

2. Построена математическая модель, позволяющая производить оценку эффективности предложенных способов регулирования $t_{\text{пп}}$, где в качестве критерия эффективности оценки использован «интегральный» перерасход топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паршин, А. А. Тепловые схемы котлоагрегатов / А. А. Паршин. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Назаров, В. И. Техничко-экономический анализ способов регулирования промежуточного перегрева пара в газомазутных котлах / В. И. Назаров, Е. В. Вакулич // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 2.
3. Князева, Л. П. Аппроксимация функций / Л. П. Князева. – Минск: Вышэйш. шк., 2000.
4. Аникин, В. С. Дифференциальные приближения функций / В. С. Аникин. – М.: Высш. шк., 1988.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 14.02.2006

УДК 536.2.022:532.77

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Кандидаты техн. наук ЭЛЬДАРОВ В. С., ВАХАБОВ И. И., БАХТИЯРОВ А. Л.

Азербайджанская государственная нефтяная академия

Отсутствие достоверных теплофизических данных технически важных рабочих веществ, в том числе высокоминерализованных вод и многокомпонентных водных растворов в широком интервале параметров состояния, не позволяет проводить рациональную разработку и расчет многих теплоэнергетических процессов для выбора оптимальных рабочих режимов, где обработанные морские и соленые воды используются в качестве рабочего тела, тепло- и хладоносителей. При этом знания о теплофизических свойствах водных растворов солей при высоких параметрах состояния необходимы при проектировании и строительстве электрических станций, работающих на геотермальной воде.

Одной из важнейших задач при изучении водных растворов является исследование их теплопроводности. Имеющиеся в литературе опытные данные по теплопроводности водных и неводных систем недостаточны для разработки необходимых для практики уравнений и таблиц, поскольку измерения величин проводились в широкой области параметров состояния.

На основе анализа литературных данных [1–9] о теплопроводности водных растворов солей при высоких температурах, давлениях и концентрациях получена обобщающая формула, которая связывает коэффициент теплопроводности с температурой, давлением, концентрацией и коэффициентами, характерными для каждой системы электролита:

$$\lambda(m, p, T) = K(p, T) \lambda_0 \left(A + B \frac{T}{T_0} + C \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 \right), \quad (1)$$

где $K(p, T)$ – безразмерная величина (при данных значениях p и T $K(p, T)$ не зависит от рода электролита, но слабо зависит от температуры и концентрации); λ_0 – коэффициент теплопроводности раствора при температуре 293,15 К; A , B и C – коэффициенты, индивидуальные для электролита.

Уравнение (1) позволяет прогнозировать зависимости $\lambda = f(T)$ и $\lambda = f_1(p)$ коэффициента теплопроводности растворов при различных концентрациях

электролита, если известны значения $A + B \frac{T}{T_0} + C \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 = f(T)$ и зависи-

мость λ_0 от концентрации. Формула (1) значительно облегчает работу экспериментаторов, освобождая их от длительных и трудоемких опытов и сборки установок.

Значения $K(p, T)$ при данной температуре в зависимости от давления ($p = 5 - 50$ МПа) значительно меняются – от 0,41 до 7,87 %.

В табл. 1 приведены средние значения $K(p, T)$ для водного раствора $H_2O - NaCl - CaCl_2 - KCl$.

Таблица 1

Значения $K(p, T)$ для растворов $H_2O - NaCl - CaCl_2 - KCl$

T, K	$p, \text{ МПа}$				
	5	10	20	40	50
303	1,00374	1,00746	1,01524	1,03041	1,03792
373	1,00400	1,00812	1,01667	1,03331	1,04168
473	1,00423	1,01119	1,02443	1,05022	1,06262
573	1,00446	1,01426	1,03219	1,06713	1,08356

Значения коэффициентов A , B и C зависят от температуры. Для исследованной системы получены средние значения коэффициентов A , B и C : $A = -0,61704$; $B = 2,50637$; $C = -0,89431$.

В табл. 2 дается сравнение экспериментальных и вычисленных значений теплопроводности, выполненных по (1). Опытные данные о теплопроводности водного раствора $H_2O - NaCl - CaCl_2 - KCl$ приведены в [7].

Таблица 2

Значения потребности $\delta\lambda$ для растворов $H_2O - NaCl - CaCl_2 - KCl$

T, K	$H_2O + 3 \% NaCl + 1 \% CaCl_2 + 1 \% KCl$		$H_2O + 9 \% NaCl + 3 \% CaCl_2 + 3 \% KCl$		$H_2O + 12 \% NaCl + 4 \% CaCl_2 + 4 \% KCl$	
	$\lambda_{расч} \cdot 10^3, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	$\delta\lambda, \%$	$\lambda_{расч} \cdot 10^3, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	$\delta\lambda, \%$	$\lambda_{расч} \cdot 10^3, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	$\delta\lambda, \%$
303	611	-0,3	603	0,0	599	0,0
323	636	-0,5	627	-0,5	623	-0,3
353	662	-0,5	654	-0,2	649	-0,3
373	673	-0,3	664	0,0	659	-0,2
393	679	0,0	670	+0,1	665	+0,2
423	677	-0,3	668	0,0	663	0,0

Окончание табл. 2

T, K	H ₂ O + 3 % NaCl + + 1 % CaCl ₂ + 1 % KCl		H ₂ O + 9 % NaCl + + 3 % CaCl ₂ + 3 % KCl		H ₂ O + 12 % NaCl + + 4 % CaCl ₂ + 4 % KCl	
	$\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3$, Вт/м·К	$\delta\lambda$, %	$\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3$, Вт/м·К	$\delta\lambda$, %	$\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3$, Вт/м·К	$\delta\lambda$, %
453	670	-0,1	661	0,0	657	0,0
473	660	0,0	652	+0,3	647	+0,2
498	642	0,0	633	+0,2	629	+0,3
523	616	-0,3	608	0,0	604	0,0
548	584	-0,5	577	-0,2	573	-0,2
573	543	-0,4	536	-0,2	533	0,0

В табл. 3–5 приведены расчетные значения теплопроводности системы H₂O – NaCl – CaCl₂ – KCl, вычисленные по (1), $\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3$, Вт/(м·К).

Таблица 3

Значения $\lambda_{\text{расч}} \cdot 10^3$ для растворов H₂O – NaCl – CaCl₂ – KCl

T, K	p, МПа							
	5	10	15	20	25	30	40	50
1. Раствор H ₂ O + 3 % NaCl + 1 % CaCl ₂ + 1 % KCl								
303	613	615	618	620	622	625	629	634
313	626	629	631	633	636	638	643	647
323	638	640	642	644	646	649	654	659
333	648	650	652	654	656	659	664	669
353	664	667	669	672	674	677	682	687
373	676	679	682	685	689	692	697	702
393	682	685	688	691	694	697	703	709
403	682	684	687	690	693	696	701	707
413	681	683	686	689	692	695	700	706
423	680	682	685	688	691	694	699	705
433	679	681	684	687	690	693	698	704
453	673	675	678	681	684	686	693	697
473	663	667	671	675	679	684	692	700
498	645	649	653	657	661	665	674	681
523	619	625	631	637	642	648	658	668
548	–	587	595	602	608	615	627	639
573	–	546	557	567	575	584	598	612
2. Раствор H ₂ O + 4,8 % NaCl + 1,6 % CaCl ₂ + 1,6 % KCl								
303	610	612	615	617	619	622	626	630
313	623	626	628	630	633	635	639	644
323	635	638	640	642	645	647	652	656
333	645	648	650	653	655	657	662	667
353	661	664	666	669	671	674	679	683
373	673	675	678	681	684	686	692	697
393	679	681	684	687	690	693	698	704
403	679	681	684	687	690	693	698	704
413	678	680	683	686	689	692	697	703
423	677	679	682	685	688	691	696	701
433	675	677	680	683	686	688	694	699

T, K	p, МПа							
	5	10	15	20	25	30	40	50
453	670	672	675	678	681	683	689	694
473	658	662	666	670	674	671	683	689
498	641	645	649	653	657	661	669	677
523	616	620	624	628	632	635	643	651
548	–	588	592	596	600	603	611	618
573	–	547	550	554	557	561	568	574
3. Раствор H ₂ O + 6 % NaCl + 2 % CaCl ₂ + 2 % KCl								
303	609	611	614	616	618	621	625	629
313	622	625	627	629	633	635	640	645
323	634	637	639	641	644	646	651	655
333	644	647	649	652	654	656	661	666
353	660	663	665	668	670	673	678	682
373	672	674	677	680	683	685	691	696
393	677	679	682	685	688	691	696	701
403	678	680	683	686	689	692	697	703
413	677	679	682	685	688	691	696	701
423	675	677	680	683	686	688	694	699
433	674	676	679	682	685	687	693	698
453	669	671	674	677	680	682	688	693
473	659	663	667	672	676	680	688	696
498	640	644	648	652	656	660	668	676
523	615	619	623	627	630	634	642	649
548	–	587	591	595	599	602	609	617
573	–	546	549	553	556	560	566	573
4. Раствор H ₂ O + 9 % NaCl + 3 % CaCl ₂ + 3 % KCl								
303	605	607	610	612	614	616	621	625
313	617	619	622	624	626	629	633	638
323	629	632	635	637	640	642	648	653
333	639	642	644	646	649	651	656	661
353	656	659	661	664	666	669	673	678
373	667	669	672	675	678	680	686	691
393	673	675	678	681	684	686	692	697
403	673	675	678	681	684	686	692	697
413	672	674	677	680	683	685	691	696
423	671	673	676	679	682	684	690	695
433	670	672	675	678	681	683	689	694
453	664	666	669	672	674	677	683	688
473	655	659	663	668	672	676	684	692
498	636	640	644	648	652	656	664	672
523	610	615	619	623	626	630	638	645
548	–	583	587	591	594	598	605	612
573	–	542	545	543	552	556	562	569

T, K	p, МПа							
	5	10	15	20	25	30	40	50
5. Раствор H ₂ O + 12 % NaCl + 4 % CaCl ₂ + 4 % KCl								
303	601	603	606	608	610	612	617	621
313	613	615	618	620	622	625	629	634
323	625	628	630	632	635	637	642	646
333	635	638	640	642	645	647	652	656
353	651	654	656	659	661	663	668	673
373	662	664	667	670	672	675	681	686
393	668	670	673	676	679	681	687	692
403	669	671	674	679	680	682	688	693
413	668	670	673	676	679	681	687	692
423	666	668	671	674	677	679	685	690
433	665	667	670	673	676	678	684	689
453	660	662	665	668	670	673	678	684
473	650	654	658	662	667	671	679	687
498	632	636	640	644	648	652	660	667
523	606	611	615	618	622	626	634	641
548	–	579	583	587	590	594	601	608
573	–	539	542	546	549	552	559	566

ВЫВОД

Получена обобщающая формула, которая связывает коэффициент теплопроводности с температурой, давлением, концентрацией и коэффициентами, характерными для каждой системы электролита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование теплопроводности водных растворов системы NaCl–CaCl₂ при высоких температурах / К. М. Абдуллаев [и др.] // Изв. вузов. Нефть и газ. – 1995. – № 2. – С. 46–49.
2. Абдуллаев, К. М. Теплопроводность водных растворов системы NaCl – CaCl₂ / К. М. Абдуллаев, В. С. Эльдаров, А. М. Мустафаев // Теплофизика высоких температур. – 1998. – Т. 36, № 3. – С. 397–400.
3. Пепинов, Р. И. Теплофизические свойства водных растворов солей основных компонентов природных солей вод в широком интервале параметров состояния: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Р. И. Пепинов. – Баку, 1994. – 68 с.
4. Absolute measurements of measurements of the thermal conductivity of aqueous NaCl solution at pressures up to 40 MPa / T. Nagasaka [et al.] // Ber. Bursenges. Phys.Chem. – 1983. – V. 87. – P. 859–866.
5. Теплопроводность трехкомпонентных водных растворов NaCl и CaCl₂ в широкой области параметров состояния / К. М. Абдуллаев [и др.] // Теплоэнергетика. – 1997. – № 5. – С. 61–64.
6. Магомедов, У. Б. Теплопроводность водных растворов солей при высоких параметрах состояния / У. Б. Магомедов // ТВТ. – 1993. – Т. 31, № 5. – С. 744–747.
7. Эльдаров, В. С. Теплопроводность водных растворов систем KCl–NaCl–CaCl₂ при высоких температурах и давлениях / В. С. Эльдаров // ТВТ. – 2003. – Т. 41, № 3. – С. 381–385.
8. Eldarov, V. S. Investigation of thermal conductivity of working substances of heat Engineering setups, devices and desalting facilities / V. S. Eldarov, I. I. Vakhobov, S. T. Shikhaliyeva // 2nd International Conference on Technical and Physical problem in power Engineering. 6–8 September 2004.
9. Akhmedova-Azizova, L. A. Heat conductivity of aqueous system as a main transport of working Fluids of the Thermal power Industry. – TPE – 06 / L. A. Akhmedova-Azizova, V. S. Eldarov // 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering. May 29–31, 2006. – Ankara, Turkey.

Представлена кафедрой
теплоэнергетики

Поступила 28.12.2006