

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИСПЕРСИЯ И ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ПАРАХ ФРЕОНОВ

С. Г. Божаров, А. Н. Соловьев, Е. П. Шелудяков

(Новосибирск)

Исследованы области акустической дисперсии и зависимость ее от температуры, давления и частоты для трех фреонов: фреона-11 (CFCl_3), фреона-21 (CHFCl_2), фреона-142 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$). Исследовано также поглощение ультразвука. Все фреоны были подвергнуты хроматографическому анализу. При этом во фреоне-11 не было обнаружено никаких примесей; во фреоне-21 было 0.019% влаги, 0.0041% нелетучего остатка; во фреоне-142—0.3% фреона-141, фреона-143, фреона-153 и других примесей.

Дисперсия во фреоне-11 и фреоне-21 была обнаружена ранее [1,2]. Измерения проводились при температуре 373° К и давлении от 0.25 до 2.5 бар. Фреон-142 не исследовался. Для выяснения зависимости дисперсии от параметров состояния нами был существенно расширен исследуемый диапазон как по температурам, так и по давлениям.

На установке, описанной в [3], была исследована дисперсия (методом ультразвукового интерферометра) на двух частотах: $2.2 \cdot 10^5$ и $2.1 \cdot 10^6$ гц, по девяти изотермам для фреона-11, десяти изотермам для фреона-21 и по пяти изотермам для фреона-142 в широком интервале температур (293—423° К) и давлений (0.04—25 бар). Кроме того, на низкочастотной установке, описанной в [4], на этих же изотермах были проведены измерения скорости звука на частотах от 1 до 3 кгц. Эти значения скорости звука могут считаться термодинамическими, т. е. не зависящими от частоты. Относительно этих значений и определялось завышение

скорости звука на высоких частотах. На фиг. 1 приведены результаты измерений скорости звука c м·сек⁻¹ в зависимости от давления P в бар по четырем изотермам 294.66, 333.16, 373.16, 418.16° К на трех частотах для фреона-11; кривые 1, 2, 3 соответствуют значениям частот $f = 2.1 \cdot 10^6$, $2.2 \cdot 10^5$, $1.0 \cdot 10^3$ гц; при этом S — кривая насыщения. Аналогичный характер кривых получен и для фреона-21.

Погрешность в определении скорости звука на частоте $2.1 \cdot 10^6$ гц при понижении давления увеличивается вследствие ухудшения



Фиг. 1

качества реакции интерферометра и на концах изотерм составляет 2—3%. Поэтому погрешность в определении величины дисперсии достигает в этой области 10—20%. С повышением давления (по изотермам) дисперсия падает до значения, соответствующего дисперсии на кривой насыщения. При этом для более низких изотерм наблюдается тенденция к образованию минимума до достижения кривой насыщения. У фреона-11 и фреона-21 отчетливая область дисперсии простирается до 14 и 24 бар соответственно. У фреона-142 дисперсионная область невелика (до 0.3 бар), и величина дисперсии при низких давлениях соизмерима с погрешностью измерений.

На фиг. 2 приведена зависимость скорости звука от температуры при постоянном давлении 0.1 бар для фреона-21 на частотах 10^3 и $2.1 \cdot 10^6$ гц. Как видно из фиг. 2, с повышением температуры дисперсия увеличивается, что связано с увеличением теплоемкости внутренних степеней свободы молекулы. Результаты исследования дисперсии были использованы для расчета теплоемкости внутренних и внешних степеней свободы молекул. Предварительно производилась идеализация дисперсионных кривых. Проведенные измерения скорости звука на низких частотах (10^3 гц) позволили учесть реальность газа и провести идеализацию без привлечения расчетных методов, как это делается обычно. При этом скорость звука на идеализированной дисперсионной кривой определялась прибавлением к скорости, измеренной на частоте $2.1 \cdot 10^6$ гц, разности между скоростью звука в идеальном состоянии и скоростью звука на частоте 10^3 гц. Теплоемкость внешних степеней свободы рассчитывалась по формуле

$$C_{\infty} = \sqrt{gRT(1 + R/C_{va})}$$

полученной в релаксационной теории Кнезера [5], где C_{va} — теплоемкость внешних степеней свободы, C_{∞} — максимальное значение скорости звука на идеализированной дисперсионной кривой. Теплоемкость внутренних степеней свободы C_{vi} рассчитывалась по формуле

$$C_{vi} = C_p - C_{va}$$

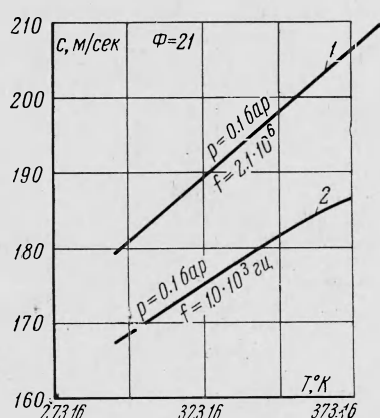
Значение C_v определялось по известному значению C_p^0 [6]. Приводим результаты вычислений C_{vi} и C_{va} в $\text{кдж/моль}\cdot\text{град.}$ для фреона-11 и фреона-21 для некоторых значений T .

$T^{\circ}\text{K}$	300	340	380	420	
C_{vi}	49.0	53.1	57.0	—	Фреон-11
C_{vi}	36.4	40.2	44.0	47.3	Фреон-21
C_{va}	20.92	20.92	20.92	—	Фреон-11
C_{va}	16.76	16.76	16.76	16.76	Фреон-21

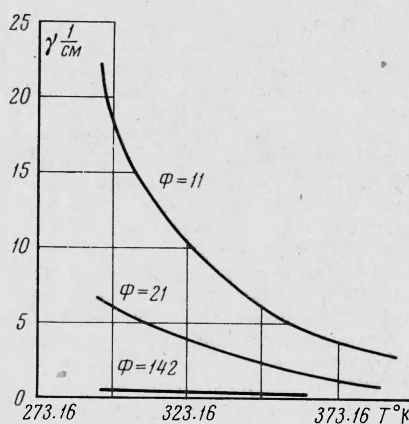
C_{vi} отличаются от значений C_{v_i} , приведенных в работе [2], на 20%, что лежит в пределах погрешности определения этой величины. Наряду с измерениями скорости звука были проведены измерения коэффициента поглощения звука по амплитуде в насыщенных и перегретых парах фреона-11, фреона-21 и фреона-142. Коэффициент поглощения рассчитывался из экспериментальных данных по формуле

$$\gamma = \frac{2.3}{x} \lg \frac{A_0}{A}$$

где A_0 и A — соответственно начальная и конечная амплитуды, x — расстояние в см.



Фиг. 2



Фиг. 3

Результаты измерений коэффициента поглощения звука γ ($1/\text{см}$) в перегретых парах фреона-21 по трем изотермам 292.76, 373.16, 421.16°K приведены в таблице (где f гц, а p бар), а в насыщенных парах фреона-11, фреона-21 и фреона-142 на фиг. 3. Как вид-

$\gamma \lg(f/p)$		$\gamma \lg(f/p)$		$\gamma \lg(f/p)$	
292.76		373.16		421.16	
33.0	7.308	26.0	6.778	18.0	6.308
38.0	7.208	27.3	6.738	8.0	6.408
39.5	7.158	17.0	6.508	3.0	5.508
27.5	6.908	6.5	6.000	1.8	5.158
13.2	6.508	2.5	5.508		
6.5	6.158				

но из фиг. 3 в насыщенных парах с повышением температуры (а следовательно и давления) коэффициент поглощения падает. Наибольшее поглощение наблюдается у фреона-11, наименьшее — у фреона-142.

ЛИТЕРАТУРА

1. F o g g P., H a n k s P., L a m b e r t J. Ultrasonic dispersion in halo — methane vapours. Proc. Roy. Soc., 1953, vol. 219, p. 490.
2. R o s s i n g T. D., L e g v o l d S. Collision excitation of molecular vibrations in halogen — substituted methanes. I. Chem. Phys., 1955, vol. 23, p. 1118.
3. К о м а р о в С. Г., С о л о в ь е в А. Н., Ш е л у д ь к о в Е. П. Скорость звука во фреонах на линии насыщения. ПМТФ, 1967, № 5.
4. Ш е л у д ь к о в Е. П., К о м а р о в С. Г., К о л о т о в Я. Л., С о л о в ь е в А. Н. Экспериментальное исследование скорости звука в парах и жидкостях. В кн.: Исследования теплофизических свойств веществ, Новосибирск, изд-во «Наука», 1967, стр. 159—181.
5. Б е р г м а н Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., изд-во иностр. лит., 1957.
6. В а р г а ф т и к Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., Физматгиз, 1963.

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В НАСЫЩЕННЫХ ПЕСКАХ**

О. Л. Кузнецов, Л. А. Сергеев, Э. М. Симкин

(Москва)

Возникновение течения жидкости (газа) в пористых средах под действием звукового поля обсуждалось в физической и технической литературе. В частности, в работе [1] вводится понятие динамической плотности агрегата, возникающей из-за относительно перемещения жидкостей (газов) и твердой фазы и вызывающей вязко-инерционную дисперсию и затухание звука.

Кроме того, рядом исследователей экспериментально показана эффективность воздействия звукового поля и вибрационных колебаний на интенсификацию тепло- и массопереноса в жидкостях и газах [2].

Целью настоящей работы было экспериментальное изучение влияния звуковых волн (12—100 кГц) на изменение коэффициента эффективной теплопроводности песков, насыщенных дегазированными нефтями, дистиллированной водой или воздухом.

Образцы готовились из кварцевого песка (в дальнейшем (0)) со средней окатанностью зерен диаметром 0.16—0.25 мм.

Песок насыщался высоковязкой, тяжелой нефтью (1) из месторождения Павлова гора, маловязкой легкой нефтью (2) из месторождения Зыря, или дистиллированной водой (3). Одна серия опытов проводилась с воздухом насыщенным песком.

Приведены физические свойства насыщающих жидкостей и газа (при 20° С): плотность ρ , вязкость μ , скорость звука c , теплоемкость C_p .

	ρ , г/см ³	μ , спз	c , м/сек	C_p , ккал/кг·град
Тяжелая нефть (1)	0.949	540	1475	0.5
Легкая нефть (2)	0.872	9	1360	0.5
Вода (3)	1.0	1.002	1490	1.9
Воздух (4)	0.0012	0.00018	330	0.27

В табл. 1 дана характеристика исследовавшихся образцов, диаметром 50 мм и высотой 70 мм, где δ — вес компоненты смеси, η — пористость, S — степень насыщения жидкостью (газом).

Таблица 1

Компоненты смеси	δ_0 , г	δ_{1-4} , г	δ , г	η , %	S , % жидкостью	S , % воздухом
(0)+(3)+(4)	214.3	32.0	246.8	39.5	60	40
(0)+(3)	214.3	53.4	267.7	39.5	100	0
(0)+(2)+(4)	231.0	9.59	240.6	35.0	23	77
(0)+(2)	231.0	47.0	278.0	35.0	100	0
(0)+(1)+(4)	230.0	7.64	237.6	35.2	17	83
(0)+(1)	230.0	47.3	277.3	35.2	100	0
(0)+(4)	234.5	—	234.5	34.0	100	0