

# Модернизированная система проверки преобразователей высокочастотных гидроакустических полей

## Кузнецов С. И.<sup>1</sup>, Лукин Г. С.<sup>2</sup>

*1*Кузнецов Сергей Игоревич / *Kuznetsov Sergei Igorevich* – бакалавр-инженер;  
*2*Лукин Георгий Сергеевич / *Lukin Georgij Sergeevich* – бакалавр-инженер,  
кафедра систем автоматического управления и контроля,  
Московский институт электронной техники, г. Зеленоград

**Аннотация:** статья показывает возможности усовершенствованной системы проверки, градуировки и калибровки высокочастотных преобразователей гидроакустического давления на частотах от 0,5 до 12 МГц. В статье так же отражены возможности измерителя полной мощности ультразвукового пучка, указаны источники погрешностей и проведен их анализ.

**Ключевые слова:** полная мощность ультразвукового пучка, гидроакустическое давление, высокочастотный гидрофон, ультразвуковой диапазон.

Наука, носящая название «метрология», состоит из множества разделов, одним из которых являются гидроакустические измерения. Особый интерес для учёных всего мира это направление приобрело в период между двумя мировыми войнами. После кровопролитных сражений первой мировой войны страны ощутили потребность в совершенствовании гидролокационного и навигационного оборудования, способного работать с максимальной точностью. В наше время гидроакустические измерения используются фактически во всех сферах науки, однако особенное место они занимают в области медицины.

Электроакустические преобразователи являются единственным средством для приема и направленного создания акустических сигналов в водной среде (а человеческое тело схоже по своим характеристикам с водной средой), что делает их изготовление и улучшение их качества крайне важным направлением науки. При этом одним из важнейших факторов успешного применения ультразвуковых приборов для лечения различных заболеваний, является излучение импульсов строго определенной частоты и амплитуды. Важность точной градуировки ультразвуковых излучателей невозможно переоценить, ведь если медицинский прибор будет не откалиброван, то его применение может привести к трагическим последствиям для больного человека.

В первую очередь, для точной градуировки излучателей гидроакустических полей, необходимо было выбрать метод градуировки. Исследовались метод самовзаимности с одним или с двумя преобразователями, метод оптической интерферометрии, метод градуировки гидрофонов, использующий явление искажения формы волны при ее распространении в жидкости и метод градуировки плоским сканированием.

После сравнительного анализа этих методов калибровки гидрофонов, ввиду своей простоты и достаточной точности, был выбран метод градуировки плоским сканированием.

В данном методе предполагается применение излучателя с известной полной мощностью ультразвукового пучка, которая должна быть измерена независимым методом. То есть реализация данного метода решила сразу две задачи метрологического обеспечения, в которой были запланированы создание установки для измерения мощности ультразвукового излучения и создание системы градуировки высокочастотных гидрофонов.

Выбранный метод применяется в случаях, когда энергия гидроакустического поля сконцентрирована в относительно узком пространстве – в виде ультразвукового пучка – коллимированного (или слегка сходящегося, или расходящегося), т.е. в поле плоского излучателя поршневого типа на частотах, при которых длина звуковой волны существенно меньше размеров (например, диаметра) излучателя.

Для градуировки высокочастотных гидрофонов сначала необходимо измерить их полную мощность. Причем измеритель полной мощности должен являться самостоятельной установкой, так как именно измерение мощности излучения является важнейшим аспектом в градуировке гидрофонов.

Существует несколько методов измерения мощности ультразвукового пучка. И для каждого метода придуманы несколько разных конструкций измерителей. Был выбран метод радиометра, основанный на измерении радиационного давления акустических волн.

При реализации этого метода была создана установка, использующая прецизионные весы в качестве основного измерительного элемента (рис. 1).



Рис. 1. Прецизионные весы фирмы Mentor Toledo

Мощность ультразвукового пучка можно определить с помощью формулы 1[1]:

$$P = cF, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость распространения звуковой волны в среде;  $F$  – давление ультразвукового пучка.

Для упрощения и увеличения точности обработки данных, получаемых от весов, данная установка была подключена к компьютеру, а в программном пакете MatLab для нее была написана специальная программа, которая принимала, преобразовывала и сохраняла все измерительные данные. Автоматизированная обработка данных позволила избавиться от некоторых источников погрешности и повысить общую точность измерения полной мощности ультразвукового пучка, что в свою очередь улучшает качество калибровки гидрофонов.

В свою очередь, градуировка на установке плоского сканирования (рис.2) требует исчерпывающую измерительную информацию, учитывающую структурные особенности пространственного распределения интенсивности в поперечном сечении пучка, которую дает двухмерное растровое сканирование, при котором гидрофон перемещают (последовательно от одной строки к другой) по условной прямоугольной сетке с ячейками одинаковых размеров – точками измерения напряжения. В этом случае измерительная информация (интеграл квадратов напряжений с гидрофона)  $\iint U^2 dx dy$  представляется в виде формулы 2[2]:

$$\iint U^2 dx dy = \sum \sum [U(1, xm, yn)]^2 \Delta x \Delta y \quad (2)$$

где  $M$  и  $N$  – число точек отсчета в направлениях  $x$  и  $y$  соответственно (количество точек в строке и количество строк – в терминах растрового сканирования);  $l$  – расстояние от излучателя до плоскости сканирования;  $\Delta x$  и  $\Delta y$  – размеры шага перемещения в направлениях  $x$  и  $y$  соответственно.

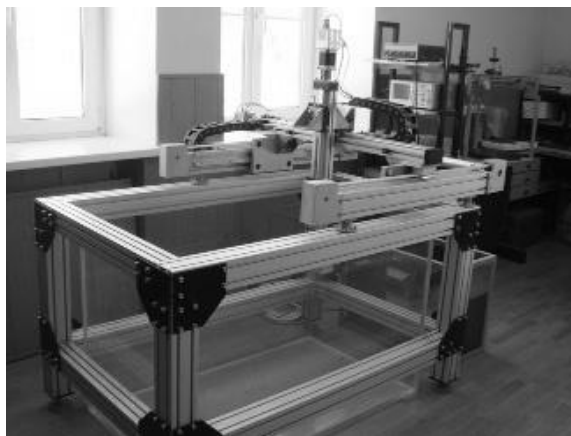


Рис. 2. Установка плоского сканирования

Данная установка, так же как и измеритель полной мощности ультразвукового пучка, подключена к компьютеру и обладает автоматизированной обработкой измерительных данных.

После проведенных испытательных градуировок были переоценены источники погрешности измерения чувствительности гидрофона:

- погрешность измерения полной мощности ультразвукового пучка снижена с (5-10)% до (2-6)%;
- погрешность установки напряжения возбуждения излучателя как в процессе измерения его мощности, так и при градуировке гидрофона снижена с 3% до 1.7%;
- погрешность измерения сигнала с гидрофона для синусоидального сигнала снижена с 3% до 2%;
- погрешность из-за конечного шага сканирования снижена с 2% до 1.7%, если измерение сигнала между соседними точками сканирования не превышают 1 дБ;
- погрешность установки гидрофона в заданную точку на линии сканирования снижена с 2% до 1.7%;
- погрешность, связанная с характеристикой направленности гидрофона и неточностью его ориентации относительно излучателя снижена с 5% до 2%;
- погрешность из-за неточности определения пространственного положения центра ультразвукового пучка и несовпадения диаметра пучка с линией сканирования снижена с 7% до 4%;
- погрешность, связанная со вкладом шумового сигнала в сканирование на периферийных участках гидроакустического поля снижена с 10% до 9.3%;
- погрешность из-за влияния переотражений сигнала от водной поверхности, дна и стенок измерительного бака снижена с 5% до 2%;
- случайная составляющая погрешности снижена с 10% до 2% (в связи с трудоемкостью повторения операций сканирования).

Переоценка погрешностей позволила снизить расширенную неопределенность результата измерения чувствительности с (20-25)% до (12.3-18)% .

Создание автоматизированной поверочной схемы для высокочастотных гидрофонов позволило значительно повысить качество калибровки средств измерения гидроакустического давления на отечественных предприятиях, что уменьшит зависимость Российской науки от иностранных достижений[3]. Так же это позволит создавать собственные высокочастотные гидрофоны, измерения которых будут обладать малыми погрешностями. В связи с вышесказанным модернизация и метрологическое исследование установки линейного сканирования, несомненно, актуальны.

### *Литература*

1. *Красновский П. А.* Точные измерения для высоких технологий. п/о Менделеево: Изд-во ФГУП «ВНИИФТРИ», 2008. – 289 с.
2. *Еняков А. М.* Государственная система обеспечения единства измерений. Мощность ультразвука в жидкостях. Общие требования к методикам выполнения измерений в диапазоне частот от 0.5 до 25 МГц. п/о Менделеево: Изд-во ФГУП «ВНИИФТРИ», 1998. – 28 с.
3. *Авилочкина Н. В.* ГОСТ Р МЭК 62127-2 – 2009. Гидрофоны. Общие требования к методикам калибровки в частотном диапазоне до 40 МГц. Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2011. – 57 с.