

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ЗВУКА В НАСЫЩЕННЫХ И ПЕРЕГРЕТЫХ ПАРАХ ДИФТОРХЛОРМЕТАНА***И. И. Новиков, Л. М. Лагутина**(Москва)*

Приводятся результаты экспериментального исследования скорости звука в дифторхлорметане по линии насыщения от 293°K до критической температуры и в перегретом паре по изотермам 293, 313, 333, 353, 363, 369, 373°K.

Дифторхлорметан ( $\text{CH}_2\text{ClF}_2$ ) — наиболее освоенный теплоноситель в холодильной технике, а в последнее время он становится перспективным для использования его и в энергетике. Экспериментально это вещество изучено недостаточно полно даже при низких параметрах. В настоящей работе впервые были проведены систематические измерения скорости звука в насыщенных и перегретых парах дифторхлорметана от комнатных температур до температур несколько выше критической.

Скорость распространения звука в веществе — один из важнейших термодинамических параметров, который не только позволяет судить о внутримолекулярном строении вещества, но имеет и чисто практический интерес, так как в совокупности с исследованием плотности данные по скорости звука могут служить основой для построения термодинамических энтропийных диаграмм, необходимых для расчета тепловых процессов, происходящих в энергетических установках [1].

Работа проводилась на экспериментальной установке, которая позволяет измерять одновременно два параметра: скорость звука и плотность исследуемого вещества. Для исследования скорости распространения ультразвука в дифторхлорметане был выбран метод акустического интерферометра Пирса. Конструктивное выполнение его описано в литературе [2]. Излучателем служит кварцевая пластина X-среза, которая преобразует электрические колебания в механические, возбуждая стоячую волну в исследуемой среде. Реакция этой волны на кварц изменяется с перемещением отражателя, достигая максимума или минимума в момент, когда между кварцем и отражателем укладывается целое число полуволн.

Высокочастотные колебания подаются на кварц через усилитель с частотомера типа 121а, который служит одновременно и генератором. Точность измерения частоты 0.015%. Напряжение на кварце измеряется ламповым вольтметром ВКС-7Б. Показывающим прибором этого вольтметра является миллиамперметр, последовательно с которым включается эталонное сопротивление. Постоянная составляющая падения напряжения на этом сопротивлении компенсируется ПМС-48, а переменная подается на гальванометр Ф-16. Реакция кварца записывается на диаграммной бумаге самописца Н16. При обработке диаграммной записи определяется длина акустической волны с точностью не ниже 0.2%, кроме точек около критической температуры, где погрешность будет несколько выше. Если известны частота колебаний  $\nu$  и длина волны  $\lambda$ , скорость звука легко находится по соотношению  $c = \nu\lambda$ . Температура газа измеряется образцовым платиновым термометром сопротивления, помещенным в рабочий объем. Его сопротивление измеряется при помощи потенциометра ПМС-48 класса А.

С учетом паспортных данных всех элементов измерительной цепи температура исследуемого газа определяется с точностью до 0.02—0.04°K.

Интерферометр устанавливается в термостат, температура термостатирующей жидкости (масло) при помощи контактного термометра и электронного реле поддерживается постоянной с точностью до +0.02°K.

Давление измеряется образцовым поршневым манометром МП-60 класса 0.05. Чтобы избежать загрязнения исследуемого вещества парами масла, объем интерферометра отделяется от объема поршневого манометра трубкой Бурдона образцового манометра на  $0.98 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> класса 0.35. Трубка Бурдона помещена в толстостенный корпус, соединенный с гидропрессом поршневого манометра. Таким образом, она работает как дифференциальный манометр. Во всех опытах показания дифманометра были близки к нулю, поэтому введение трубки Бурдона незначительно загроубляет точность измерения давления, которая в данной работе равна 0.05—0.07%. Для исследования был взят дифторхлорметан (фреон-22), содержащий по ГОСТу 0.2% (объемных) фреона-21 и следы других примесей. По паспорту температура кипения исходного продукта 232.2°K при давлении 760 мм рт. ст., а изменение температуры кипения при перегонке 0.06°K.

Учитывая большое влияние примесей на распространение скорости ультразвука, была создана установка для более тщательной очистки исходного вещества. Процесс очистки включает в себя, кроме сушки, тройную дистилляцию при низкой температуре 195°K и последовательное вымораживание дифторхлорметана. Дифторхлорметан, очищенный описанным методом, по данным масс-спектрального анализа не содержит примесей в пределах чувствительности масс-спектрометра М×1303 (0.05%). После контрольных измерений скорости звука в двуокиси углерода были проведены измерения скорости звука в насыщенных и перегретых парах чистого дифторхлорметана.

Общая погрешность измерения скорости звука данным методом с учетом ошибок отнесения к температуре и давлению не выше 0.25%.

Измерения скорости звука по линии насыщения велись на частотах 500 и 1500 кгц. Результаты измерения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений скорости звука в насыщенных парах дифторхлорметана ( $c$  — скорость звука при частоте 500 кгц,  $c'$  — скорость звука при частоте 1500 кгц)

$T, ^\circ\text{K}$	$p \cdot 10^{-5},$ $\text{н/м}^2$	$c,$ $\text{м/сек}$	$c',$ $\text{м/сек}$	$T, ^\circ\text{K}$	$p \cdot 10^{-5},$ $\text{н/м}^2$	$c,$ $\text{м/сек}$	$c',$ $\text{м/сек}$
287.47	7.505	162.6	—	357.89	40.310	130.0	130.0
294.68	9.780	160.8	—	363.15	44.365	124.0	123.8
303.16	11.900	159.6	159.6	366.12	46.921	119.1	119.3
313.18	15.273	155.9	156.4	367.07	47.739	117.1	117.4
303.23	11.884	159.4	—	367.65	48.269	115.3	115.2
322.69	19.180	152.7	152.4	367.98	48.533	115.4	115.8
333.04	24.161	147.8	148.3	368.28	48.790	114.0	114.0
333.19	24.204	147.6	147.6	368.61	49.150	111.2	111.1
343.02	29.802	141.9	141.8	368.75	49.298	110.0	110.1
347.88	32.933	138.4	138.5	369.00	49.514	108.8	109.0
353.05	36.460	134.0	134.3	369.27	49.779	102.6	102.6

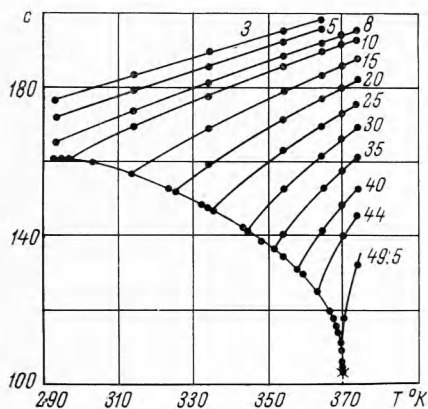
Таблица 2

Результаты измерений скорости звука в перегретых парах дифторхлорметана

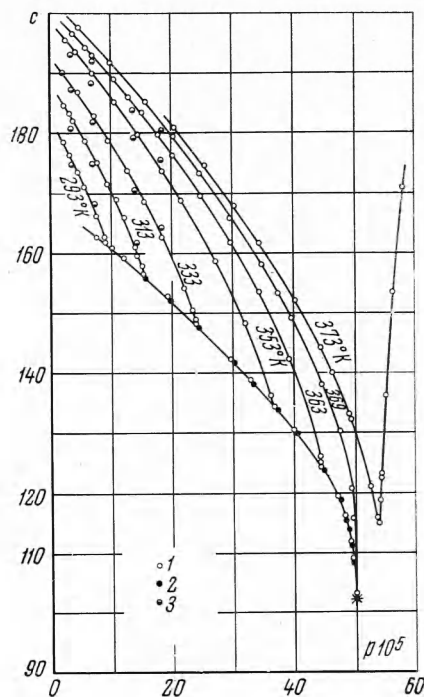
$T, ^\circ\text{K}$	$p \cdot 10^{-5},$ $\text{н/м}^2$	$c, \text{м/сек}$	$T, ^\circ\text{K}$	$p \cdot 10^{-5},$ $\text{н/м}^2$	$c, \text{м/сек}$	$T, \text{K}$	$p \cdot 10^{-5},$ $\text{н/м}^2$	$c, \text{м/сек}$
Изотерма 293° K			Изотерма 353° K			Изотерма 373° K		
293.17	2.003	178.3	353.15	2.499	195.6	369.28	19.879	179.5
293.15	3.008	176.4	353.16	3.965	193.5	369.29	24.649	173.2
293.12	4.179	173.1	353.14	7.487	188.9	369.27	23.490	165.9
293.21	5.392	170.9	353.14	10.268	185.3	369.29	34.427	158.5
293.16	7.366	166.0	353.12	14.337	179.8	369.28	39.310	149.5
293.14	8.729	162.3	353.14	18.466	173.8	369.27	44.348	138.4
293.16	8.899	162.1	353.15	21.579	169.1	369.29	47.177	129.9
Изотерма 313° K			353.15	27.168	158.9	369.28	49.098	120.9
313.16	2.023	184.6	353.15	27.170	158.5	369.28	49.581	115.8
313.18	3.057	183.0	353.16	31.581	148.1	Изотерма 373° K		
313.16	3.530	181.9	353.16	36.130	136.1	373.17	20.287	180.6
313.18	5.405	178.5	Изотерма 363° K			373.19	25.072	174.8
313.16	7.495	174.3	363.16	3.629	196.3	373.14	23.968	168.1
313.15	9.003	171.3	363.16	5.994	194.1	373.17	34.433	161.6
313.16	10.573	168.0	363.16	6.906	193.2	373.16	40.060	152.1
313.19	11.728	165.5	363.17	10.097	188.8	373.15	44.253	144.3
313.14	13.669	160.7	363.15	12.857	185.9	373.16	46.301	140.0
313.17	14.797	157.6	363.16	14.834	183.2	373.17	49.060	132.9
Изотерма 333° K			363.16	17.769	179.5	373.13	49.415	132.2
333.16	2.009	190.2	363.14	20.123	176.3	373.10	52.363	121.1
333.18	4.120	187.1	363.16	24.650	169.7	373.16	52.649	119.6
333.16	4.297	186.8	363.15	29.682	161.6	373.12	53.654	116.0
333.16	6.989	182.7	363.15	34.356	153.1	373.12	53.288	115.1
333.13	9.499	178.8	363.15	39.238	142.4	373.20	53.557	115.4
333.16	12.454	173.8	363.15	44.097	125.4	373.12	53.848	118.5
333.17	15.347	168.6	363.16	44.183	125.1	373.12	54.121	122.7
333.15	18.203	162.6	Изотерма 369° K			373.19	54.190	122.9
333.18	21.854	154.1	369.28	4.477	197.8	373.20	55.070	135.2
333.15	23.269	150.4	369.28	9.609	191.4	373.15	56.352	153.2
333.15	23.964	148.2	369.28	15.378	185.2	373.20	58.456	171.0

Измерения скорости звука в перегретых парах проводились по изотермам 293, 313, 333, 353, 363, 369, 373°K на частоте 500 кгц. Результаты измерений представлены в табл. 2. Независимость скорости звука от частоты по линии насыщения и плавный ход изотерм в достаточно широкой области изменения давления позволяют сделать вывод об отсутствии дисперсии в парах дифторхлорметана и считать измеренную скорость звука термодинамической величиной. На фиг. 1 представлена зависимость скорости звука в м/сек в насыщенных и перегретых парах дифторхлорметана от температуры; цифра при кривых указывает значения давления  $p$  в  $\text{н/м}^2 \cdot 10^{-5}$ ; критическая точка обозначена звездочкой.

Экспериментальные значения скорости звука сравнивались с расчетными, которые получены Даунингом и Лонгом [3] на основе уравнения состояния для дифторхлорметана, предложенного Бенингом [4]. На фиг. 2 представлена зависимость скорости звука от давления. Здесь точки 1 — экспериментальные значения скорости при  $f = 500$  кгц, точки 2 — экспериментальные данные при  $f = 1500$  кгц. Точки 3 — расчетные данные Даунинга и Лонга. Расчетные значения скорости звука расходятся с экспериментальными в худшем случае на 0.7%. Наклон расчетных кривых отличается от наклона экспериментальных изотерм. Следовательно, вблизи кривой насыщения расчетные значения скорости звука будут больше отличаться от экспериментальных. Это расхождение можно объяснить тем, что исходные данные Бенинга по плотности и параметрам отнесения дифторхлорметана недостаточны точны, и набор экспериментальных точек в его работе ограничен.



Фиг. 1



Фиг. 2

Контрольные опыты на описанной установке по определению скорости распространения звука в двуокиси углерода и достаточно хорошее совпадение экспериментальных данных с расчетными позволяют считать, что в работе получены достоверные значения скорости звука в насыщенных и перегретых парах дифторхлорметана в интервале температур от 293 до 373°K и давлений от  $2 \cdot 10^5$  до  $60 \cdot 10^6$  н/м<sup>2</sup>.

Поступила 3 VI 1966

#### ЛИТЕРАТУРА

- Новиков И. И., Трелин Ю. С. Новый метод построения термодинамических диаграмм рабочих веществ. «Теплоэнергетика», 1962, № 2.
- Трелин Ю. С. Исследование скорости распространения ультразвуковых волн в двуокиси углерода в области жидкого и газообразного состояния. Сб. «Применение ультразвуки к исследованию вещества». Моск. обл. пед. институт, 1961, Вып. 13.
- Downing R. C., Long L. I. Velocity of Sound in some Fluorocarbon Refrigerants. ASHRAE Journal, 1963, vol. 5, p. 41—46.
- Bennig A. F., McHarness. Thermodynamic Properties of Fluorochloromethanes and — Ethanes. Ind. Engng. Chem. 1940, vol. 32, No. 5, p. 698—700.