

МАССОВАЯ ИЗОБАРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ОБЫЧНОЙ И ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ ПРИ ВЫСОКИХ ПАРАМЕТРАХ СОСТОЯНИЯ

У.Б. МАГОМЕДОВ, М.М. АЛИЕВ

*Институт проблем геотермии ДНЦ РАН
г. Махачкала, просп. Шамиля, 39а*

Представлены формулы и рассчитанные значения теплоемкости обычной и тяжелой воды при высоких параметрах состояния.

The formulas and calculated values of a heat capacity usual and heavy water are represented at high parameters of state

ОБЫЧНАЯ ВОДА (H₂O)

Получена формула для расчета коэффициента изобарной теплоемкости воды в интервалах температур 293 – 473 К и давлений P_s – 100 МПа

$$C_p(P,T) = \frac{C_p(P_s,T)}{\left[\left(1.800 \frac{\rho(P,T)}{\rho(P_s,T)} - 0.8000 \right) - 8.100 \times 10^{-7} \frac{PT}{P_1 T_1} \right]} \quad (1)$$

где C_p(P, T) – теплоемкость воды при давлении P, МПа и температуре T, К; C_p(P_s, T) – теплоемкость воды в состоянии насыщения при давлении P_s и температуре T; ρ(P, T) – плотность воды; ρ(P_s, T) – плотность воды в состоянии насыщения; P₁ = 1 МПа; T₁ = 1 К.

В расчетах по формуле при составлении табл. 1 были использованы справочные данные о изобарной теплоемкости воды в состоянии насыщения и значения плотности воды в интервалах температур 293– 473 К и давлений P_s – 100 МПа [1]. Для получения расчетных данных по формуле о изобарной теплоемкости воды при P > 100 МПа использовались значения плотности [2]. К сожалению, хотя получены расчетные данные о массовой изо-

барной теплоемкости воды и при более высоких давлениях (P > 100 МПа), но эти данные не представлены в работе, т.к. нет возможности их оценки на погрешность.

Расчетные данные табл.1 изобарной теплоемкости воды согласуются с рекомендуемыми справочными [1] в пределах 0.42 %.

В табл. 2 представлены отклонения (в %) расчетных значений табл. 1 от справочных данных [1] при различных температурах и давлениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная новая формула имеет простой вид и может быть легко реализована на вычислительных машинах.

Получены по формуле расчетные данные о изобарной теплоемкости воды для интервалов температур 293–473К и давлений P_s – 100 МПа.

По данным давления и температуры можно вычислить по формуле искомое значение изобарной теплоемкости воды в замкнутой однородной системе, т. к. необходимые для формулы значения изобарной теплоемкости в состоянии насыщения воды и значения плотности имеются в [1, 2].

Таблица 1.

Рассчитанные по формуле значения массовой изобарной теплоемкости воды

Т К	C _p , кДж/(кг·К) при P, МПа H ₂ O										
	P _s	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
293,15	4.184	4.160	4.137	4.115	4.093	4.073	4.053	4.034	4.016	3.998	3.981
313,15	4.179	4.157	4.135	4.115	4.096	4.077	4.058	4.041	4.024	4.008	3.994
333,15	4.183	4.162	4.141	4.121	4.108	4.084	4.066	4.049	4.033	4.018	4.003
353,15	4.196	4.174	4.153	4.133	4.113	4.095	4.077	4.060	4.044	4.028	4.015
373,15	4.217	4.193	4.171	4.149	4.129	4.109	4.091	4.073	4.056	4.041	4.026
393,15	4.246	4.221	4.196	4.173	4.151	4.129	4.110	4.091	4.073	4.056	4.041
413,15	4.286	4.257	4.229	4.204	4.179	4.156	4.134	4.113	4.093	4.075	4.058
433,15	4.338	4.306	4.273	4.244	4.215	4.189	4.165	4.141	4.120	4.099	4.081
453,15	4.406	4.370	4.331	4.296	4.263	4.232	4.204	4.177	4.153	4.130	4.109
473,15	4.494	4.453	4.406	4.363	4.324	4.288	4.254	4.224	4.195	4.168	4.145

ТЯЖЕЛАЯ ВОДА (D₂O)

Представлена формула для расчета коэффициента изобарной теплоемкости тяжелой воды в интервалах температур 293 – 473 К и давлений 0.002 –100 МПа

$$C_p^{D_2O}(P,T) = \frac{C_p^{D_2O}(P_s,T)}{\left[\left(1.800 \frac{\rho(P,T)}{\rho(P_s,T)} - 0.8000 \right) - 8.900 \times 10^{-7} \frac{PT}{P_1 T_1} \right]} \quad (2)$$

МАССОВАЯ ИЗОБАРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ОБЫЧНОЙ И ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ ПРИ ВЫСОКИХ.....

где $C_{P^{D_2O}}(P, T)$ – теплоемкость тяжелой воды при давлении P , МПа и температуре T , К; $C_{P^{D_2O}}(P_s, T)$ – теплоемкость тяжелой воды на линии насыщения при температуре T ; $\rho(P, T)$ – плотность воды; $\rho(P_s, T)$ – плотность воды на линии насыщения; $P_1 = 1$ МПа; $T_1 = 1$ К.

Представленная формула позволяет получить расчетные данные о изобарной теплоемкости тяжелой воды при наличии данных о теплоемкости на линии насыщения и

плотности в интервалах температур 293 – 473 К и давлений 0.002 – 100 МПа.

При получении по формуле (2) значений изобарной теплоемкости тяжелой воды были использованы данные плотности из работы [3].

С помощью формулы получены расчетные данные изобарной теплоемкости тяжелой воды в интервале температур 293 – 473 К и давлений 0.002 – 100 МПа, которые представлены в таблице 3.

Таблица 2.

Отклонение (в %) рассчитанных значений табл. 1 от справочных данных [1] при различных температурах и давлениях.

P МПа	T, К									
	293.15	313.15	333.15	353.15	373.15	393.15	413.15	433.15	453.15	473.15
P_s	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	+0.12	+0.05	+0.02	0	-0.02	-0.02	-0.02	0	+0.07	+0.13
20	+0.24	+0.05	0	-0.02	-0.05	-0.07	-0.07	-0.02	+0.07	+0.18
30	+0.32	+0.10	-0.02	-0.02	-0.10	-0.10	-0.07	-0.02	+0.07	+0.18
40	+0.37	+0.10	+0.12	-0.10	-0.15	-0.14	-0.12	-0.10	+0.02	+0.18
50	+0.42	+0.10	-0.05	-0.12	-0.19	-0.19	-0.17	-0.12	0	+0.16
60	+0.42	+0.05	-0.10	-0.15	-0.22	-0.22	-0.19	-0.15	-0.02	+0.12
70	+0.42	0	-0.12	-0.20	-0.27	-0.27	-0.24	-0.19	-0.07	+0.12
80	+0.40	0	-0.15	-0.22	-0.29	-0.29	-0.29	-0.22	-0.10	+0.07
90	+0.35	-0.05	-0.17	-0.27	-0.32	-0.34	-0.32	-0.27	-0.15	+0.02
100	+0.30	-0.05	-0.22	-0.27	-0.35	-0.34	-0.34	-0.27	-0.15	+0.02

Таблица 3.

Рассчитанные по формуле значения изобарной теплоемкости тяжелой воды

T К	C_p , кДж/(кг · К) при P, МПа										
	P_s	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
293,15	4,222	4,196	4,173	4,150	4,128	4,108	4,089	4,070	4,052	4,033	4,017
313,15	4,217	4,194	4,174	4,153	4,134	4,116	4,098	4,080	4,064	4,048	4,032
333,15	4,207	4,186	4,166	4,146	4,128	4,111	4,094	4,078	4,061	4,046	4,032
353,15	4,186	4,165	4,144	4,125	4,107	4,089	4,073	4,057	4,042	4,026	4,012
373,15	4,165	4,142	4,121	4,101	4,082	4,065	4,048	4,032	4,016	4,000	3,989
393,15	4,160	4,137	4,113	4,091	4,071	4,051	4,033	4,015	3,999	3,983	3,968
413,15	4,165	4,137	4,110	4,086	4,063	4,042	4,021	4,002	3,984	3,967	3,951
423,15	4,174	4,146	4,117	4,091	4,067	4,044	4,023	4,003	3,984	3,966	3,949
433,15	4,190	4,160	4,130	4,101	4,075	4,051	4,028	4,007	3,987	3,968	3,949
443,15	4,212	4,180	4,147	4,116	4,088	4,062	4,038	4,014	3,993	3,973	3,953
453,15	4,240	4,206	4,169	4,136	4,105	4,077	4,050	4,025	4,003	3,981	3,960
463,15	4,273	4,237	4,196	4,160	4,126	4,095	4,067	4,040	4,015	3,992	3,974
473,15	4,313	4,274	4,229	4,189	4,152	4,118	4,087	4,059	4,032	4,007	3,983

[1]. А.А. Александров, Б.А. Григорьев Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Справочник. М.: Изд-во МЭИ. 1999. 168 с.
 [2]. А.А. Александров Скелетная таблица удельного объема воды и водяного пара. Справочный материал // Теплоэнергетика. 1987. № 3. С. 71 – 77.

[3]. J.Kestin, J.V. Sengers New International Formulations for the Thermodynamic Properties of Light and Heavy Water // J.Phys. Chem. Ref. Data. 1986. Vol. 15. No.1. P. 305-320.

Received: 31.01.2007