

**ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТИ ЗВУКА  
В ЖИДКОЙ И ПАРОВОЙ ФАЗАХ ФРЕОНА-12 ПО ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ  
ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ**

*С. Г. Комаров, А. Н. Соловьев, Е. П. Шелудяков*

*(Новосибирск)*

Пересечение температурных зависимостей скорости звука в паре и жидкости по линии насыщения вблизи критической точки впервые было обнаружено Шнейдером для шестифтористой серы. Однако полученный им результат в течение длительного времени подвергался сомнениям, которые, в сущности, не рассеялись и после того, как Ю. С. Трелин и Танненбергер получили аналогичные результаты для углекислоты и этана. При этом высказывалось предположение, что пересечение кривых не может иметь места и вызвано либо недостаточной точностью измерений, либо влиянием примесей.

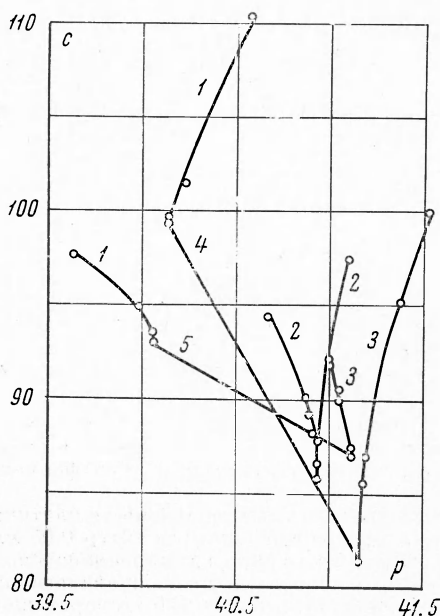
Однако в последнее время А. А. Глинский и И. С. Радовский показали теоретически возможность и необходимость пересечения, а В. Ф. Ноздрев и П. Г. Степанов [1] выявили экспериментально для двух веществ — диметилдихлорсилана и триметилхлорсилана — пересечение кривых. Соответствующая библиография приведена в [1].

Тем не менее, этот вопрос не будет, по-видимому, окончательно решенным по ряду причин: 1) теоретические выводы А. А. Глинского и И. С. Радовского основаны на использовании некоторых не совсем очевидных предположений, в частности, выводы А. А. Глинского основаны на не совсем корректном предположении о разложимости термодинамических функций в ряд вблизи критической точки. Работа И. С. Радовского содержит предположение о неравенстве нулю скорости звука в критической точке; 2) ввиду малого различия жидкой и паровой фаз вблизи критической точки нет

полной уверенности, что измерения проводились именно в той фазе, которой приписывается измеренная скорость звука. О сложности вопроса говорит и такой факт, что в работе [2] В. Ф. Ноздрев утверждает, что пересечение кривых не может иметь места, а в работе [1] обнаруживает это пересечение.

Чтобы подтвердить дополнительными исследованиями с помощью методики, существенно отличающейся от использованных ранее, пересечение кривых и установить параметры точки пересечения и величину превышения скорости звука в паре над скоростью звука в жидкости, были проведены измерения скорости звука вблизи критической точки для фреона-12 ( $CF_2Cl_2$ ). При этом особое внимание было уделено чистоте исследуемого вещества и точности измерений всех необходимых параметров. Исследуемый фреон-12 был подвергнут анализу на масс-спектрометре. При этом в нем не было обнаружено никаких примесей.

Измерения проводились методом ультразвукового интерферометра на частоте 2.1 мГц на установке, описанной в [3], которая была существенно реконструирована. Новая система регулирования температуры позволила поддерживать последнюю с



точностью 0.01 °К. Температура в исследуемом объеме измерялась образцовым 10-омным платиновым термометром сопротивления, изготовленным во Всесоюзном научно-исследовательском институте физико-технических и радио-технических измерений. Для измерения давления был разработан электроконтактный мембранный датчик (используемый в комплекте с поршневым манометром МП-60 класса 0.05) высокой чувствительности (1 мм водяного столба при абсолютном давлении в десятки атмосфер).

Учитывая малое различие между паром и жидкостью вблизи критической точки, измерения проводились не по линии насыщения, а по изотермам, которые пересекались с линией насыщения. Высокая чувствительность измерителя давления позволила выявить точки пересечения изотерм с линией насыщения с высокой точностью и надеж-

ностью. Такая методика гарантирует правильность отнесения измеренных значений скорости звука к той или другой фазе. Результаты измерений представлены на фигуре, где 1 — изотерма 383.56° К, 2 — 384.44° К, 3 — 384.94° К, 4 — скорость звука в жидкой фазе на линии насыщения, 5 — скорость звука в паровой фазе на линии насыщения. Эти изотермы были выбраны таким образом, чтобы две из них проходили справа от предполагаемой точки пересечения кривых и одна — слева.

Как видно из графика, вблизи критической точки фреона-12 имеет место пересечение температурных зависимостей скорости звука в паре и жидкости на линии насыщения. Точка пересечения отстоит от критической точки на 0.9° К. Погрешность в определении скорости звука не превышает 0.5%. Максимальное превышение скорости звука в паре над скоростью звука в жидкости составляет по отношению к скорости звука в жидкой фазе 6.8%. Величина  $\Delta c / c$ , найденная другими авторами, колеблется в пределах от 0 до 3.5%, а разность между критической температурой и температурой точки пересечения кривых от 0 до 2° К для разных веществ.

Ранее провели измерения в загрязненном фреоне-12. О наличии загрязнений можно было судить по завышению давления насыщения по сравнению с табличным. Кроме того, примеси были обнаружены на масс-спектрометре. Как показали исследования, в загрязненном фреоне-12 наблюдалась аналогичная картина пересечения кривых. Причем величина превышения скорости звука в паровой фазе над скоростью звука в жидкой фазе осталась примерно такой же, как и в чистом фреоне.

Поступила 22 IV 1968

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н о з д р е в В. Ф., С т е п а н о в И. Г. О пересечении кривых скорости ультразвука в жидкости и насыщенных парах вблизи критической точки. Акустический журнал, 1967, т. 13, № 4, стр. 631—632.
2. Н о з д р е в В. Ф. Применение ультразвуки в молекулярной физике. М., Физматгиз, 1958.
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 я к о в Е. П. Скорость звука во фреонах на линии насыщения, ПМТФ, 1967, № 5.

#### КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Д. А. Казенин

(Москва)

В известной монографии С. С. Кутателадзе [1] аналитически получено следующее выражение для поправочного множителя, позволяющего учитывать эффекты внутреннего тепловыделения или теплопоглощения, при вычислении коэффициента теплоотдачи в круглой трубе

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{1}{1 + AZ}, \quad Z = \frac{dq_v}{4q_w} \quad (1)$$

Здесь  $Z$  — относительная плотность внутреннего источника тепла. Постоянный коэффициент  $A$  следующим образом выражается через квадратуры от функций распределения безразмерной скорости  $\omega(\xi) = w / \langle w \rangle$  и турбулентной теплопроводности потока  $\lambda_t(\xi)$  по радиусу  $\xi = 2r / d$

$$A = \left\{ \int_0^1 \omega \xi \left[ \int_{\xi}^1 \left( \frac{\Omega}{\xi} - 1 \right) \frac{d\xi}{1 + \lambda_t / \lambda} \right] d\xi \right\} \left\{ \int_0^1 \omega \xi \left[ \int_{\xi}^1 \frac{\Omega}{\xi} \frac{d\xi}{1 + \lambda_t / \lambda} \right] d\xi \right\}^{-1} \quad (2)$$

$$\Omega(\xi) = \int_0^{\xi} \omega \xi d\xi$$

Численные значения коэффициента  $A$  получены в работе [1] для частных случаев ламинарного потока с параболическим профилем скорости ( $A = 0.272$ ) и турбулентного потока с распределением скоростей по закону  $1/7$  и числе Прандтля  $P = 0$  ( $A = 0.0834$ ).