

Разработка измерителя мощности ультразвукового пучка высокой интенсивности Кузнецов С. И.

*Кузнецов Сергей Игоревич / Kuznetsov Sergei Igorevich – инженер, студент,
кафедра систем автоматического управления и контроля,
Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники, г. Москва*

Аннотация: в статье рассматриваются различные методы измерения полной мощности ультразвукового пучка. Приведены примеры таких методов и произведен их анализ для выбора оптимального, на основе которого спроектирован измеритель мощности ультразвукового пучка высокой интенсивности. Рассмотрены основные источники погрешностей в проектируемой измерительной системе, а также способы нивелирования этих погрешностей.

Ключевые слова: калориметрический метод, гидроакустический преобразователь, измеритель мощности ультразвукового пучка, ультразвук высокой интенсивности.

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 интенсивности. 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 [1].

Создание измерительных гидрофонов бессмысленно, если нет средств для их градуировки [2]. Еще совсем недавно в России не существовало ни эталонов, ни поверочной схемы для средств измерения гидроакустического давления на частотах свыше 1 МГц. Приходилось использовать зарубежные схемы поверки акустических средств измерения гидроакустического давления, отправлять приборы, требующие калибровки, за границу или вовсе отказываться от поверочных мероприятий в ущерб качеству лечения.

Развитие медицинских технологий, повышение точности и эффективности методов лечения приводят к ужесточению требований для приборов ультразвуковой терапии. Для некоторых видов заболеваний раньше не применялись ультразвуковые методы лечения. Дробление крупных и мелких камней в почках, уничтожение опухолей и некоторые другие заболевания вообще было невозможно вылечить без операционного вмешательства. С повышением мощности ультразвуковых излучателей – это становится возможным.

Однако спроектировать и создать высокомогущный излучатель – далеко не все. Необходимо с большой точностью определять качественные характеристики построенного прибора, провести его калибровку, а в дальнейшем проводить его поверку. Для преодоления этой проблемы было принято решение создать собственную поверочную схему для гидрофонов различной мощности.

Поверочная схема для градуировки гидрофонов с полной мощностью ультразвукового пучка до 10 Вт уже спроектирована и успешно используется в ВНИИФТРИ. В ее основе лежит применение метода плоского сканирования. Для этого метода необходимо точно знать полную мощность ультразвукового пучка исследуемого гидрофона. Измерение данной величины проводится на специально для этого разработанном измерителе полной мощности ультразвукового пучка, в основе которого лежит гравитационный метод измерения. Однако преобразователи большей мощности до сих пор невозможно откалибровать в пределах России.

При проектировании измерителя полной мощности ультразвукового пучка для преобразователей высокоинтенсивного гидроакустического излучения были рассмотрены различные методы:

- калориметрические, основанные на измерении повышения температуры какого-либо материала в результате поглощения им ультразвуковой энергии;
- акустооптические, в основе которых лежит теория Raman-Nath о дифракции света на ультразвуковых волнах (вследствие зависимости скорости света от плотности жидкости и зависимости последней от амплитуды звукового давления);
- методы радиометра, основанные на измерении радиационного давления акустических волн [3].

Несмотря на то, что метод радиометра принят в МЭК в качестве стандартного, выбор был сделан в пользу калориметрического метода измерения мощности ультразвукового пучка. Акустооптический метод обладает высокой точностью измерений, но оборудование для его производства имеет слишком высокую стоимость. Метод радиометра не подходит для измерения высокомогущного излучения, так как при измерении ультразвуковых волн высокой интенсивности происходит нагрев (или вовсе разрушение) мишени, что ведет к нарушению процесса измерения.

Простота и универсальность калориметрического метода являются значимым преимуществом. Применимость для измерения параметров различных аппаратов позволит не обращать внимания на частотный диапазон и на вид ультразвуковой колебательной системы при проведении измерений.

Способ измерения мощности ультразвукового пучка калориметрическим методом заключается в следующем: в сосуд с хорошей теплоизоляцией, заливается фиксированный объем обрабатываемой жидкости при комнатной температуре. Далее в сосуд погружается ультразвуковой излучатель и осуществляется УЗ воздействие в течение определенного времени. Начальная и конечная температуры внутри калориметрического сосуда замеряются термометром. При этом интенсивность ультразвука рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{cm\Delta T}{tS} \quad (1)$$

где I – интенсивность ультразвука, Вт/м²; c – теплоемкость жидкости, Дж/кг·К; m – масса жидкости, кг; ΔT – перепад температур, °С; t – время воздействия ультразвука, с; S – площадь излучающей поверхности, м² [4].

Для расчета акустической мощности следует воспользоваться формулой:

$$P = \frac{cm\Delta T}{t} \quad (2)$$

Описанный способ имеет ряд недостатков. К ним относятся инерционность термометра, возможные погрешности при считывании показаний со шкалы термометра, возможность возникновения кавитации, относительно большое время, затрачиваемое на измерения и вычисления, возможность возникновения погрешностей измерений вследствие теплообмена с внешней средой.

Для реализации калориметрического метода необходимо нивелировать источники возможных погрешностей. Самым очевидным действием является уменьшение влияния температуры внешней среды на процесс измерения. Для этого достаточно сделать измерительный бак из двух– трехслойного материала, обладающего низкой теплопроводностью, и поставить всю измерительную систему в специальный ветрозащитный шкаф.

Для уменьшения вероятности возникновения кавитации и пузырьков на поверхности излучателя, необходимо использовать жидкость с меньшим количеством растворенных газов и более высокой температурой кипения, чем у воды. Для этого прекрасно подходит касторовое масло, которое имеет достаточно низкую стоимость, низкую концентрацию растворенных газов и температуру кипения в 313°С.

Проблемы, связанные с процессом считывания и обработки данных, получаемых с термометров, можно решить за счет современных цифровых лабораторных термометров, имеющих высокую скорость измерения, и программного обеспечения, способного посекундно записывать измерительные данные.

Таким образом, можно нивелировать погрешности, которые сильнее всего влияют на измерения мощности ультразвукового пучка в жидкой среде.

Проектируемый измеритель запланирован как эталонный измеритель мощности ультразвукового пучка с предельной измеряемой мощностью до 500 Вт. В дальнейшем, на нем будут проводиться исследования высокомошных гидроакустических полей и испытания НИТУ оборудования. Наличие такого измерителя в России позволит проводить качественные испытания медицинских ультразвуковых аппаратов, что, в свою очередь, позволит создавать такие медицинские приборы, не прибегая к помощи зарубежных метрологических организаций. Также наличие такого прибора в России позволит проводить проверки уже введенных в эксплуатацию медицинских приборов, что в свою очередь приведет к повышению качества медицинских услуг.

Литература

1. Кузнецов С. И., Лукин Г. С. Модернизированная система поверки преобразователей высокочастотных гидроакустических полей // Наука, техника и образование, 2015. № 12 (18).
2. ГОСТ Р МЭК 62127-3-2010.
3. Н. В. Авилочкина. ГОСТ Р МЭК 62127-2–2009. Гидрофоны. Общие требования к методикам калибровки в частотном диапазоне до 40 МГц. Москва: Изд – во ФГУП«СТАНДАРТИНФОРМ», 2011.
4. Bacon D. R. // IEEE Trans. Sonics Ultrason. Vol. SU-29, 1982.