

# ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

**В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Е.В. Ильченко**

*Бийский технологический институт АлтГТУ, г. Бийск*

Статья посвящена разработке прибора, предназначенного для измерения акустической мощности. Описывается калориметрический способ измерения акустической мощности, вводимой ультразвуковым технологическим аппаратом в обрабатываемую среду. Приводятся основные особенности и характеристики прибора.

*Ключевые слова:* ультразвук, измерение, мощность, калориметрия, прибор.

## ВВЕДЕНИЕ

При конструировании, налаживании и эксплуатации ультразвуковой аппаратуры, а также при реализации различных технологических процессов необходимо осуществлять контроль параметров УЗ воздействия [1].

Максимальная эффективность различных технологических процессов, реализуемых при помощи ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, обеспечивается только при определенных (оптимальных) параметрах воздействия.

Одним из основных параметров, определяющих эффективность ультразвукового воздействия, является энергия механических колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) вводимая в технологическую среду [2].

Ультразвуковая энергия, вводимая в обрабатываемую среду, интенсифицирует большую часть известных физико-химических процессов. Причем, эффективность интенсификации большинства процессов имеет экстремальный характер. Поэтому, интенсивность ультразвуковых колебаний, вводимая через единицу площади излучающей поверхности энергия, является важнейшим параметром ультразвукового технологического аппарата (УЗТА), а контроль интенсивности акустических колебаний, позволяет оптимизировать настройку ультразвукового генератора, судить о качестве УЗКС, контролировать технологические процессы, протекающие в УЗ полях.

Таким образом, задача связанная с контролем интенсивности колебаний является актуальной.

При распространении акустических колебаний в жидкой технологической среде, происходит их поглощение. Также при воздействии УЗ колебаний высокой интенсивности возникает явление кавитации, формируются микро- и макро- течения и т. д., что в свою очередь приводит к тому, что энергия упругих колебаний со временем диссипирует в тепловую энергию.

Все это обуславливает нагрев среды, то есть изменение её температуры.

В связи с этим, один из основных методов контроля вводимой в технологические среды энергии основывается на регистрации температурных изменений, происходящих в обрабатываемой среде. Такой способ называется калориметрическим.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К преимуществам калориметрического способа относятся его простота, применимость для измерения параметров различных аппаратов (не имеет значения вид ультразвуковой колебательной системы и частотный диапазон, в котором работает УЗ аппарат).

Методика проведения измерений калориметрическим методом заключается в следующем: в сосуд (с посеребренными стенками и хорошей теплоизоляцией) заливается фиксированный объем обрабатываемой жидкости при комнатной температуре (около 20 градусов). Далее в сосуд погружается ультразвуковой излучатель и осуществляется УЗ воздействие в течение 20 – 30 сек. Начальная и конечная температуры внутри калориметрического сосуда замеряются термометром. Интенсивность ультразвука рассчитывается по формуле:

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

где  $I$  – интенсивность ультразвука, Вт/м<sup>2</sup>;  $C$  – теплоемкость жидкости, Дж/кг\*К;  $m$  – масса жидкости, кг;  $\Delta T$  – перепад температур, °С;  $t$  – время воздействия ультразвука, с;  $S$  – площадь излучающей поверхность, м<sup>2</sup> [1].

Для расчета акустической мощности следует воспользоваться формулой:

$$P = cm\Delta T / t. \quad (2)$$

Описанный способ имеет ряд недостатков. К ним относятся инерционность термометра, возможные погрешности при считывании показаний со шкалы термометра, относительно большое время, затрачиваемое на измерения и вычисления.

Для упрощения процесса измерения, а также для его ускорения и автоматизации был разработан измерительный прибор, структурная схема которого приведена на рис. 1.

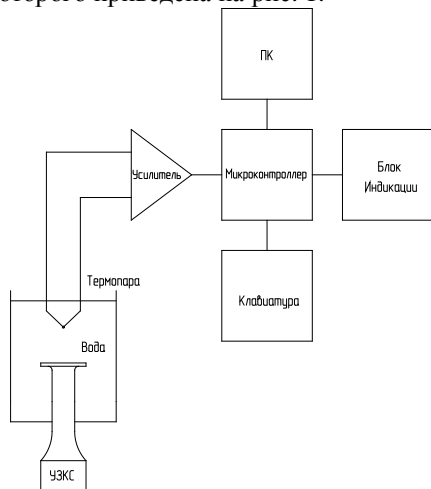


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы

Отличительными особенностями разрабатываемого прибора являются:

- измерение разности температур в течение малого интервала времени (10 с);
- возможность проведения непрерывных измерений;
- возможность отображения измерительной информации на дисплее;
- возможность связи с ПК для передачи измерительной информации;
- возможность протоколирования измерительной информации.

Возможность включения в работу прибора ПК позволяет автоматизировать процесс обработки результатов измерений, а также легко визуализировать полученные результаты.

Измерительный прибор состоит из следующих элементов:

- термопара хромель-алюмель;
- усилитель сигнала термопары;
- микроконтроллер Atmega64;
- графическое устройство отображения информации – ЖК дисплей WG12864В.

Применение термопары хромель-алюмель в качестве первичного преобразователя информации обусловлено ее линейностью в диапазоне температур 0 – 400 °С [3].

Такие термопары широко используются во всех отраслях промышленности. Они дешевы и просты в обращении, устойчивы к вибрациям. Преимуществом таких термопар также является высокая чувствительность [4].

Выходной сигнал термопары имеет очень малый уровень и требует усиления или применения цифровых преобразователей высокой разрядности для обработки сигнала [5].

В качестве вторичного преобразователя информации используется усилитель, схема которого представлена на рис. 2 [6]. Усилитель построен на основе высокостабильного операционного усилителя AD8551. Схема предусматривает автоматическую компенсацию температуры холодного спая. Для выполнения этой операции служит диод VD1. Представленная схема обеспечивает разрешение 10мВ/°С.

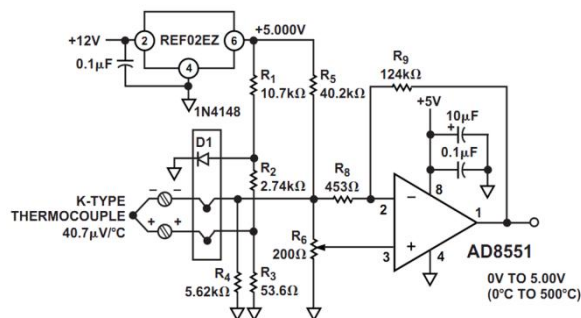


Рис. 2. Схема измерительной части прибора

В качестве источника опорного напряжения используется микросхема REF195.

В качестве устройства управления и измерения был выбран микроконтроллер Atmega64.

Такой выбор был обусловлен наличием в составе данного контроллера необходимых периферийных устройств, а именно десятиразрядного аналого-цифрового преобразователя, таймер счетчика, последовательного порта, а также, достаточного для работы с LCD дисплеем, числа цифровых сигнальных линий

Работа измерительного прибора осуществляется по следующему алгоритму.

1 Проводится предварительная настройка периферийных устройств (таймера, последовательного порта).

2 По прошествии фиксированного интервала времени проводится измерение температуры (включается АЦП, результат аналого-цифрового преобразования преобразуется в значение температуры).

3 Полученное значение температуры вносится в массив для дальнейшего усреднения.

4 Проводится усреднение температуры по последним N измерениям. Усреднение необходимо, т. к. при работе ультразвукового оборудования на полезный сигнал термопары накладываются значительные помехи.

5 Осуществляется расчет мощности.

6 Полученное значение мощности выводится на дисплей.

7 Измерительная информация может быть передана через СОМ порт на ПК (по запросу ПК).

В процессе работы программы выполняется следующие действия.

Из массива температур берется последнее измеренное значение температуры и значение температуры, полученное десятью секундами ранее. Опытным путем установлено, что использовать интервал измерения менее 10 секунд нецелесообразно, т. к. в течение меньшего периода времени температура жидкости повышается незначительно и провести измерения с достаточной точностью не представляется возможным.

Большой интервал времени между измерениями температуры также нежелателен, т. к. в этом случае на результат измерений может повлиять теплообмен с внешней средой. Кроме того проведение измерений в течение большего времени противоречит поставленной цели достижения максимального быстродействия прибора.

Далее рассчитывается разность между выделенными из массива значениями температур.

Измерения проводятся в фиксированном объеме жидкости, в качестве которой используется вода. Таким образом, масса и теплоемкость обрабатываемой среды являются постоянными и заведомо известными, так же известно время, в течение которого проводилась обработка среды ультразвуком. Этих данных достаточно для расчета мощности ультразвука по формуле (2).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный прибор имеет следующие технические характеристики:

- диапазон измеряемых мощностей, Вт 50...6000;
- время обновления данных на индикаторе, сек 1;
- абсолютная погрешность измерений, Вт 3;
- диапазон рабочих температур, градусы 0...200.

Возможность проведения непрерывных измерений и протоколирования результатов делают разработанный прибор удобным и простым в применении.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гершгал, Д. А. Ультразвуковая технологическая аппаратура [Текст] / Д. А. Гершгал, В. М. Фридман – издание третье, переработанное и дополненное – М.: Энергия 1976 – 319 с.
2. Контроль параметров ультразвуковых технологических аппаратов [Электронный ресурс]: электронный журнал «Техническая акустика», 2010, 13 – Режим доступа к журн.: <http://www.ejta.org/ru>
3. Сравнение характеристик РТД и термопар [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03\\_05/stat\\_24.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03_05/stat_24.htm)
4. Термопары: достоинства и недостатки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vestnikatp.wordpress.com/2010/07/15/термопары-достоинства-и-недостатки>
5. Компенсация холодного спаивания в практике применения термоэлектрических преобразователей [Электронный ресурс]

– Режим доступа:  
[http://www.compeljournal.ru/enews/2007/15/10\\_6\\_AD8551/AD8552/AD8554\\_Zero-Drift\\_Single-Supply\\_Rail-to-Rail\\_Input/Output\\_Operational\\_Amplifiers](http://www.compeljournal.ru/enews/2007/15/10_6_AD8551/AD8552/AD8554_Zero-Drift_Single-Supply_Rail-to-Rail_Input/Output_Operational_Amplifiers) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8551\\_8552\\_8554.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8551_8552_8554.pdf)

*Хмелев Владимир Николаевич* – д.т.н., профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, (3854)432580, e-mail: [vnh@bti.secna.ru](mailto:vnh@bti.secna.ru).

*Барсуков Роман Владиславович* – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [roman@bti.secna.ru](mailto:roman@bti.secna.ru).

*Генне Дмитрий Владимирович* – инженер лаборатории акустических процессов и аппаратов, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [roman@bti.secna.ru](mailto:roman@bti.secna.ru).

*Ильченко Евгений Владимирович* – студент факультета информационных технологий, автоматизации и управления, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: [umput90@mail.ru](mailto:umput90@mail.ru).