

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ

**Н.А. Греков, А.Н. Греков,
М.Я. Даниленко, Е.И. Жемков**

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

В статье рассмотрены первичные преобразователи, выполненные из пьезокерамики. Даны рекомендации по демпфированию акустического сигнала. Исследована шумовая составляющая, вызванная турбулентностью потока. Приведены графики дисперсии и спектры шумов. Предложено в измерительных приборах с акустическим трактом использовать величину дисперсии спектра турбулентных шумов для определения величины скорости потока.

Использование акустических методов в измерительных приборах для экологических целей является сегодня задачей актуальной, так как не исчерпаны все возможности применения этих методов и многие вопросы не исследованы. Рассмотрим акустический канал созданного в отделе автоматизации океанографических исследований МГИ НАНУ измерителя скорости течения ИСТ-1.

Назначение, состав и технические характеристики переносного измерителя скорости течения довольно подробно описаны в литературе [1]. Напомним, что канал скорости течения является акустическим и позволяет измерять скорости в диапазоне $0,04 \div 5$ м/с.

Измерительный канал состоит из двух первичных преобразователей, расположенных под углом к потоку на расстоянии 7 см друг от друга, и электронной схемы, которая преобразует временные задержки сигнала от изменения скорости течения в соответствующий код.

Вначале рассмотрим первичные преобразователи (акустические датчики), которые в приборе выполнены из пьезокерамики марки ЦТС-19.

Используемые нами акустические методы измерения скорости течения предполагают иметь широкополосный датчик. Для этого использовалось механическое и электрическое демпфирование, оптимальное акустическое согласование со средой, в которую они излучают и применялись корректирующие RC цепи.

В качестве электрического демпфирования использовался способ шунтирования пьезокерамики омическим сопротивлением R_u .

При сборке датчиков его амплитудно-частотная характеристика искажается за счет слоев клея, протектора, демпфера. Известно также, что для датчиков из ЦТС-19 характерен большой диапазон изменения активной составляющей комплексного сопротивления от внешних параметров, например, температуры, и чем выше частота, тем ниже сопротивление R_u , поэтому, подключая R_u параллельно датчику ЦТС-19, можно изменять форму АЧХ. Подключение R_u значительно уменьшает уровень радиальных колебаний и, выбрав правильно величину сопротивления, можно практически убрать "хвост" радиальных колебаний.

Не вдаваясь в конструкторско-технологические особенности датчика и используемых в нем материалов, приведем результаты его испытаний. На рисунке 1 приведена осциллограмма, снятая на датчике, подключенного к R_u и электронной схеме. Как видно из осциллограммы (рис. 1), уровень полезного сигнала на порядок превышает уровень несдемпфированного сигнала, что характеризует правильность выбора механического и электрического демпфера и хорошей согласованности с внешней средой.

Для исследования акустического тракта прибора ИСТ-1 было взято 19 реализаций, полученных прибором, установленным на аттестованном гидролотке (г. Киев, Гидрометеослужба Украины). Каждая выборка состояла из 3200 точек.

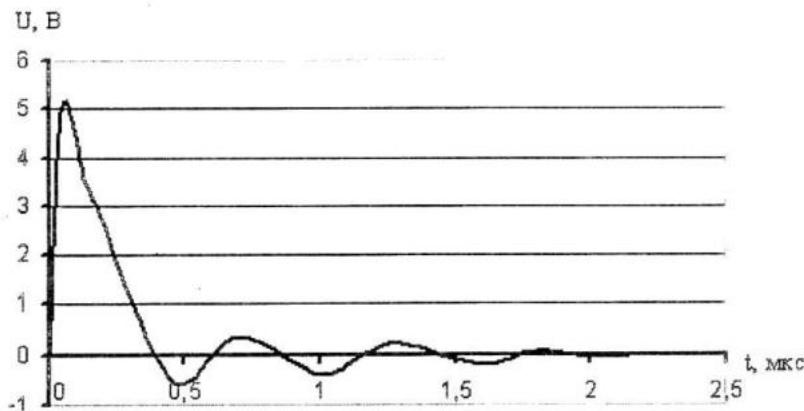


Рисунок 1 – Осциллография напряжения на механически и электрически демпфированном пьезодатчике при воздействии одиночного импульса

Скорость потока на аттестованном гидролотке задавалась в диапазоне $0,01 \div 4,3$ м/с, одновременно велась запись показаний

измерителя ИСТ-1 на ПЭВМ с частотой 50 Гц. Образец записи на ПЭВМ для различных скоростей представлен на рисунке 2.

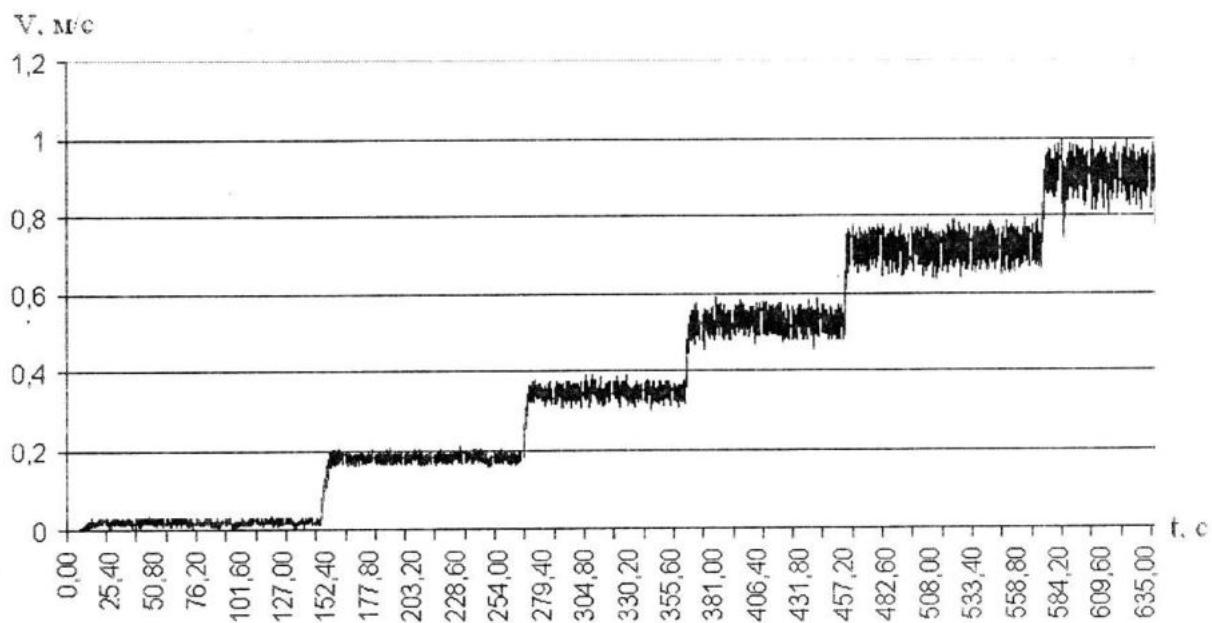


Рисунок 2 – Образец записи показаний измерителя ИСТ-1 при различной скорости потока

Здесь отчетливо видно увеличение шумовой составляющей измеренного сигнала при увеличении скорости потока.

С точки зрения акусто-гидродинамических явлений в жидкости шумовые составляющие могут быть пристеночные пульсации давления внутри турбулентных потоков.

Не вдаваясь в подробности известных теоретических и экспериментальных работ, где показаны динамические связи пульсаций давления с полем скорости течения

внутри турбулентного потока, отметим, что на источники шумов влияют не только конструктивные особенности прибора, но и плотность и динамическая вязкость среды. Если принять, что конструктивные характеристики прибора неизменны, тогда в дальнейшем необходимо экспериментально получить зависимости влияния плотности среды и коэффициента динамической вязкости на пульсации среды и оценить их количественный вклад в погрешность измерения скорости течения.

Для каждой из 19 полученных реализаций была подсчитана дисперсия шумовой составляющей сигнала и построена зависимость дисперсии от скорости течения (рис. 3). Из графика видно, что наблюдается нелинейная взаимосвязь между некой величиной скорости течения и дисперсией шумовой составляющей сигнала. Однако вначале диапазона скоростей до 60 см/с, наблюдаются резкие скачки результатов измерений и обработки, которые требовали дополнительного анализа. График аппроксимировали полиномом второй степени, где среднее квадратическое отклонение реальной и аппроксимированной кривой соста-

вило 17,21. Затем для каждой из реализаций, используя дискретное преобразование Фурье, рассчитали спектры по формуле

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi}{N} kn}, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (1)$$

где x_n – исходная последовательность данных;

i – это мнимая единица;

N – количество значений в последовательности.

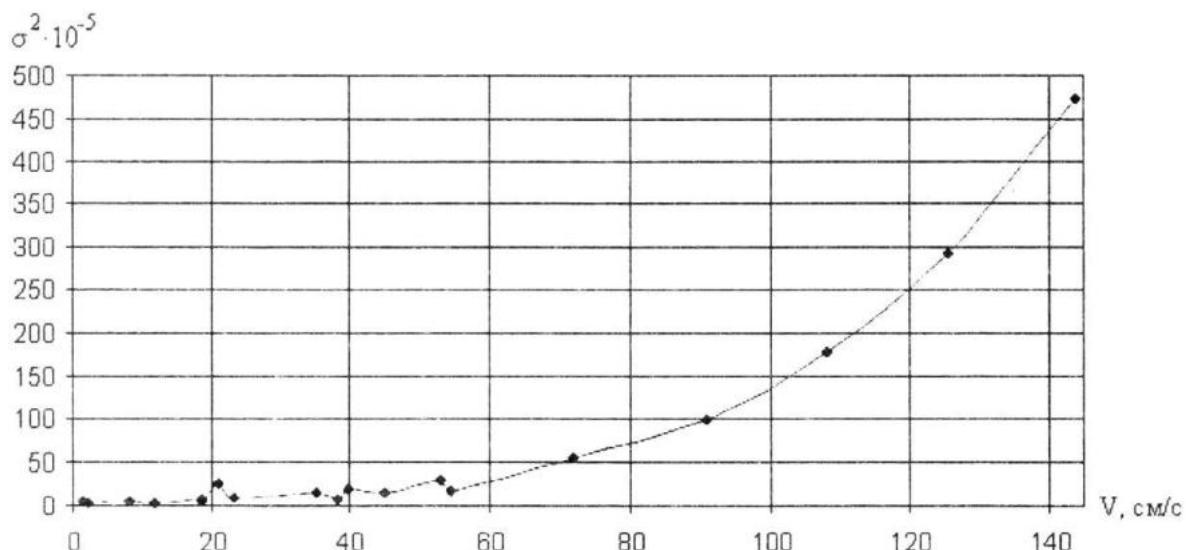


Рисунок 3 – Зависимость дисперсии шумовой составляющей сигнала от скорости потока для 19 реализаций

Спектры для 19 реализаций анализировали до частот 25 Гц. Для примера на рисунке 4 приведен один из спектров для скорости потока 8,01 см/с. В области малых скоростей потока на спектре наблюдаются устойчивые амплитудные всплески с частотами близкими к 7, 15 и 21 Гц. С увеличением скорости потока на спектрах остается только один амплитудный всплеск на частоте 21 Гц. Это и объясняет всплески дисперсии в начале диапазона (рис. 3).

Анализируя эти всплески, мы не отвергаем гипотезу о вихревых шумах, которые возникают при отрыве течения и соревновании в сравнительно узком частотном диапазоне и превышают интенсивность

турбулентного шума. Сейчас можно только предположить, что эти всплески связаны с особенностями гидролотка и требуют дальнейшего изучения.

Далее, не отфильтровывая амплитудные всплески, находили дисперсию спектра для 19 реализаций и строили зависимость дисперсии шумового спектра от величины скорости потока (рис. 5).

Как мы видим на графике, кривая зависимости $\sigma = f(V)$ имеет вид гладкой кривой. Аппроксимируя кривую (рис. 5) полиномом второй степени, получили среднее квадратическое отклонение кривых, равное 0,3.

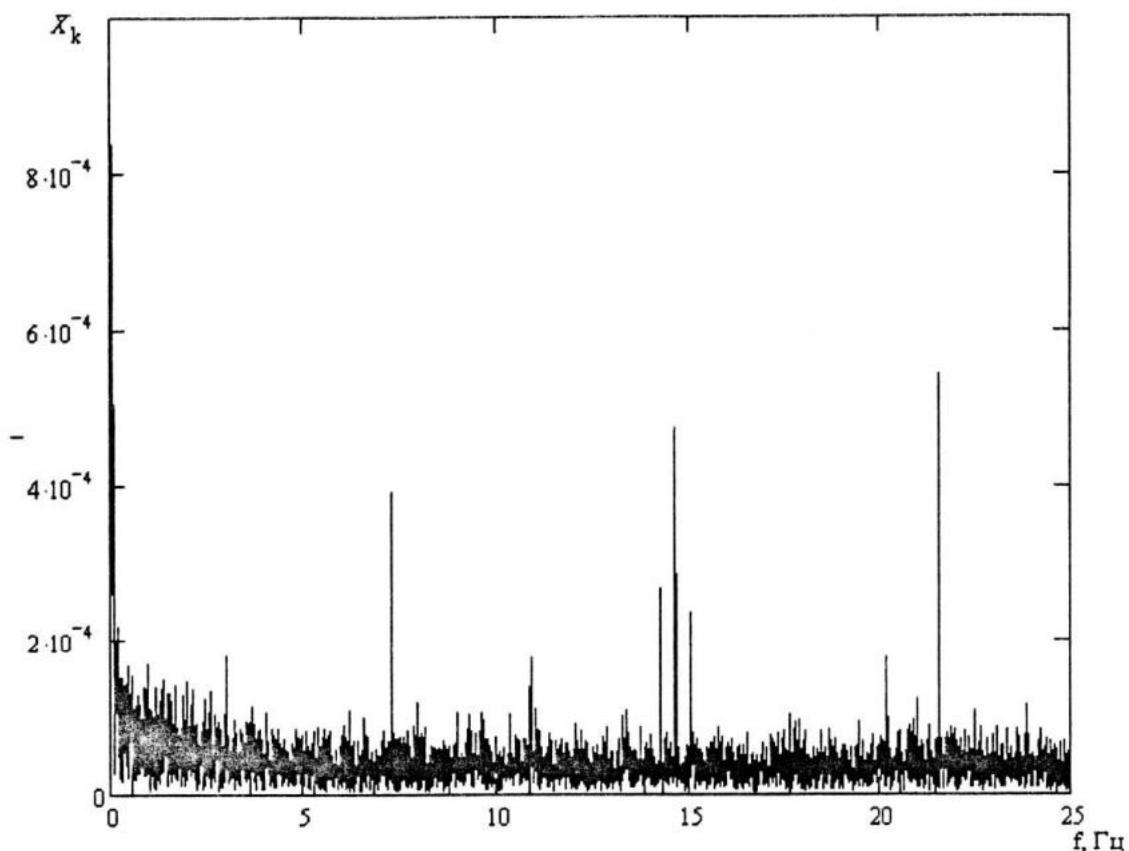


Рисунок 4 – Пример спектра амплитуд для скорости потока $V = 8,01 \text{ см/с}$

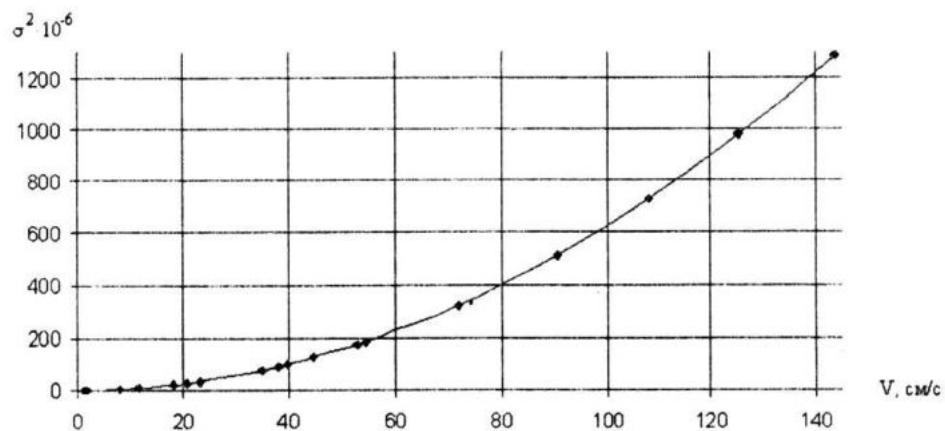


Рисунок 5 – Дисперсия спектра амплитуд в зависимости от скорости потока для 19 выборок

Эти результаты позволяют сделать следующие выводы. Используя шумы, вызванные турбулентностью среды, и получив в результате обработки сигнала величину дисперсии спектра турбулентных шумов, можно по величине дисперсии однозначно определить скорость потока, в котором находится прибор, это открывает новые возможности для использования турбулентных шумов в измерительных приборах.

ЛИТЕРАТУРА

- І. Н.А. Греков, П.В. Гайский, В.Ж. Мишурев, А.С. Бондаренко. Переносной акустический измеритель скорости течения ИСТ-1. Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2005. – С. 35–40.