	578	572	567	558
548,19	582	577	571	564	560	551
553,17	574	569	563	558	553	542
573,22	540	536	531	527	521	509

Полученные значения теплопроводности исследованных растворов с повышением концентрации уменьшаются, а с возрастанием температуры увеличиваются до $\approx 140^\circ\text{C}$, затем эта зависимость переходит к нормальному изменению теплопроводности жидкостей.

На рис. 1, 2 показаны зависимости теплопроводности водных растворов BeCl₂ от концентрации температуры.

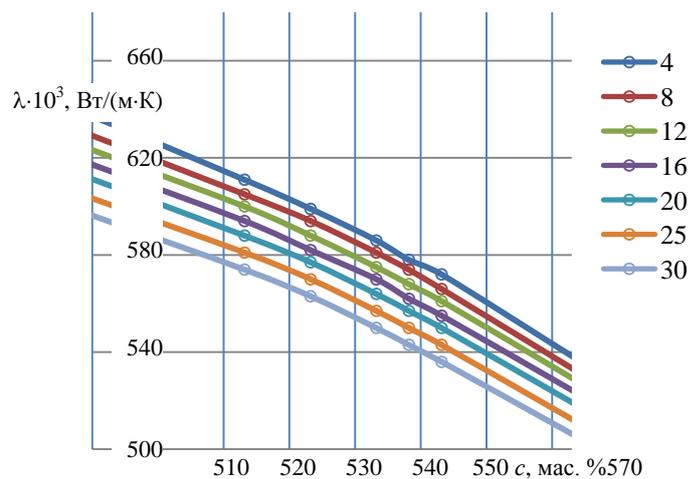


Рис. 1. Зависимость теплопроводности растворов BeCl₂ от концентрации при различных температурах

Учитывая, что теплопроводность системы $\text{H}_2\text{O}-\text{BeCl}_2$ исследована впервые, для проверки достоверности полученных результатов авторами выполнены расчеты по известной формуле, приведенной в [3]:

$$\lambda_3 = \lambda_0 \left(1 - \sum_i \beta_i c_i \right), \quad (1)$$

где λ_3 – теплопроводность раствора; λ_0 – теплопроводность воды; β_i – коэффициент, характеризующий количество растворенной соли; c_i – концентрация раствора, кг вещества/кг растворителя.

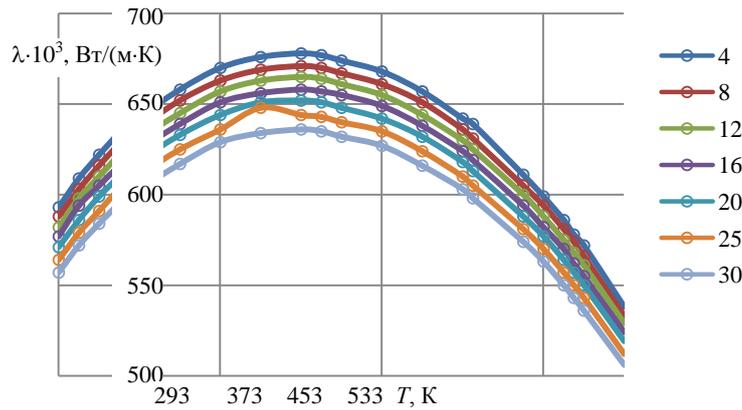


Рис. 2. Зависимость теплопроводности водных растворов BeCl_2 от температуры при различных концентрациях

Теплопроводность воды в интервале температур $0-100^\circ\text{C}$ описывается полиномом

$$\lambda_0 = 0,5545 + 0,00246t - 0,00001184t^2. \quad (2)$$

В табл. 3 приведены расчетные значения теплопроводности водных растворов BeCl_2 , вычисленные по формуле (1). Из табл. 3 видно, что расчетные и экспериментальные результаты удовлетворительно согласуются между собой, так как максимальное расхождение составляет 1,8 %.

Полученные экспериментальные результаты описываются эмпирическим уравнением

$$\lambda_p = \lambda_v (1 + Am + Bm^{3/2} + Cm^2), \quad (3)$$

где λ_p , λ_v – коэффициенты теплопроводности раствора и воды; m – моляльность (отношение количества растворенного вещества в молях к массе растворителя в килограммах); A , B , C – коэффициенты, зависящие от природы электролита.

Для водных растворов BeCl_2 коэффициенты A , B , C имеют следующие значения:

$$A = -0,01694 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}; B = -0,00210 \text{ кг}^{3/2} \cdot \text{моль}^{-3/2}; C = 0,00190 \text{ кг}^2 \cdot \text{моль}^{-2}.$$

Соответственно, для системы $\text{H}_2\text{O} + \text{SrCl}_2$:

$$A = -0,00331 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}; B = -0,03306 \text{ кг}^{3/2} \cdot \text{моль}^{-3/2}; C = 0,01433 \text{ кг}^2 \cdot \text{моль}^{-2}.$$

Таблица 3

Расчетные значения коэффициента теплопроводности водных растворов BeCl_2 , выполненные по формуле (1), и сравнение их с экспериментальными данными $\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda_{\text{в}}^* \cdot 10^3$	Концентрация c , мас. %									
		4		8		12		16		20	
		$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$
30	618	612	0,5	606	0,5	601	0,5	595	0,2	589	0,5
50	648	642	1,2	636	1,3	630	1,3	624	1,3	618	1,3
60	659	653	1,5	647	1,5	640	1,4	634	1,4	628	1,4
80	676	670	1,8	663	1,7	657	1,8	651	1,8	644	1,7
100	682	676	0,9	669	0,9	663	0,9	656	0,8	650	0,9

*Расчитанные значения теплопроводности воды по формуле (2).

Результаты расчетов, выполненных по формуле (3) для водных растворов BeCl_2 , приведены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетные значения коэффициента теплопроводности водных растворов BeCl_2 и сравнение их с экспериментальными данными $\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

$t, ^\circ\text{C}$	Концентрация m , моль/кг									
	0,521 (4 мас. %)		1,088 (8 мас. %)		1,706 (12 мас. %)		3,128 (20 мас. %)		5,363 (30 мас. %)	
	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\Delta, \%$
20	594	+0,2	585	-0,5	580	-0,3	569	-0,4	555	-0,4
30	610	+0,2	602	-0,2	596	-0,3	585	-0,2	570	-0,4
40	625	+0,5	616	0	611	+0,2	599	0	584	0
50	638	+0,6	629	+0,2	623	+0,2	612	+0,3	596	+0,2
60	648	+0,8	639	+0,3	633	+0,3	622	+0,5	606	+0,5
80	664	+0,9	655	+0,5	649	+0,6	636	+0,5	620	+0,5
100	673	+0,4	664	+0,2	657	0	645	+0,2	629	0
120	677	+0,1	667	-0,3	661	-0,3	649	-0,3	633	-0,2
150	676	-0,1	666	-0,6	660	-0,6	648	-0,5	631	-0,6
180	669	+0,1	660	-0,2	654	-0,2	641	-0,2	625	-0,3
200	658	+0,2	649	-0,3	643	-0,2	631	-0,2	615	0,2
225	642	+0,5	631	0	626	+0,2	614	+0,2	598	0
250	615	+0,7	607	+0,3	602	+0,3	591	+0,5	576	+0,3
270	590	+0,7	583	+0,3	577	+0,3	566	+0,4	552	+0,4
300	542	+0,7	536	+0,6	531	+0,4	521	+0,4	508	+0,4

Как видно из табл. 4, расхождение между расчетными и экспериментальными данными составляет менее $\pm 1 \%$.

По экспериментальным данным установлено, что отношение теплопроводности раствора к теплопроводности воды – «относительная теплопроводность» при данной концентрации электролита не зависит от температуры, т. е.

$$\frac{\lambda_{\text{р}}}{\lambda_{\text{в}}} = \Lambda = f(T). \quad (4)$$

ВЫВОДЫ

1. Впервые получены экспериментальные данные по теплопроводности водных растворов BeCl_2 и SrCl_2 при высоких температурах.

2. Полученные результаты обобщены новым эмпирическим уравнением. Показано, что отношение теплопроводности раствора к теплопроводности воды при данной концентрации электролита не зависит от температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эльдаров, В.С. Исследование теплопроводности теплоносителей, используемых в энергетической промышленности / В. С. Эльдаров, Л. А. Азизова // *Экоэнергетика*. – 2006. – № 1. – С. 25–27.

2. Артеменко, А. И. Справочное руководство по химии / А. И. Артеменко, В. А. Малеванный, И. В. Тикунова. – М.: Высш. шк., 1990. – 303 с.

3. Зайцев, И. Д. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ / И. Д. Зайцев, Г. Г. Асеев. – М.: Химия, 1988. – 414 с.

Представлена кафедрой
теплоэнергетики

Поступила 10.10.2012

УДК 536.2:532/533:674.047

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СУШКЕ

Докт. физ.-мат. наук **СЫЧЕВСКИЙ В. А.**

Белорусский национальный технический университет

Сушка древесины относится к сфере массового промышленного производства, где даже небольшой процент брака приводит к значительным материальным и финансовым затратам. Одновременно с этим при увеличении производительности предприятий требуется дальнейшая интенсификация процесса сушки. Однако режимы камерной сушки пиломатериалов в производственных условиях координируются по времени от начала сушки или по влажности материала. Такие способы сушки древесины применимы при мягких режимах, когда время сушки жестко не ограничивается в процессе производства пиломатериалов, что приводит к неэффективным затратам энергии и низкой производительности предприятия. В последнее время с целью повышения производительности сушки древесины все чаще используются жесткие режимы, которые дают меньшую продолжительность сушки, но приводят к развитию напряжений в материале и тем самым к снижению качества конечной продукции.