

Вязкость тяжелой воды при высоких давлениях в интервале температур 4—100° С

Н. А. АГАЕВ, А. Д. ЮСИБОВА

УДК 546.212.02

Обзор работ по теплофизическим свойствам тяжелой воды дан в монографии [1], в которой, в частности, приводятся результаты по вязкости тяжелой воды. При атмосферном давлении вязкость тяжелой воды исследована достаточно подробно [1], причем экспериментальные данные отличаются высокой точностью, их надежность не вызывает сомнений. Единственная работа по исследованию вязкости тяжелой воды при повышенных параметрах выполнена Д. Л. Тимротом и К. Ф. Шуйской [2]. Измерения проведены методом капилляра в области, близкой к линии насыщения при давлениях 46—325 кг/см² и температурах 15—280° С. Погрешность экспериментальных данных не превышает ±2%.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального определения вязкости тяжелой воды при давлениях 1—1200 кг/см² в интервале 4—100° С.

Измерения проводились на капиллярном вискозиметре и установке, разработанных И. Ф. Голубевым [3]. Использовались два вискозиметра: один в интервале температур 4—75° С, другой в интервале 50—100° С. Их геометрические размеры (соответственно): радиус капилляра 0,01129 и 0,007312 см; длина капилляра 6,310 и 5,686 см; средний перепад разности уровней ртути 6,149 и 5,606 см; объем измерительного баллончика 1,6514 и 1,2545 см³.

Схема экспериментальной установки несколько отличалась от ранее описанной (в настоящей работе применялось жидкостное термостатирование). Точность поддержания постоянной температуры составляла ±0,005°С.

Температура измерялась образцовым платиновым термометром сопротивления с точностью до 0,02° С. Давление создавалось и измерялось при помощи двух поршневых манометров типа МП-60 и МП-2500 класса 0,05%. Время истечения измерялось автоматически электросекундомером с точностью до 0,1 сек. Чистота тяжелой воды составляла 99,8%.

Коэффициенты динамической вязкости вычислялись на основании данных опыта по формуле, вывод которой приведен в работе [3]. Однако в настоящей работе в расчетное уравнение введена дополнительная поправка на изменение геометрических размеров вискозиметра от давления.

Опыты проводились по изотермам. Первая серия опытов охватывает изотермы: 3,86; 4,00; 7,00; 10,00; 15,00; 20,00; 25,00; 30,00; 40,00; 50,00 и 75,00° С; вторая серия — 50,00; 75,00 и 100,00° С. Предел измерения давлений на изотермах составлял 1—1200 кг/см².

При заданных давлениях и температуре проводились по два-три измерения, при этом воспроизводимость опытов составляла 0,01—0,1%. Экспериментальные данные по вязкости тяжелой воды приведены на рис. 1 и сведены в таблицу. Измерения на изобаре 600 кг/см² совпали с измерениями на изотермах с точностью до

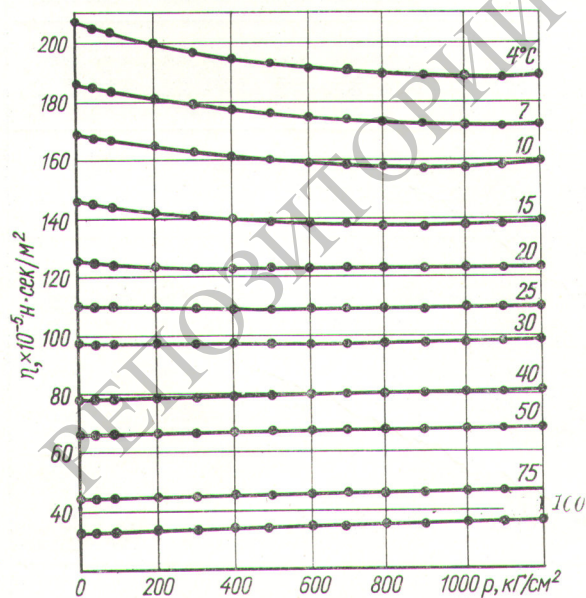


Рис. 1. Вязкость тяжелой воды в зависимости от давления при постоянных значениях температуры.

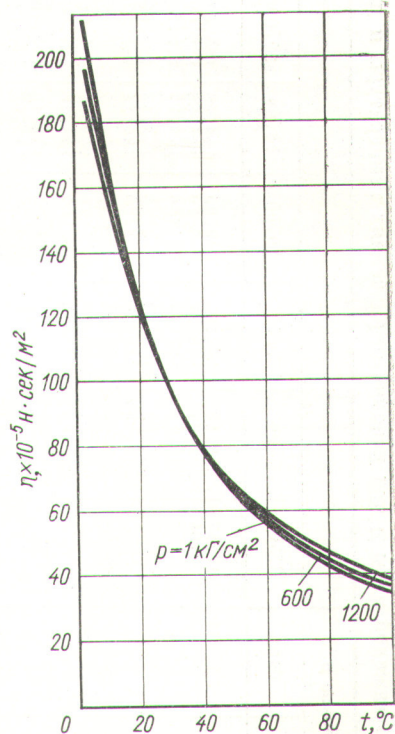


Рис. 2. Вязкость тяжелой воды в зависимости от температуры при постоянном давлении.

Вязкость тяжелой воды η при различных значениях температуры и давлений ($\times 10^{-5}$ н·сек/м²)

Давление p		Температура t , °C													
кг/см ²	бар	3,86	4,00	7,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	40,00	50,00	50,00	75,00	75,00	100,00
1,032	1,019	240,47	203,13	186,85	169,05	144,48	125,87	110,62	97,62	78,82	65,97	65,31	44,34	44,41	—
		209,94	207,67	186,14	168,96	144,38	126,99	110,43	97,85	78,77	65,15	65,33	44,43	44,49	—
			208,13	186,14	168,96	144,25	125,77	110,53					44,43	44,43	
11,03	10,82	—	207,90	186,49	168,88	144,47	125,69	110,49	97,68	78,84	64,98	65,24	44,39	44,44	32,65
			207,75	186,26	168,80	144,24	125,97	110,30	97,50	78,81	65,07	65,34	44,36	44,51	32,67
				186,16									44,36	44,51	32,71
21,03	20,63	—	207,61	186,05	168,78	144,34	125,56	110,48	97,58	78,81	64,99	65,33	44,38	44,41	32,67
			207,34	186,22	168,64	144,16	125,69	110,21	97,44	78,66	65,07	65,34	44,33	44,47	32,75
31,03	30,43	—	207,01	185,95	168,39	144,16	125,76	110,35	97,60	78,81	65,00	65,30	44,42	44,44	32,67
			206,87	185,76	168,39	144,02	125,57	110,16	97,43	78,89	65,18	65,37	44,45	44,54	32,76
51,03	50,05	—	206,42	185,57	168,16	143,72	125,54	110,16	97,54	78,82	65,07	65,29	44,44	44,57	32,78
			206,32	185,48	167,88	143,80	125,63	110,26	97,26	78,82	65,16	65,35	44,44	44,49	32,88
				185,43					97,40				44,44	44,44	
81,03	79,47	—	205,29	184,71	167,60	143,47	125,24	109,95	97,52	78,72	65,08	65,33	44,58	44,65	32,88
			205,47	184,87	167,36	143,32	125,16	110,10	97,42	78,67	65,26	65,44	44,49	44,77	32,96
													44,49	44,77	
101,0	99,09	206,47	204,88	184,35	167,31	143,14	125,47	109,87	97,51	78,84	65,21	65,44	44,63	44,73	32,92
		206,80	205,01	184,53	167,17	143,24	125,38	110,04	97,42	78,97	65,04	65,34	44,59	44,80	33,01
151,0	148,1	—	203,41	183,37	166,50	142,50	124,94	109,78	97,47	78,62	65,18	65,49	44,64	44,89	33,16
			203,32	183,28	166,32	142,55	124,80	109,92	97,56	78,80	65,23	65,44	44,73	44,81	33,22
201,0	197,2	203,56	201,85	182,37	165,52	142,03	124,60	109,76	97,45	79,09	65,33	65,63	44,86	45,09	33,28
		203,76	202,04	182,28	165,48	142,26	124,46	109,85	97,59	78,95	65,02	65,69	44,77	44,96	33,35
				182,14					97,36				44,77	44,96	
251,0	246,2	—	200,22	181,39	164,69	141,68	124,35	109,76	97,27	—	65,51	65,72	44,90	45,13	—
			200,34	181,30	164,79	141,72	124,49	109,67	97,04		65,43	65,65	44,99	45,03	—
301,0	295,2	200,83	198,69	180,69	164,12	141,24	124,31	109,34	97,43	79,07	65,64	65,21	45,21	45,28	33,68
		200,35	198,51	180,41	164,02	141,42	124,53	109,60	97,16	79,02	65,48	65,78	45,17	45,16	33,76
401,0	393,3	198,19	196,38	178,77	162,78	140,53	123,72	109,46	97,33	79,41	65,78	65,98	45,32	45,51	33,94
		198,18	196,38	178,63	162,88	140,35	123,76	109,27	97,19	79,14	65,65	66,06	45,18	45,59	34,03
501,0	491,4	—	194,47	177,58	162,05	139,77	123,27	109,11	97,23	79,39	66,19	66,37	45,57	45,85	34,27
			194,65	177,30	161,86	139,65	123,41	109,38	97,44	79,49	66,08	66,28	45,52	45,78	34,38
601,0	589,5	194,44	192,69	176,25	160,81	138,97	123,13	109,26	97,30	79,78	66,29	66,51	45,99	46,09	34,68
		194,12	192,55	176,16	161,08	139,42	122,99	108,98	97,26	79,52	66,20	66,38	45,73	46,21	34,78
					160,84	139,38			97,39				45,73	46,21	
701,0	687,5	—	191,40	174,92	169,92	138,55	123,06	109,37	97,49	79,95	66,50	66,72	46,20	46,35	34,97
			191,31	174,64	169,02	138,83	123,01	109,05	97,58	79,93	66,41	66,63	46,33	46,44	35,08
				174,60	160,02				97,62				46,33	46,44	35,09
801,0	785,6	191,89	190,53	173,76	168,33	138,53	122,78	109,25	97,65	79,95	66,84	67,00	46,44	46,62	35,25
		191,87	190,62	174,09	168,37	138,45	123,05	109,38	97,64	80,13	66,75	67,11	46,48	46,48	35,33
					168,37								46,48	46,48	35,37
901,0	883,7	—	189,95	173,55	168,76	138,26	122,86	109,40	97,73	80,15	66,98	67,23	46,82	46,99	35,69
			190,00	173,41	168,67	138,03	122,87	109,17	97,63	80,06	66,92	67,09	46,82	46,91	35,69
					168,67				97,80				46,82	46,91	
1001,0	981,7	190,36	189,49	173,18	168,58	138,08	122,86	109,39	97,94	80,68	67,17	67,42	46,99	47,09	35,90
		190,53	189,44	172,90	168,85	137,98	122,76	109,20	98,12	80,59	67,04	67,33	46,90	47,09	35,99
					168,85				97,85				46,90	47,09	
1101,0	1080	—	188,99	173,01	168,40	138,01	122,78	109,51	97,87	80,62	67,56	67,56	47,24	47,34	36,18
			189,13	173,10	168,44	138,16	122,74	109,41	98,01	80,71	67,65	67,65	47,45	47,45	36,27
					168,44								47,45	47,45	
1201,0	1178	190,08	188,70	172,96	168,30	138,03	122,79	109,78	98,09	80,67	67,72	67,72	47,53	47,53	36,41
		189,96	188,46	172,89	168,18	138,03	122,93	109,68	98,00	80,80	67,86	67,86	47,66	47,66	36,47
					168,18								47,66	47,66	36,49
					168,18								47,66	47,66	36,49

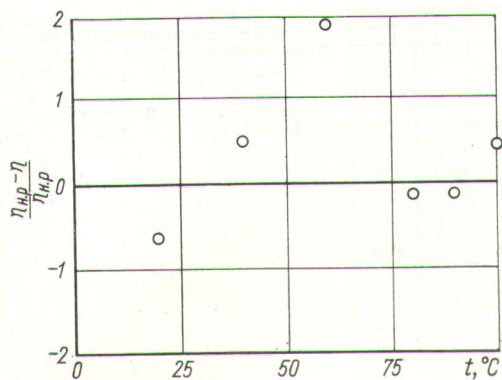


Рис. 3. Сравнение вязкости тяжелой воды на линии насыщения по данным различных авторов:

$\eta_{\text{д.р.}}$ — данные настоящей работы; η — данные работы [2].

0,2—0,3%. Число Рейнольдса не превышало 400. Полученные экспериментальные данные были обработаны графически, при этом отклонения экспериментальных точек от соединяющих их наивероятной кривой составляли 0,2%.

Из рис. 1 следует, что вблизи температуры замерзания изотермы вязкости так же, как и для обычной

воды, имеют аномальный характер: с увеличением давления вязкость уменьшается, проходит через минимум, а затем увеличивается. Минимум вязкости на изотермах с увеличением температуры уменьшается по абсолютной величине, смещаясь в сторону низких давлений. При температуре 35—40° С эта аномалия исчезает, изотермы вязкости имеют обычный для жидкости ход: с увеличением давления вязкость тяжелой воды увеличивается. Аномальный характер изменения вязкости тяжелой воды в зависимости от давления исследован и обнаружен впервые. Для наглядности на рис. 2 представлены изобары 1; 600 и 1200 $\mu\text{Г/см}^2$.

Погрешность экспериментальных данных составляет $\pm 0,5\%$. Полученные нами результаты экспериментов были сравнены с единственными опубликованными данными на линии насыщения [2]. Результаты сравнения приведены на рис. 3. Видно, что расхождение между этими данными колеблется в интервале $\pm 2,0\%$, что находится в пределах ошибок измерений.

Поступило в Редакцию 16/ XII 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тяжелая вода. Под ред. В. А. Кириллина. М., «Энергия», 1965.
2. Д. Л. Тимрот, К. Ф. Шуйская. «Атомная энергия», 7, 459 (1959).
3. И. Ф. Голубев, Н. А. Агаев. Вязкость предельных углеводородов. Баку, Изд. Азернепр, 1964.

Радиационный захват быстрых нейтронов изотопами Cl^{37} , Rb^{87} , Ir^{193}

А. Г. ДОВБЕНКО, В. Е. КОЛЕСОВ, В. П. КОРОЛЕВА, В. А. ТОЛСТИКОВ

УДК 539.172.4

В настоящей работе относительным активационным методом измерены сечения радиационного захвата нейтронов с энергией 0,15—1,4 Мэв изотопами Cl^{37} и Rb^{87} . В диапазоне 0,15—3,2 Мэв измерены сечения радиационного захвата Ir^{193} .

Метод измерений описан в работах [1, 2]. Для определения из экспериментальных данных сечений радиационного захвата были использованы следующие опорные сечения: сечение захвата тепловых нейтронов

в Cl^{37} с образованием активности с периодом полураспада $T_{1/2} = 37,5$ мин, равное $0,56 \pm 0,12$ барн [3]; сечение захвата тепловых нейтронов в Rb^{87} ($T_{1/2} = 17,8$ мин) $0,12 \pm 0,03$ барн [3]; сечение захвата тепловых нейтронов в Ir^{193} ($T_{1/2} = 19,7$ ч) 130 ± 30 барн [3]; сечение деления U^{235} тепловыми нейтронами $577,1 \pm 0,9$ барн [4]. Сечения деления U^{235} быстрыми нейтронами были взяты из работы [5].

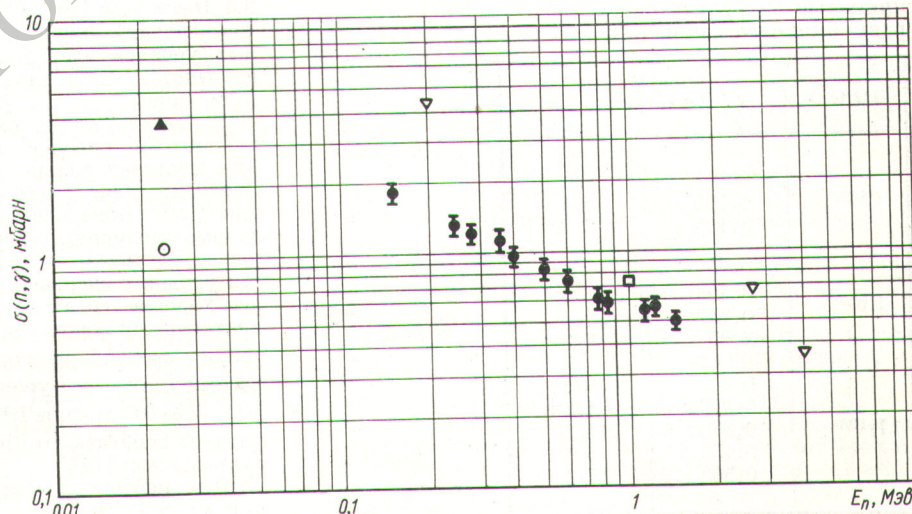


Рис. 1. Результаты измерений сечений радиационного захвата нейтронов Cl^{37} в сравнении с результатами других работ.

Данные работ: ● — настоящей; ▲ — [6]; ○ — [7]; □ — [8]; ▽ — [9].