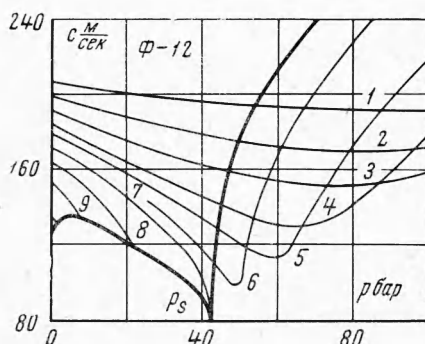


К ИЗМЕРЕНИЮ СКОРОСТИ ЗВУКА ВО ФРЕОНАХ

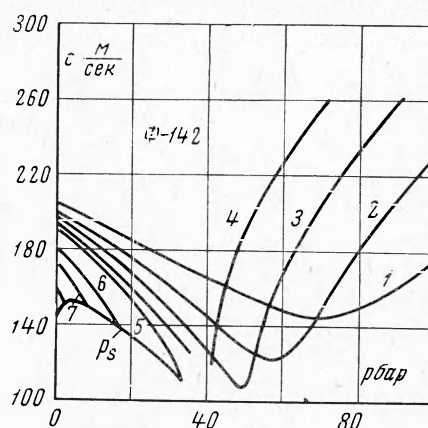
Я. Л. Колотов, А. Н. Соловьев, Е. П. Шелудяков
(Новосибирск)

Приводятся экспериментальные данные в достаточно широкой области параметров состояния, включая линию насыщения, до- и закритическую область. Для выявления закономерностей поведения $c = f(p, T)$ выбраны фреон-12 (CF_2Cl_2) и фреон-142 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$). Эти фреоны имеют сравнительно низкие критические температуры и поэтому удобны для исследования сверхкритической области. Кроме того, для этих фреонов отсутствуют данные по скорости звука.

Измерения проводились методом стоячих волн в резонаторе на установке, описанной в [1], на частотах 1000 ÷ 3000 гц. Особенность данных измерений заключалась в том, что при температурах ниже комнатной (до 233°K) автоклав с резонатором помещался в специально оборудованный холодильный шкаф; это обеспечило более удобную работу и качественное регулирование температуры. Фреон-12 был подвергнут анализу на масс-спектрометре. При этом в нем не было обнаружено никаких примесей. Фреон-142 был подвергнут хроматографическому анализу, в результате которого в нем обнаружены примеси: фреон-12—0.28%; 1.1-дифторэтан в сумме с 1.2-фторхлорэтиленом—0.06%; фреон-141 < 0.01%.



Фиг. 1



Фиг. 2

При работе с фреоном-12 наблюдалось хорошее совпадение $p - T$ -зависимости на линии насыщения с табличными данными. При работе с фреоном-142 наблюдалось отклонение давления насыщения от табличного [2], причем это отклонение возрастало при приближении к критической температуре. В связи с этим не приводятся данные в непосредственной близости к критической точке для фреона-142. Для приведенных значений скорости звука отклонение давления насыщения от табличного не превышает 0.4%; это отклонение практически не увеличивает погрешность результатов.

По формуле

$$c^0 = \left(g \frac{C_p^0}{C_v^0} RT \right)^{1/2}$$

была рассчитана скорость звука в обоих фреонах при нулевом давлении, и при обработке результатов производилась экстраполяция изотерм скорости звука на нулевое давление. Исходные данные для расчета были взяты из [3]. Результаты измерений скорости звука в перегретом паре по изотермам и линии насыщения приведены на фиг. 1, 2, где P_s — кривая насыщения, а цифры соответствуют следующим температурам:

Фреон-12

	1	2	3	4	5
$T [^{\circ}\text{K}] =$	576.16	513.16	473.16	433.16	413.16
	6	7	8	9	10
$T [^{\circ}\text{K}] =$	394.16	385.16	352.36	304.26	233.16

Фреон-142

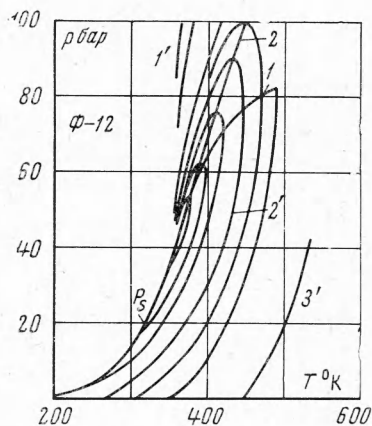
	1	2	3	4	5
$T [^{\circ}\text{K}] =$	473.16	441.16	423.96	410.08	399.16
	6	7	8	9	
$T [^{\circ}\text{K}] =$	363.16	330.36	272.51	233.46	

Скорость звука во фреоне-12 исследована в интервале температур $233 \div 576^\circ\text{K}$ и давлений от 0.01 до 100 бар, а во фреоне-142 в том же интервале давлений и при температурах от 233 до 473°K . Температура измерялась платиновым термометром сопротивления, давление — поршневым манометром МП-60 класса точности 0.05 в комплекте с образцовым манометром на 4 кг/см^2 класса точности 0.35. При измерениях в области низких температур температура поддерживалась с точностью $0.1 \div 0.2^\circ\text{K}$; в области температур $293 \div 510^\circ\text{K}$ — с точностью 0.03°K и в области $510 \div 590^\circ\text{K}$ — с точностью $0.1 \div 0.2^\circ\text{K}$.

Кроме непосредственного измерения, расстояние между мембранами определялось по измерениям скорости звука в осушенном воздухе. Ошибка отнесения не превышает 0.1% во всей области исследованных параметров состояния, за исключением критической, где последние несколько выше. При температурах от 233 до 400°K расхождение между экспериментальными значениями скорости звука и экстраполированными в нуль давления не превышает $0.2 \div 0.3\%$. Однако при более высоких температурах это расхождение увеличивается и достигает $0.6 \div 0.7\%$. Поправка на термическое расширение резонатора учитывалась. Поправка на трение о стенки резонатора была пренебрежимо мала. Общую погрешность результатов можно оценить в $0.5 \div 0.8\%$.

Проведенные в данной работе измерения скорости звука во фреоне-12 и фреоне-142, а также проведенные ранее измерения скорости звука во фреоне-21 [1] позволили выявить некоторые закономерности, касающиеся характера линий постоянной скорости звука в критической области. На фиг. 3, где k — критическая точка, P_s — кривая насыщения, построены линии постоянной скорости звука ($1' - 273.0 \text{ м/сек}$; $2' - 150.9$; $3' - 189.7$) в $p-T$ координатах для фреона-12. Линия 1 соединяет точки минимума скорости звука, которые являются одновременно точками максимальной температуры на кривых $c(p, T) = \text{const}$.

Как видно из графика, при удалении от критической точки линия 1 отклоняется от прямой в сторону меньших давлений. Линия 2, соединяющая точки максимального давления на линиях $c(p, T) = \text{const}$, является прямой линией. Как показывает сравнение с $p-v-T$ данными [4], в этой области линия 2 весьма близка к критической изохоре. Аналогичная картина наблюдается также и для фреона-142 и фреона-21



Фиг. 3

Поступила 22 IV 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелудяков Е. П., Комаров С. Г., Колотов Я. Л., Соловьев А. Н. Экспериментальное исследование скорости звука в парах и жидкостях. Сб. Исследования теплофизических свойств веществ, М., «Наука», 1967.
2. Розенфельд Л. М., Качев А. Г. Холодильные машины и аппараты, М., Гостехиздат, 1960.
3. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М., Физматгиз, 1963.
4. Справочник «Fundamentals and Equipment», Copyright by the American Society of Heating, Refrigerating and Air Condit., Inc. (ASHRAE), N.— Y., 1965, 1966.