

СПОСОБ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДИСПЕРСИИ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ЖИДКОСТЯХ

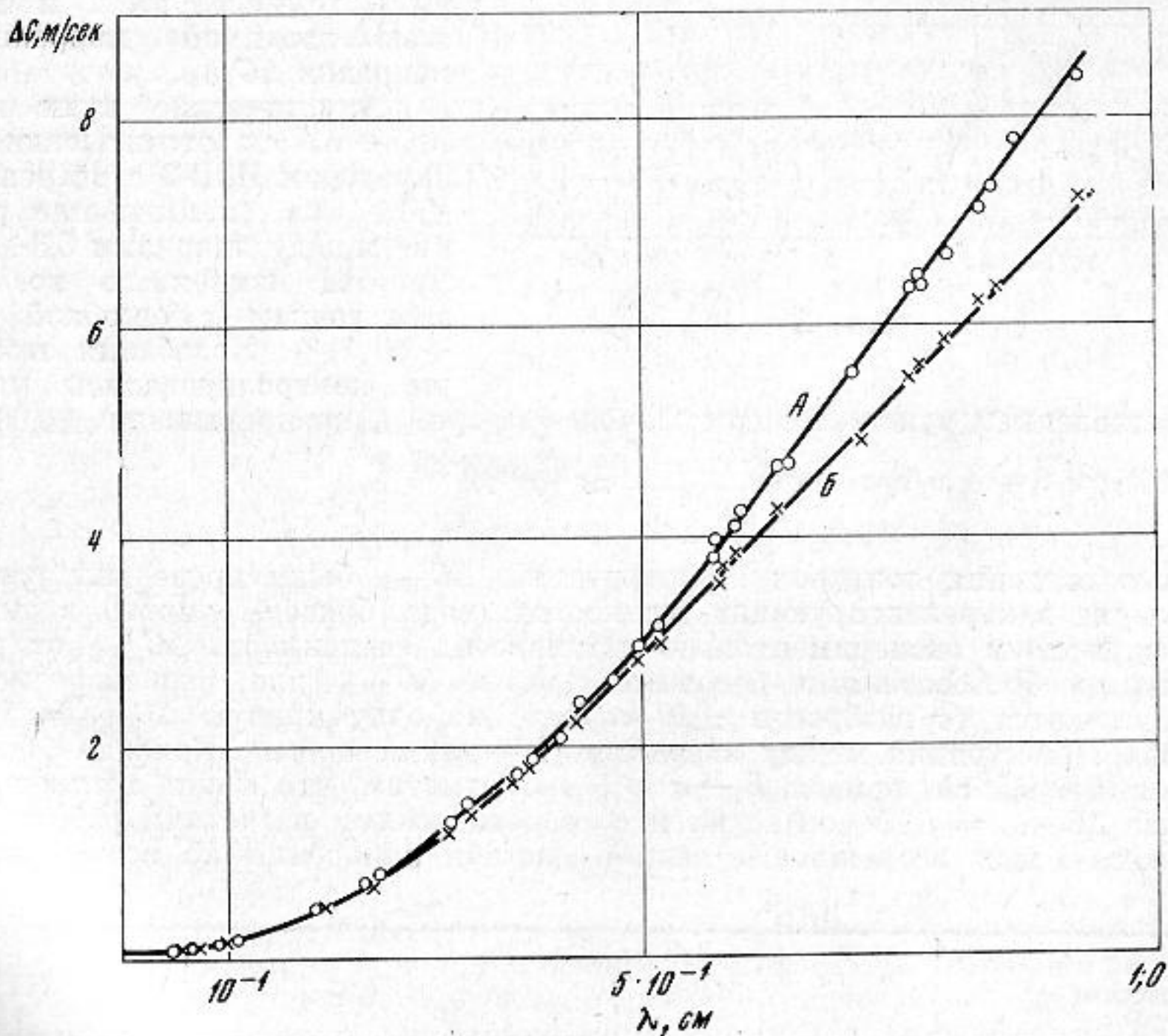
К. М. Бурундук, А. М. Лобанов

В последнее время появилось несколько работ, в которых сделаны удачные попытки измерить с большой точностью дисперсию скорости ультразвука в различных жидкостях. Например, после усовершенствования интерферометра Пирса авторы работ [1, 2] измерили скорость звука в слабопоглощающих жидкостях с погрешностью ± 20 см/сек в диапазоне частот 1—30 Мгц. Однако при $\frac{\alpha}{f^2} \cdot 10^{17} \approx 10^3$ сек²/см погрешность по диапазону становится порядка ± 1 м/сек и более (α — коэффициент затухания, f — частота).

Авторам работы [3] удалось понизить абсолютную погрешность измерения скорости ультразвука в слабопоглощающих жидкостях ($\frac{\alpha}{f^2} \cdot 10^{17} < 200$ сек²/см) до ± 10 см/сек в диапазоне 0,7—30 Мгц методом интерференции многократных эхо-сигналов с когерентным электрическим. Однако, как показали измерения в четырехлористом углероде ($\frac{\alpha}{f^2} \cdot 10^{17} \approx 500$ сек²/см) и бензоле ($\frac{\alpha}{f^2} \cdot 10^{17} \approx 900$ сек²/см), погрешность метода [3] с возрастанием α увеличивается до $\pm (2 \div 3)$ м/сек. Специально проведенные опыты и их анализ показывает, что потеря точности методов [1—3] (при прочих равных условиях) обусловлена уменьшением заметности интерференции [4], которую при акустических измерениях удобно представить в виде

$$V = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}, \quad (1)$$

где A_{\max} и A_{\min} — соответственно максимальная и минимальная амплитуды результирующего сигнала. Используя формулу (1), нетрудно убедиться в том, что с ростом



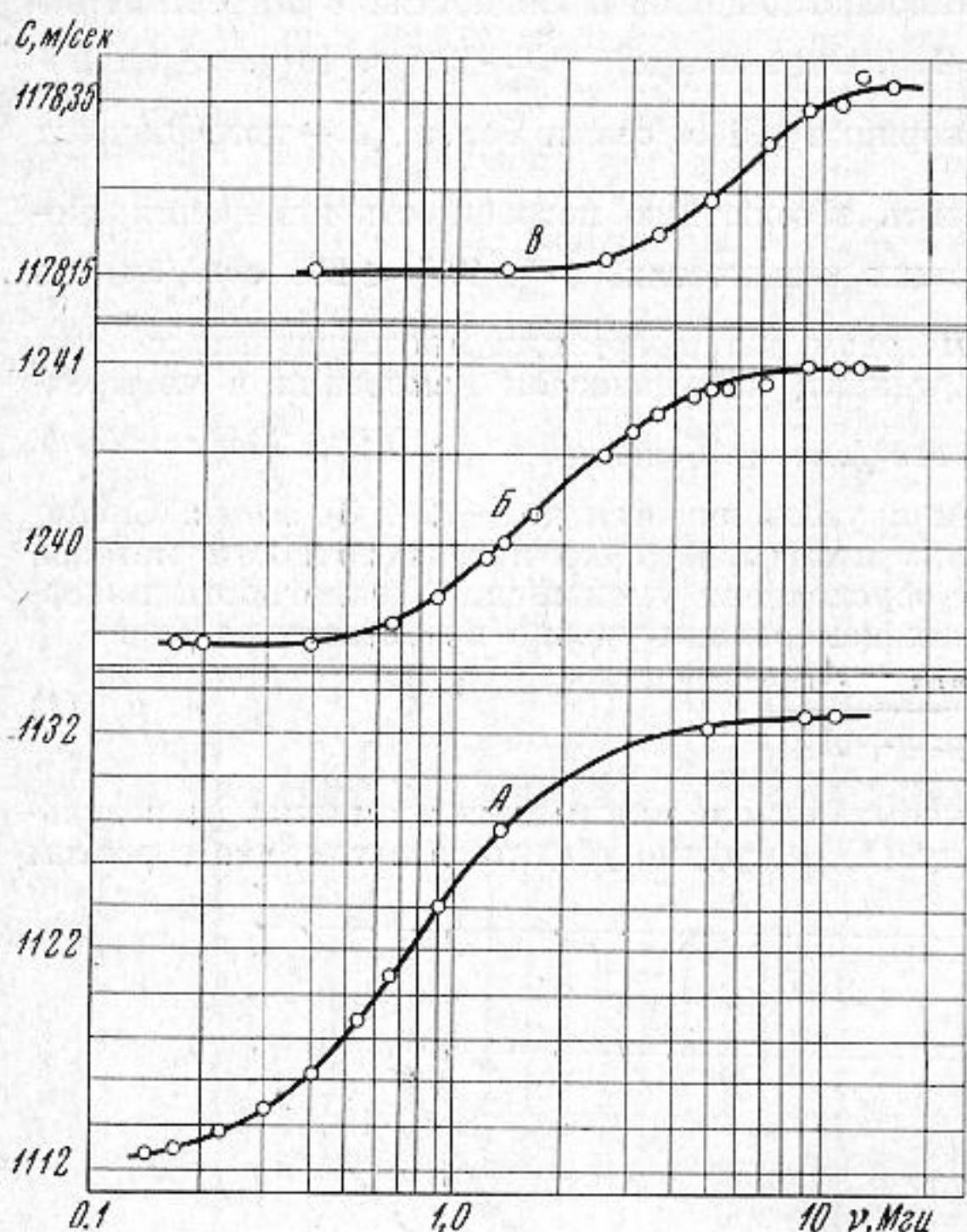
Фиг. 1

α заметность интерференции падает как $v \sim e^{-\alpha x}$ (x — акустический путь). Экспериментальные данные, приведенные в таблице, подтверждают увеличение погрешности измерения скорости с уменьшением V . Следовательно, для прецизионных измерений скорости звука в широком диапазоне частот необходимо выбрать такую методику, при которой V не зависит от α . Этому условию удовлетворяет метод, предложенный в работе [5]. Авторы работы [5] не смогли реализовать возможности этого метода вследствие низкой точности измерения частоты ($\frac{\Delta f}{f} = 10^{-4}$) и расстояний

$\left(\frac{\Delta x}{x} = 10^{-4}\right)$ и плохого термостатирования ($\pm 1^\circ$). В результате общая погрешность

составила $\pm(3 \div 4)$ м/сек. Улучшением термостатирования, повышением точности измерения расстояний и частоты погрешность измерения скорости этим методом может быть снижена до $\pm(10 \div 20)$ см/сек.

В предлагаемом нами способе, в отличие от работы [5], используется режим стоячих волн между излучающим и приемным преобразователями (кварцы диаметром 5 см).



Фиг. 2

термосопротивлением чувствительностью 200 дел/град и не превышали $\pm 0,005^\circ$. При

$$\frac{\partial C}{\partial T} (20^\circ) \approx 3 \div 4 \text{ м/град} \cdot \text{сек} \cdot \frac{\partial C}{\partial T} \cdot \frac{\Delta T}{C} \approx 10^{-5}.$$

С целью введения поправок на дифракцию $\Delta C_{\text{диф}}$ были проведены измерения скорости звука в нерелаксирующих жидкостях (вода, бензол, спирты) в диапазоне 0,1—15 Mgц, причем экспериментально установлена зависимость $\Delta C_{\text{диф}}$ от расстояния между преобразователями. Опытные данные $\Delta C_{\text{диф}}$ для вышеперечисленных жидкостей ложатся (с разбросом ± 10 см/сек) на одну кривую $\Delta C_{\text{диф}} = f(\lambda)$ для определенного расстояния между кварцами (λ — длина волны). Кривая А фиг. 1 соответствует $x \approx 3,5$ см, кривая Б — $x \approx 5$ см. Отметим, что наши экспериментальные данные $\Delta C_{\text{диф}} = f(\lambda)$ согласуются с теоретическими расчетами работы [6]. Таким образом, общая погрешность нашего способа измерений по всему диапазону

после преобразования в электрический подается через усилитель (чувствительностью $\approx 10^{-6}$ в) на вход Y осциллографа. От генератора, возбуждающего излучающий преобразователь, электрический сигнал одновременно подается на вход X. По положению эллипса отсчитывается не произвольная фаза ϕ , а, так же как в работе [5], целые π . Чувствительность отсчета разности фаз слагаемых колебаний получается наибольшей при разности фаз, кратной π . Так, на частоте 1,33 Mgц изменение расстояния между кварцами на 0,5 мкм вызывает расхождение фигуры на экране осциллографа на 2 см. Поэтому точность метода ограничивается не чувствительностью отсчета, а погрешностями измерения перемещения x , частоты f , температуры T и неточностью вводимой дифракционной поправки $\Delta C_{\text{диф}}$.

Акустические пути порядка (3,5 ÷ 5) см отсчитывались компаратором ИЗВ-2 с погрешностью $\pm 0,5$ мкм (наименьшее расстояние между кварцами 0,3 ÷ 0,7 см). Частота измерялась по кварцевым точкам с ошибкой ($10^{-3} \div 10^{-4}$) %. Колебания температуры контролировались мостом с

Жидкость	f , Mgц	1,33	11
Вода $t = 20,2^\circ \text{C}$	Скорость ультразвука Заметность интерференции	148290 ± 5 см/сек 0,55	148287 ± 10 , см/сек 0,3
Изо-амиловый спирт $t = 20,8^\circ \text{C}$	Скорость ультразвука Заметность интерференции	125190 ± 10 , см/сек 0,4	125190 ± 30 , см/сек 0,045
Бензол $t = 20,9^\circ \text{C}$	Скорость ультразвука Заметность интерференции	131830 ± 10 , см/сек 0,3	131810 ± 75 , см/сек 0,02

составит:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta f}{f} + \frac{\partial C}{\partial T} \cdot \frac{\Delta T}{C} + \frac{\delta \Delta C_{\text{диф}}}{C} \approx 0,01\%.$$

На фиг. 2 представлены результаты измерений дисперсии скорости звука в уксусной кислоте (кривая А), валериановой кислоте (кривая В) и метилацетате (кривая В). Измеренные значения $\Delta C_{\text{дисп}}$ в этих жидкостях находятся в хорошем согласии с расчетами по поглощению, измеренному методом замещения.

Значение дисперсии скорости в метилацетате составляет $20 \div 25$ см/сек.

Дисперсия скорости ультразвука в уксусной кислоте составляет по нашим данным $20,80$ м/сек при $t = 28^\circ \text{C}$. Это значение качественно согласуется с данными автора работы [7], который не учитывал дифракционных эффектов; дисперсия по его измерениям составляет 12 м/сек, а это меньше наших данных примерно на величину дифракционной поправки. В валериановой кислоте измерения проведены впервые и обнаружена дисперсия скорости звука $1,55$ м/сек.

Таким образом, нам удалось расширить диапазон измерений дисперсии скорости звука на целую декаду в сторону низких частот, сохранив при этом высокую точность порядка ± 15 см/сек во всем диапазоне даже в сильнопоглощающих жидкостях.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Илгунас, О. Кубилюнене, А. Япертас. Прецизионный интерферометр для измерения скорости ультразвука в жидкостях в диапазоне частот $1-12$ Мгц. Акуст. ж., 1964, 10, 1, 54—59.
2. В. Илгунас, О. Кубилюнене. Дисперсия скорости ультразвука в некоторых растворах ацетатов. Акуст. ж., 1966, 12, 2, 256—258.
3. В. С. Кононенко, В. Ф. Яковлев. Прецизионный метод для измерения скорости ультразвука в жидкостях на частотах $0,7-30$ Мгц. Акуст. ж., 1969, 15, 1, 78—82.
4. М. Борн. Оптика. ГНТИ Украины, Харьков — Киев, 1937.
5. Н. Л. Телесниц, В. А. Красильников. Ультразвуковой интерферометр с бегущей волной. Докл. АН СССР, 1950, 122, 6, 1037—1039.
6. М. Б. Гитис, А. С. Химунин. О поправках на дифракцию при измерении коэффициента поглощения и скорости звука. Акуст. ж., 1968, 14, 3, 363—370.
7. Б. Г. Шаковский. Распространение ультразвуковых волн в жидкостях. Докл. АН СССР, 1938, 18, 3, 173—179.

Тюменский государственный педагогический институт

Поступило в редакцию
21 января 1969 г.

УДК 534.8

ОБ АКУСТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ЗАРАЖЕННОСТИ ХЛЕБНЫХ ЗАПАСОВ ВРЕДИТЕЛЯМИ ЗЕРНА

Л. Р. Гаврилов, М. Г. Сиротюк

Зараженность зерна вредителями хлебных запасов обычно определяют путем длительного и трудоемкого анализа, связанного с использованием различных механических и химических способов. Особенно сложен и потому, как правило, вообще не проводится, контроль так называемой «скрытой» зараженности зерна, когда вредители находятся внутри зерна и зараженность не может быть определена визуально. Создание приборов для экспресс-анализа скрытой и явной зараженности зерна представляет несомненный практический интерес и могло бы существенно облегчить работу хлебоприемных предприятий. Наиболее перспективным, по-видимому, является обнаружение вредителей по шуму, производимому ими при жевании зерна и при движении в нем.

Нами были исследованы спектры шумов, создаваемых различными видами вредителей как при явной, так и при скрытой зараженности зерна. Образцы зараженного зерна были получены во Всесоюзном научно-исследовательском институте зерна. В качестве акустического приемника использовался биморфный элемент из сегнетовой соли; анализатором являлся прибор НАЗ-2 (Польша) с полосой пропускания 6 гц и диапазоном частот от 20 до $20\,000$ гц. Для примера на фиг. 1 и 2 представлены некоторые из полученных типовых спектрограмм. Фиг. 1 характеризует спектр акустических шумов при явной зараженности зерна вредителями (100 жуков амбарного долгоносика в пробе зерна весом 100 г). На фиг. 2 показан спектр шумов при скрытой зараженности зерна (около 100 личинок амбарного долгоносика внутри зерна в пробе весом 100 г по прошествии 25 дней после заражения зерна вредителями).

Измерения уровня шумов в диапазоне до 500 гц были несколько затруднены ввиду заметного влияния собственных шумов анализатора, искажающих вид спек-