

## СКОРОСТЬ ЗВУКА В ВОДЕ И ВОДЯНОМ ПАРЕ НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ

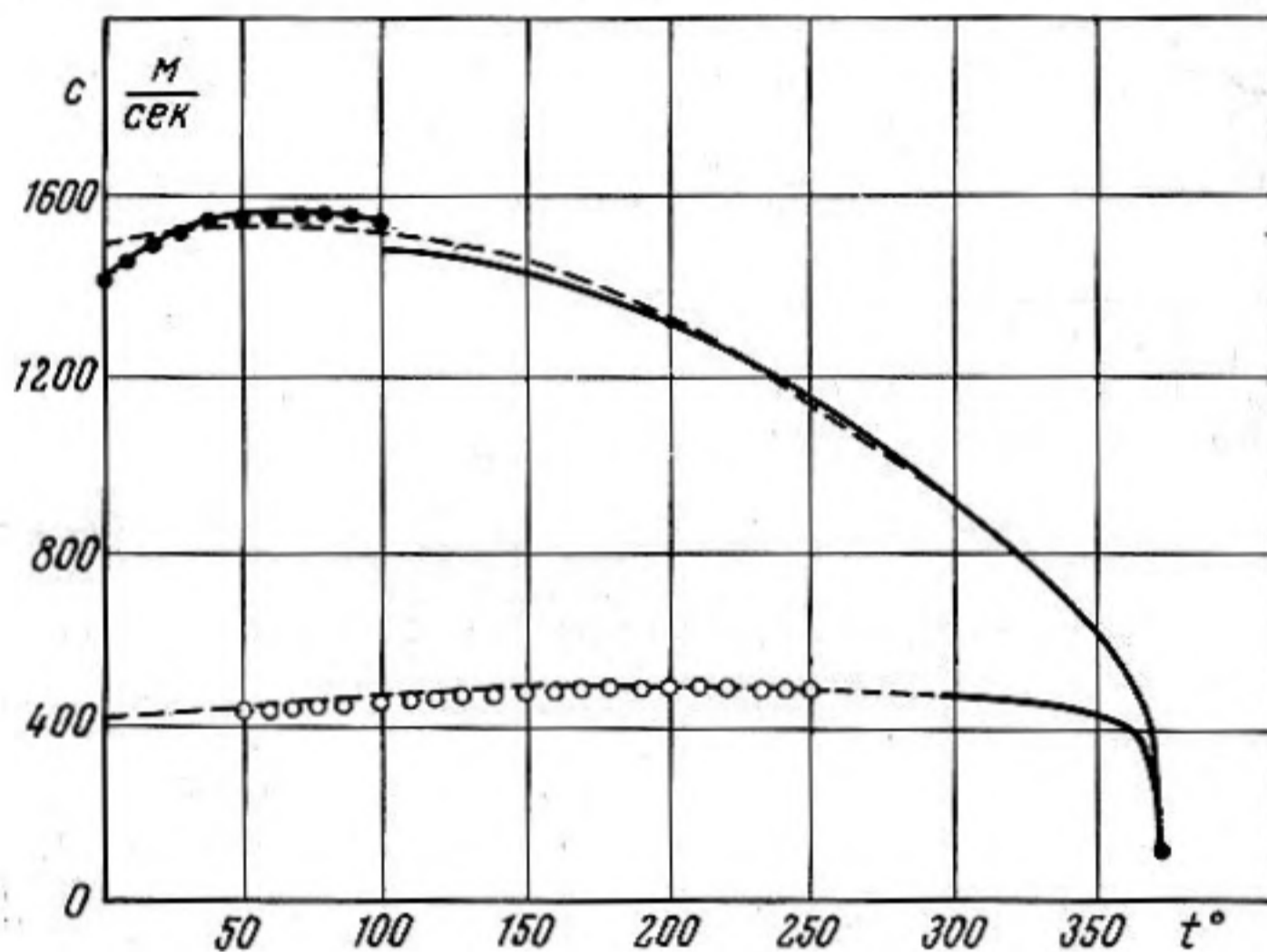
Б. Г. Алибеков, Х. И. Амирханов, Б. А. Мурсалов, Г. В. Степанов

Сведения о температурной зависимости скорости звука вещества на линии насыщения имеют важное значение как для термодинамических расчетов, так и для молекулярной физики. Ниже предлагается способ расчета скорости звука на линии насыщения, основанный на использовании данных о  $C_v$  и величинах, характеризующих пограничную кривую ( $T, V, dV/dT$ ).

Скорость звука обычно рассчитывается по формуле

$$c = \sqrt{-\gamma V^2 \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_T}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  — отношение теплоемкостей  $C_p/C_v$ , а  $V$  — удельный объем. Определение предельных значений изотермической сжимаемости на линии насыщения сопряжено, как известно, с большими трудностями, поэтому расчет значений скорости звука на



кривой фазового равновесия по формуле (1) будет сопровождаться значительными ошибками. Однако можно видоизменить формулу (1), выразив скорость звука через более точно определяемые calorические величины.

Известно [1], что величину скачка теплоемкости  $\Delta C_v$  на пограничной кривой между однофазной и двухфазной областями можно определить из соотношения

$$\Delta C_v = -T \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_T \left( \frac{dV}{dT} \right)^2. \quad (2)$$

Определив значение изотермической сжимаемости из формулы (2) и подставив его в соотношение (1), получим

$$c = \frac{V}{dV/dT} \sqrt{\gamma \frac{\Delta C_v}{T}}. \quad (3)$$

Нами произведен расчет скорости звука по этой формуле для воды и водяного пара вдоль всей пограничной кривой, включая область вблизи критической точки. Значения отношений теплоемкостей  $\gamma'$ ,  $\gamma''$ \* и скачков  $\Delta C_v'$  и  $\Delta C_v''$  определялись по данным о  $C_p$  согласно работе [2] и по данным об изохорной теплоемкости, полученным в Дагестанском филиале АН СССР [3]. Значения  $dV'/dT$  и  $dV''/dT$  рассчитывались с использованием уравнений работы [4] и эмпирических уравнений авторов [3].

Расчетные и экспериментальные значения скорости звука вдоль левой и правой пограничных кривых представлены на фигуре. Данные, рассчитанные по формуле (3), показаны сплошной линией, пунктирной — данные [8], светлые кружки — [6].

\* Индексы ' и '' относятся соответственно к жидкости и пару.

черные кружки — [7]. Согласие в значениях скорости звука, рассчитанных по формуле (3), со всеми существующими данными [5—8] удовлетворительное (расхождение в пределах 1—4%) \*.

Величина скорости распространения звука в критической точке была рассчитана по формуле

$$c_k = \sqrt{\frac{T_k V_k}{C_{v_k}} \left( \frac{dP}{dt} \right)^2}, \quad (4)$$

причем критические параметры  $T_k$  и  $V_k$  взяты из [9], величина  $dP/dT$  — из данных Осборна, Стимсона и Джинингса [10]. Значение  $C_{v_k}$  определялось по эмпирической зависимости, предложенной авторами [3]

$$C_v = a \exp[-b|T_k - T|^{0.1}], \quad (5)$$

где  $a = 7,27$ ;  $b = 0,725$ . Скорость звука в критической точке оказалась равной 124 м/сек.

Таким образом, предложенный способ расчета скорости звука дает результаты, хорошо согласующиеся с данными различных исследователей, и успешно может быть использован для определения скорости звука малоисследованных веществ при наличии экспериментальных данных о теплоемкости при постоянном объеме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Сычев. Теплоемкость  $C_v$  в двухфазной области параметров состояния воды. Инж.-физ. ж., 1960, 3, 7, 3—9.
2. А. М. Сирота, Т. Е. Белякова, Э. Х. Шраго. Таблицы теплоемкости  $C_p$  воды. Теплоэнергетика, 1966, II, 84—88.
3. Х. И. Амирханов, Г. В. Степанов, Б. Г. Алибеков. Изохорная теплоемкость воды и водяного пара. АН СССР, Дагестанский филиал, Махачкала, 1969.
4. L. B. Smith, F. G. Keyes. The volumes of unit mass of liquid water and their correlation as a function of pressure and temperature. Proc. Amer. Acad., 1934, 7, 69, 285—297.
5. В. Ф. Ноздрев, А. П. Осадчий, А. Р. Рубцов. Исследование скорости звука в воде на линии насыщения, включая критическую точку. Акуст. ж., 1961, 7, 3, 383—384.
6. В. И. Авдонин, И. И. Новиков. Скорость звука на кривой фазового равновесия пар — жидкость. ПМТФ, 1960, 1, 58.
7. M. Greenspan, C. Tschiegg. The speed of sound in a liquid water on the saturation line. J. Res. Nat. Bur. Standards, 1957, 59, 249.
8. В. В. Сычев. Скорость звука в воде и водяном паре на линии насыщения. Инж.-физ. ж., 1961, 4, 6, 64—69.
9. Международные скелетные таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, 1963. Теплоэнергетика, 1964, 4, 84—87.
10. N. S. Osborne, H. F. Stimson, D. G. Grinnings. Thermal properties of saturated water. NBS, 1939, 23, 261—271.

Институт физики  
Махачкала

Поступила в редакцию  
30 ноября 1970 г.

УДК 534.222.2

#### ЗАХЛОПЫВАНИЕ И РАСШИРЕНИЕ ГАЗОВОГО ПУЗЫРЬКА В ЖИДКОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

С. Е. Бал, Дж. Рэй

Начало исследованиям динамики кавитационных пузырьков было положено Рэлеем [1], который рассмотрел простую математическую модель, описывающую динамику пустой сферической каверны. обстоятельный обзор работ, выполненных при исследовании подводных взрывов, приведен у Коула [2]; недавно детальное исследование вызванных подводными взрывами динамических нагрузок на конструкции было дано в работе [3].

Хорошев [4] обобщил задачу Рэля на случай заполненной газом полости, а также исследовал стадию расширения, наблюдающуюся после захлопывания пузырька. В настоящей работе изучается расширение и захлопывание кавитационного пузырька с учетом влияния поверхностного натяжения.

\* С работой [5] произведено лишь ориентировочное сопоставление, поскольку в ней численные значения скорости звука не приводятся.