

**ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
АКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ
И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ.**

О.В.Бабич, М.А.Заева, А.Л.Зорин,
В.М.Решетько

Московский государственный
инженерно-физический институт
(технический университет)
115409, Москва, Каширское ш., 31.

Прибор обеспечивает следующие диапазоны измерения:

- акустического волнового сопротивления
($0.6—1.5$) $\times 10^6$ кг/м² с;

- кинематической вязкости (0,5—50) сСт.

Первичными измеряемыми параметрами являются:

- амплитуды отраженных импульсов, прошедших через жидкость и эталонный материал (отражения возникают на границах раздела сред);

- интервалы времени между излученным и отраженными импульсами.

Проведенные исследования показали, что для обеспечения точности определения амплитуды отраженных импульсов в пределах 0.1—0.3% могли быть использованы только цифровые методы обработки, среди которых наиболее экономичным с точки зрения вычислительных затрат является дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

В случае применения масштабирования, амплитуда синусоиды f_k для действительной части спектра точно соответствует величине

$$A_{f_k} = \frac{2}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \right|, \quad (1)$$

где $x(n)$ – отсчеты принимаемого сигнала во временной области, N – количество отсчетов в окне.

Другим важным вопросом при определении амплитуды является подбор частоты дискретизации и номера отсчета k в частотной области, для которого выполняется ДПФ. Для получения оптимальных оценок амплитуды известной частоты f необходимо выполнение условия

$$f = \frac{kF}{N} \quad (2)$$

с учетом того, что k и N должны быть целыми. Кроме того, необходимо учитывать,

что с увеличением частоты дискретизации увеличиваются проблемы аналого-цифрового преобразования сигнала и запоминания цифровых отсчетов. Для частоты 2,5 МГц и длительности радиоимпульса 2 мкс оптимальными являются параметры $N=60$, $F=30$ МГц, $k=5$.

Длина выборки T измеряемого процесса является переменной величиной и настраивается в соответствии с предельным временем прохождения импульсов в среде. Ее объем M рассчитывается в соответствии с частотой дискретизации $M=T \times F$ и составляет порядка 2000 отсчетов. Пример регистрации процесса во временной области представлен на рис. 1.

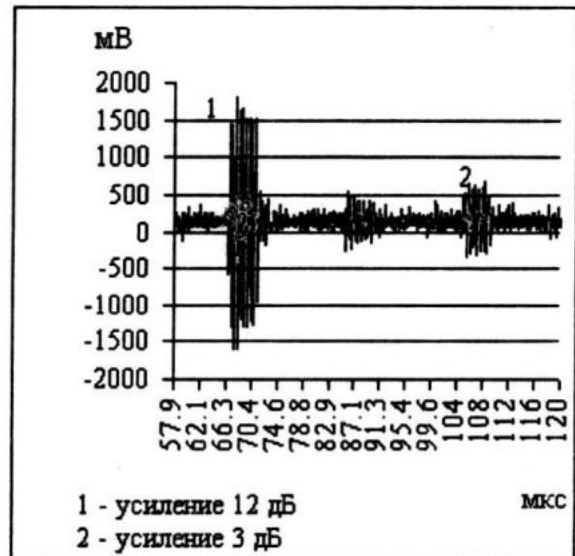


Рис.1.

По выборке сигнала осуществляется скользящее ДПФ с окном N и шагом на один отсчет.

Амплитуды отраженных импульсов определяются по максимумам значений оконной функции, вычисляемым в соответствии с (1). Пример обработки исходного сигнала с помощью скользящей оконной функции ДПФ представлен на рис 2.

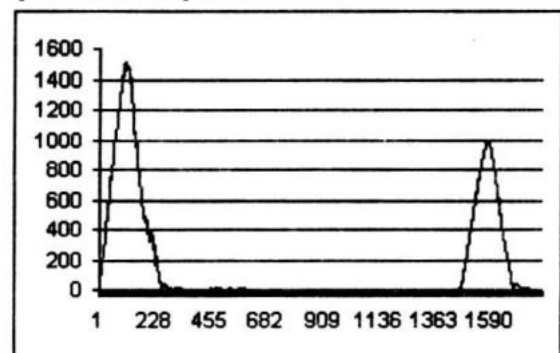


Рис.2.

Наилучшие результаты измерения времени распространения сигналов в жидкости дал алгоритм, основанный на определении максимумов абсолютного значения автокорреляционной

функции (АКФ). Пример обработки исходного сигнала с помощью АКФ представлен на рис. 3.

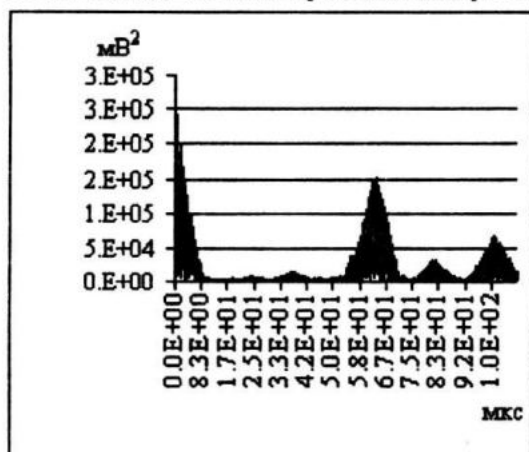


Рис.3.

Прибор содержит четыре функционально независимых блока:

- генератор излучаемого сигнала;
- блок аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
- интерфейсный блок;
- процессорный блок.

Конструктивно ВП выполнен в виде трех модулей:

- модуль генератора;
- измерительный модуль, объединяющий блок АЦП и интерфейсный блок;
- процессорный модуль на базе цифрового сигнального процессора (ЦСП) TMS320C26 фирмы Texas Instruments Inc.

1. Генератор излучаемого сигнала (ГИС) обеспечивает формирование фазированного радиоимпульса с изменяемым количеством периодов синусоидального сигнала в пачке. ГИС состоит из узла задающего генератора, узла управления, узла усилителя и низкочастотного фильтра.

2. Блок АЦП обеспечивает усиление принимаемого отраженного сигнала, его дискретизацию по времени, квантование по уровню и регистрацию (занесение в память) полученных цифровых отсчетов. Блок АЦП содержит входной усилитель, узел АЦП и узел буферной памяти.

3. Интерфейсный блок обеспечивает обмен между измерительной подсистемой (модуль генератора и измерительный модуль) и подсистемой обработки и управления (процессорный модуль).

4. Процессорный блок содержит цифровой сигнальный процессор, узел памяти команд, узел памяти данных, контроллер памяти, узел связи с host-ЭВМ и узел интерфейса.

Разработанный прибор обеспечивает регистрацию цифровых отсчетов измеряемого процесса во временной области. При этом обеспечивается возможность автоматической установки усиления входного усилителя и автоматической компенсации смещения нуля в усилительных каскадах. Имеется возможность проведения измерений с несколькими временными окнами за один эксперимент для обеспечения пропуска неинформативных участков процесса.

Такой подход позволяет сократить количество обрабатываемых отсчетов, уменьшить время обработки и снизить энергопотребление. Усиление, компенсация смещения и длительность для каждого временного окна могут быть установлены индивидуально.

В основе метода определения акустического волнового сопротивления, кинематической вязкости и плотности жидкости лежит вычисление величины отношения амплитуд отраженных импульсов. Проведенная статистическая обработка результатов позволила оценить погрешности измерений. На рис.4 представлена повторяемость результатов измерения отношения амплитуд отраженных импульсов в жидкостях с различной плотностью при использовании алгоритма ДПФ с осреднением по 10 последовательным оценкам.

№ п/п	Плотность вещества, г/см ³	Номер измерения	Результат измерения *	Погрешность**, %
1	0.9980	1	0.2656	
		2	0.2653	
		3	0.2667	
Среднее			0.2659	0.280
2	0.8470	1	0.2001	
		2	0.1996	
		3	0.1992	
Среднее			0.1997	0.222

Рис.4.

* Среднее арифметическое по серии из 10 последовательных измерений без отбрасывания крайних значений;

** Отношение стандартного отклонения к среднему по измерениям.

На рис.5 представлена повторяемость результатов измерения времени с использованием АКФ.

Прибор имеет сеансовый характер проведения измерений с периодом 1 сек, в который входят времена накопления, обработки и ожидания.

Плотность вещества, г/см ³	Номер измерения	Результат измерения *	Погрешность **, %
0.9960	1	63.3042	0.630
	2	63.1708	0.759
	3	63.2110	0.994
	4	63.2513	1.001
Среднее		63.2343	0.090

Рис.5.

* Среднее арифметическое по серии из 10 последовательных измерений без отбрасывания крайних значений.

** Отношение стандартного отклонения к среднему по измерениям.

Часть использованных компонент в изготовленном варианте прибора являются дискретными, что приводит к повышенному расходу мощности. Разрабатываются варианты прибора с пониженным энергопотреблением для изготовления автономного варианта.

Основные пути сокращения энергопотребления следующие. Применение мониторинга питания при тех же соотношениях между временем функционирования и ожидания позволяет снизить потребление до 1.5 Вт. Значительное сокращения энергопотребления и габаритов дает применение комплектующих SRAM-based PLD типа EPF10K10 фирмы Altera, обеспечивающие выполнение на одном кристалле всех функций цифровой части, кроме процессора. Использование недорогого процессора DSP TMS320F206 нового поколения с производительностью 40 MIPS и имеющего встроенную FLASH-память команд и ОЗУ данных, обеспечивает 10-кратное уменьшение соотношения между временем функционирования и ожидания.

Расчеты показывают, что использование указанных компонент обеспечит среднее потребление мощности на уровне 0.4 - 0.5 Вт, уменьшение размеров платы и стоимости изделий.