

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Х. И. Амирханов, А. П. Адамов, У. Б. Магомедов, Экспериментальное исследование теплопроводности воды при температурах $25\text{--}350^\circ\text{C}$ и давлениях $0,1\text{--}245,3\text{ Мн/м}^2$, *ТВТ*, 1975, том 13, выпуск 1, 89–93

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.170

6 февраля 2025 г., 17:01:57



УДК 536.222

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 25—350° С И ДАВЛЕНИЯХ 0,1—245,3 $\text{мн}/\text{м}^2$

Х. И. Амирханов, А. Ш. Адамов, У. В. Магомедов

Приведены результаты экспериментальных исследований теплопроводности воды плоским методом при температурах 25—350° С и давлениях 0,1—245,3 $\text{мн}/\text{м}^2$. В работе впервые исследуется область температур 140—350° С и давлений 196—245,3 $\text{мн}/\text{м}^2$, а также область температур 180—350° С и давлений 98,2—196 $\text{мн}/\text{м}^2$. Предлагается уравнение, описывающее теплопроводность воды при давлениях 0,1—245,3 $\text{мн}/\text{м}^2$ и температурах 25—350° С.

Теплопроводность воды исследована в основном при давлениях до 100 $\text{мн}/\text{м}^2$. Есть две работы, которые схватывают область выше 100 $\text{мн}/\text{м}^2$: в [1] исследования проведены методом коаксиальных цилиндров при давлениях 0,1—784,5 $\text{мн}/\text{м}^2$ и температурах 30—140° С, в [2] исследования проведены методом коаксиальных цилиндров с плоскими торцами при давлениях 0,1—196 $\text{мн}/\text{м}^2$ и температурах 20—180° С. В настоящей работе изучалась теплопроводность воды в интервале температур 25—350° С и давлений 0,1—245,3 $\text{мн}/\text{м}^2$.

Исследования теплопроводности воды проводились методом плоского горизонтального слоя, описанным в работе [3], и приспособленным для исследования воды [4, 5] с некоторыми изменениями в автоклаве.

На рис. 1 показан автоклав с прибором. Прибор и автоклав изготовлены из нержавеющей стали марки Х18Н9Т. Исследуемое вещество находилось между нагревателем и холодильником. Это достигалось с помощью перегородки из фольги 1, приваренной к пластине нагревателя и кольцу 2. Кольцо приваривалось к автоклаву 3. Для контроля теплового потока через фольгу на ней укреплялись контрольные термомпары и компенсационная печь 4. Толщина фольги 0,2 мм. Зазор над прибором заполнялся молотым фарфором 5. Для разгрузки прибора от давления использовался аргон, запускаемый через отверстие 6. В эксперименте использовался селитряный термостат. Термостатирующей жидкостью до 200° С служило высокотемпературное масло. Автоматическое устройство сохраняло температуру в термостате постоянной, с точностью $\pm 0,006^\circ \text{С}$.

Температурные измерения проводились на потенциометре Р-348 класса точности 0,002 с помощью хромель-копелевых термопар. Каждая термопара отжигалась и градуировалась по образцовому термометру сопротивления. Для крепления спаев дифференциальных термопар использовались серебряные пятячки и цемент ВН-15. Абсолютная температура измерялась с точностью до 0,05° С. Каждая величина теплопроводности проверялась при двух значениях перепада температур, которые менялись от 0,76 до 1,44° С.

При вычислении поправки на падение температуры в слое металла использовались данные по теплопроводности нержавеющей стали из работы [6]. Эта поправка в зависимости от температуры колебалась от 12 до 27%.

В расчет коэффициента теплопроводности вносилась температурная поправка изменения отношения величины зазора к площади рабочей поверхности. Зазор между нагревателем и холодильником задавался никелевой проволокой толщиной 0,301 мм. Толщина проволоки проверялась на вертикальном оптиметре марки ИКВ с цепой деления 0,001 мм, ошибка измерения l составляла 0,33%. Диаметр рабочей поверхности равный 68,01 мм измерялся микрометром с цепой деления 0,01 мм, ошибка в определении площади S составляла 0,03%.

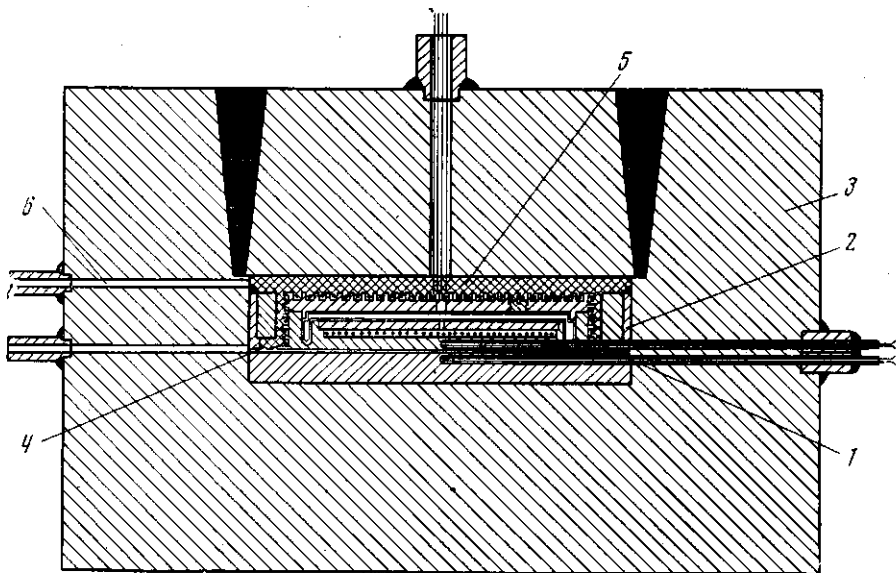


Рис. 1. Автоклав с плоским прибором для исследования теплопроводности воды

Сила тока через рабочий нагреватель определялась потенциометрически и ошибка измерения I равна 0,01%. Напряжение измерялось вольтметром Щ-1412 класса 0,05, ошибка измерения u не превышала 0,13%. Минимальное использованное значение температурного перепада в слое исследуемого вещества равнялось 0,756° С, ошибка измерения не превышала 0,18%. Давление измерялось поршневым манометром класса точности 0,05. Ошибки отнесения ввиду малой величины не учитывались.

Ошибка тепловых потоков через закись меди и фольгу достигала 0,5%. Теплопроводность стали известна с точностью до 3%. Это вносит добавочную ошибку в теплопроводность воды 0,8%. Общая ошибка измерения равна 2%.

Коэффициент теплопроводности вычислялся по формуле

$$\lambda = (Q/\Delta t) (l/S), \text{ вт/м} \cdot \text{град},$$

где Q — тепловой поток, вт; Δt — перепад температуры в слое, °С; l — толщина плоского слоя, м; S — расчетная поверхность, м².

Горизонтальность прибора проверялась уравнением с цепой деления 0,05 мм/м. Чистота воды оценивалась по измерению электрического сопротивления.

Исследования теплопроводности воды проводились по изотермам с интервалом давления 4,9 мн/м².

Результаты исследования приведены в таблице. Здесь приведены $t_{\text{ср}}$, так как отклонения температур при разных давлениях не более 0,5° С.

Зависимость теплопроводности от давления различна для разных температур. При повышении давления максимум теплопроводности смещается

в сторону высоких температур. Так, при давлении 4,9 мм/м^2 максимум находится на изотерме 130° С, а при давлении 245,3 мм/м^2 — на изотерме 200° С. Подобные смещения отмечались ранее в работах [2, 8]. Объясняется это, видимо, тем, что с повышением давления «молекулярные комплексы»

Экспериментальные данные по теплопроводности воды (10^{-3} вт/м·град)

P, мм/м ²	Средняя температура, t °С													
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
0,1	604	641	664	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9,9	607	646	668	686	694	691	682	670	645	619	585	545	—	—
19,7	611	650	673	692	699	697	691	683	656	632	605	570	522	450
29,5	615	653	677	698	705	704	699	691	668	645	621	585	544	492
39,3	620	658	682	703	711	711	709	701	678	659	636	605	565	520
49,1	623	662	687	709	716	718	716	710	690	673	650	625	585	544
58,9	627	666	692	714	724	725	726	720	700	682	660	636	602	563
68,7	630	671	696	720	728	731	732	729	708	693	672	648	618	582
78,6	634	675	702	725	734	737	740	736	718	700	682	660	631	600
88,4	637	679	706	730	740	745	748	745	729	712	694	669	644	615
98,2	640	684	712	736	746	754	756	753	738	721	701	676	655	625
108,0	644	688	716	742	752	758	764	762	748	732	711	689	666	634
117,8	647	692	719	747	758	765	772	768	756	742	720	699	676	645
127,6	651	696	725	749	764	771	780	780	766	752	730	708	685	655
137,4	655	702	729	754	770	779	788	790	772	761	740	717	694	665
147,2	659	704	734	759	776	784	796	798	784	770	751	725	704	674
157,0	663	711	739	764	782	790	804	805	793	780	757	734	710	680
166,8	667	715	744	770	788	797	812	814	802	788	766	742	718	687
176,6	671	720	748	776	794	804	820	823	810	796	772	750	725	694
186,4	675	725	752	781	800	810	829	832	818	803	778	758	732	702
196,2	678	729	757	786	805	819	834	840	827	810	785	766	740	712
206,0	682	733	762	792	811	825	840	848	833	818	793	773	748	719
215,8	685	737	767	797	817	831	848	853	842	826	800	780	755	726
225,7	689	742	771	802	823	838	855	864	850	834	808	787	762	734
235,5	692	746	776	808	829	845	865	872	860	842	816	795	770	741
245,3	696	750	782	815	835	851	870	879	866	852	825	803	778	752

становятся более стойкими и разрушаются при более высоких температурах.

На рис. 2 представлен вид изотерм обычной воды в исследованной нами области.

На рис. 3 сравниваются наши данные с данными работ [1, 2, 7—11].

В работе [12] дается уравнение, рекомендованное для температур 0—800° С и давлений 0,1—100 мм/м^2 . Оно описывает наши экспериментальные данные при температурах 25—350° С и давлениях 0,1—100 мм/м^2 с точностью до 2%. Проверка пригодности его для давлений выше 100 мм/м^2 показала, что с повышением давления ошибка возрастает и доходит до 10% при давлении 245,3 мм/м^2 .

Уравнение, предлагаемое в работе [2], также не описывает всю исследованную нами область. Поэтому нами предлагается уравнение (1), описывающее теплопроводность воды при давлениях 0,1—245,3 мм/м^2 и температурах 25—350° С с точностью 2%,

$$\lambda_{P,t} = \lambda_s + \left(\frac{\lambda - \lambda_s}{P - P_s} \right)_{P=245,3} (P - P_s) + \frac{at^4 P}{e^{bP}}, \quad \text{вт/м·град}, \quad (1)$$

где λ_s — теплопроводность на линии насыщения, вт/м·град; P_s — давление на линии насыщения, мм/м^2 ; t — температура, °С; P — давление, для ко-

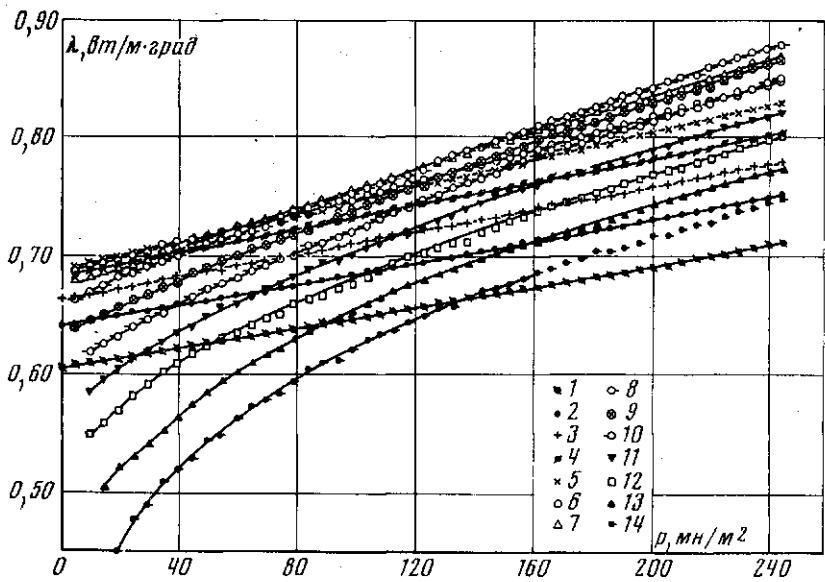


Рис. 2. Зависимость теплопроводности воды от температуры и давления:

1 — 25° С; 2 — 50; 3 — 75; 4 — 100; 5 — 125; 6 — 150; 7 — 175; 8 — 200; 9 — 225;
10 — 250; 11 — 275; 12 — 300; 13 — 325; 14 — 350

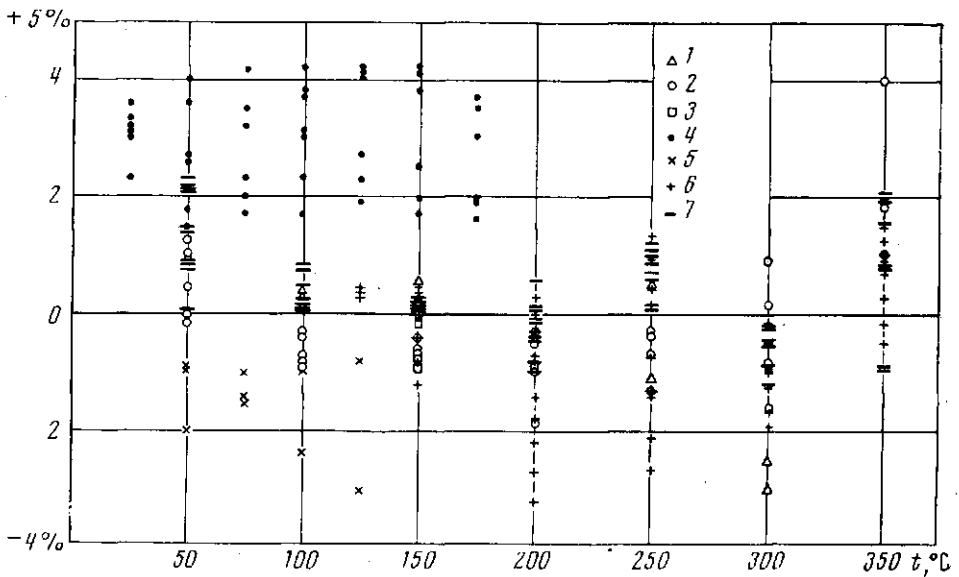


Рис. 3. Сравнения данных авторов с другими данными:

нулевая ось температуры — данные авторов; 1 — [7]; 2 — [9]; 3 — [10]; 4 — [2]; 5 — [1];
6 — [8]; 7 — [11]

того вычисляется теплопроводность, мн/м^2

$$[(\lambda - \lambda_s) / (P - P_s)]_{P=245,3} = f(t), \text{ вт/м} \cdot \text{град} \cdot \text{мн},$$

$$\frac{at^4 P}{e^{bP}} = f(P, t), \text{ вт/м} \cdot \text{град},$$

$[(\lambda - \lambda_s) / (P - P_s)]_{P=245,3}$ имеет вид

$$[(\lambda - \lambda_s) / (P - P_s)]_{P=245,3} = (0,001122t^2 + 2,494t + 300,8) 10^{-6}, \text{ вт/м} \cdot \text{град} \cdot \text{мн}.$$

Значения P_* взяты из (13), at^4P/e^{bP} имеет вид

$$at^4P/e^{bP} = 1,6 \cdot 10^{-13} t^4 P / e^{0,0143P} \text{ вт/м} \cdot \text{град.}$$

На основе наших экспериментальных данных получены значения теплопроводности воды на линии насыщения. Эти данные хорошо описываются уравнением (2)

$$\lambda_s = (0,007t^3 - 9,38t^2 + 2114,1t + 556\,536) 10^{-6}, \text{ вт/м} \cdot \text{град.} \quad (2)$$

Рекомендуемые нами значения λ_s хорошо согласуются с работами [9] и [14], лишь при температурах близких к 350°C расхождение достигают 3% — с работой [9] и 1,3% — с работой [14].

Для расчета теплопроводности воды по уравнению (1) значения λ_s брались из уравнения (2).

Институт физики
Дагестанского филиала
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 VII 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. A. W. Lawson, R. Lowell, A. L. Jain. J. Chem. Phys., 30, № 3, 1959.
2. Ю. Л. Расторгуев, В. В. Пугач. Теплоэнергетика, № 5, 1970.
3. Х. И. Амирханов. Авторское свидетельство № 81591, кл. 421, 12, 02. Гостехника СССР № 386141, 1948.
4. Х. И. Амирханов, А. П. Адамов. Теплоэнергетика, № 10, 1963.
5. Х. И. Амирханов, А. П. Адамов. Тр. Всес. научн.-техн. конф. по термодинамике. Ленинградский технологический ин-т холодильной промышленности. Л., 1970, стр. 254.
6. Н. Б. Варгафтик. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Физматгиз, 1963.
7. Д. Л. Тимрот, Н. Б. Варгафтик. Ж. техн. физики, 10, № 13, 1940.
8. Л. И. Чернеева. В сб. Теплофизические свойства газов. «Наука», 1970, стр. 18.
9. V. Leneindre, P. Johanin, V. Vodar. Gerte de Recherches et D'essais de chaton. Recherche D'une Formule de correlation paur les valeurs experimentales de la conductiviti Termogoue de L'eau entre 0° et 350° et entre 1 bar et 500 bars, Mars, 1964.
10. А. А. Тарзиманов, В. С. Лозовой. Тр. Казанск. хим.-технол. ин-та, вып. 43, ч. 1, 50, 1969.
11. Международные скелетные таблицы. Теплоэнергетика, № 4, 1964.
12. W. A. Stein. Wärme- und Stoffübertrag., 2, № 4, 210, 1969.
13. Спр. Теплофизические свойства веществ (под ред. Н. Б. Варгафтика). ГЭИ, Л., 1956.
14. Н. Б. Варгафтик, А. П. Филиппов, А. А. Тарзиманов, Р. П. Юрчак. Теплопроводность газов и жидкостей. Изд. стандартов, 1970.