

На рисунке 3 показан один из вариантов разработанного учебного измерительного аппаратно-программного комплекса на базе ПК.

Разработанный учебный аппаратно-программный комплекс представляет интерес при решении измерительных задач, требующих автоматизации процессов измерения, хранения, анализа измерительной информации, а также для реализации инновационных методов подготовки технических специалистов различного уровня на основе интеллектуальных аппаратно-программных средств в соответствии с современными образовательными программами.

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием/ В.В. Денисенко. Москва: Горячая линия-Телеком. – 2009. – 608 с.
2. Крюков В.В. Информационно-измерительные системы/ В.В. Крюков. Владивосток: ВГУЭС. – 2000. – 102 с.
3. Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерений: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – Москва: Издательский центр «Академия». – 2010. – 272 с.

УДК 621.039:004.415.2.041

### АЛГОРИТМ И КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МУЛЬТИСЕНСОРНОГО КОНТРОЛЯ НЕШТАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Иванов В.И., Иванов Н.И., Лазарчик А.Н.

*Институт ядерных проблем Белорусского Государственного Университета  
Минск, Республика Беларусь*

Методы бесконтактной акустической шумовой диагностики (БАШД) основываются на анализе множества сигналов, получаемых с помощью распределенных в контролируемом пространстве  $N$  акустических сенсоров.

Предлагаемый алгоритм БАШД реакторных и турбинных залов и ряда других опасных производств включает: предварительное получение «паспорта» трехмерной акустической шумовой обстановки контролируемого объекта путем измерения базовых (эталонных) сигнатур акустической шумовой обстановки (БСШО) в режиме штатного функционирования объекта; получение текущих сигнатур акустической обстановки (ТСШО) и их текущее сравнение с БСШО в заданных точках контролируемого пространства с последующим выявлением и определением координат позиционирования источника аномального шума, рисунок 1.

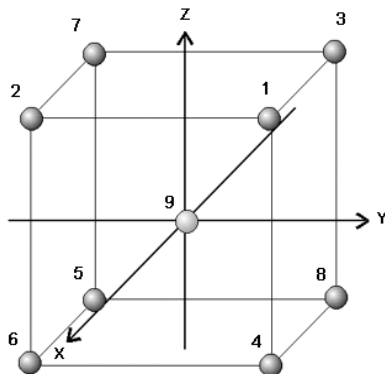


Рисунок 1 – Схема расположения акустических сенсоров БАШД в трехмерном пространстве

Выявление аномального шума, порожденного различными нештатными ситуациями – утечками из напорных трубопроводов, различного рода биениями и вибрациями, повышенным трением в узлах вращения, разрушением элементов конструкций, попаданием посторонних предметов в механнизмы и трубопроводы, электрическими разрядами и замыканиями, осуществляется по признакам отличия стационарности акустических сигнатур БСШО и ТСШО по следующим параметрам:

$$K_1 = \frac{F_{max} - \bar{F}}{F_{max}}, \quad (1)$$

$$K_2 = 1 - \frac{F_{mod}}{F_{max}}, \quad (2)$$

где  $F_{max}$  – максимальная частота спектра сигнала;  $\bar{F}$  – среднее значение частоты, представляет собой амплитудно-взвешенное значение частоты спектра на периоде усреднения  $T$ ;  $F_{mod}$  – модальная частота, определяемая интервалом частот спектра, в котором сосредоточена наибольшая доля энергии сигнала.

Оптимизация системы БАШД потребовала разработки эффективных алгоритмов анализа и минимизации погрешностей определения координат позиционирования источника аномального шума в трехмерном пространстве при минимизации числа используемых датчиков системы и вычислений. Набор пар из  $N$  датчиков, рисунок 1, определяет систему нелинейных гиперболических уравнений относительно координат позиционирования источника аномального шума.

Полагаем, система БАШД включает  $N$  датчиков, координаты которых определяются векторами  $\mathbf{r}_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Положение источника аномального шума задается вектором  $\mathbf{r}_s = [x_s, y_s, z_s]^T$ . Расстояние от начала координат до  $i$ -того датчика и источника шума обозначим через  $\rho_i$  и  $\rho_s$  соответственно, так что:

$$\rho_i = \|\mathbf{r}_i\| = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}, \rho_s = \|\mathbf{r}_s\| = \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2} \quad (3)$$

Расстояние между источником и  $i$ -тым датчиком обозначим как:

$$d_i = \|\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_i\| = \sqrt{(x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 + (z_s - z_i)^2}$$

Для разности расстояний от источника до  $i$ -того и  $j$ -того датчика получим:

$$d_{ij} = d_i - d_j, i, j = 1, \dots, N \quad (5)$$

Параметры  $d_{ij}$  определяются по измерению времен запаздывания сигнала относительно различных датчиков, поэтому (5) с учетом (4) представляет собой систему нелинейных гиперболических уравнений относительно неизвестного  $r_s$ . Однако, если мы рассмотрим  $L$  различных триплетов датчиков, то получим систему из  $L$  линейных уравнений, которая в матричной форме может быть записана в виде:

$$M \cdot r_s = b,$$

где  $M = 2D \cdot S$ ,  $b = D \cdot \rho + s$ ,

$$S = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_N \end{bmatrix}, \rho = \begin{bmatrix} \rho_1^2 \\ \rho_2^2 \\ \dots \\ \rho_N^2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

$D$  – это  $L \times N$  матрица, и  $S$  – это  $L \times 1$  вектор, структура которого зависит от выбранных сенсорных триплетов и их разбиения на пары. Следует отметить, что здесь мы предполагаем, что каждый датчик БАШД входит в какой-либо из триплетов датчиков.

Если  $L=3$ , то из (6) для координат источника сигнала получим:

$$r_s = M^{-1} \cdot b. \quad (8)$$

При  $L>3$ , используя метод наименьших квадратов или метод псевдообращения матриц [1], имеем:

$$r_s = (M^T \cdot M)^{-1} M^T b$$

В результате численных и экспериментальных исследований установлено, что симметричные звездообразные конфигурации пар датчиков

имеют лучшие характеристики точности, весьма близкие к оптимальным. Были найдены и исследованы две звездообразные конфигурации пар: из 5 датчиков №1-№5 (9), датчик №1 расположен в центре куба, и из 9 датчиков №1-№9 (10), рисунок 1, которые сочетают в себе хорошую точность при минимальной сложности вычислений по триплетам:

$$\{(2,1,3), (2,1,4), (2,1,5)\}. \quad (9)$$

$$\{(1,9,5), (2,9,8), (7,9,4), (3,9,6)\}. \quad (10)$$

Для конфигурации (10) матрицы  $D$ ,  $S$ , и векторы  $\rho$ ,  $S$  получены в виде уравнений (11), карта погрешности приведена на рисунке 2.

Точность определения координат местоположения аномального шума для конфигурации (10) примерно на пятьдесят процентов выше, чем для конфигурации (9). Полученные результаты позволяют рекомендовать конфигурации (9) и (10) для практического применения в системах БАШД. (4)

$$D = \begin{bmatrix} -d_{19} & 0 & 0 & 0 & -d_{95} \\ 0 & -d_{98} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -d_{79} & 0 \\ 0 & 0 & -d_{96} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{19} + d_{95} \\ 0 & 0 & -d_{29} & d_{29} + d_{98} \\ 0 & -d_{94} & 0 & d_{79} + d_{94} \\ -d_{39} & 0 & 0 & d_{39} + d_{96} \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_9 \end{bmatrix}, \rho = \begin{bmatrix} \rho_1^2 \\ \rho_2^2 \\ \dots \\ \rho_9^2 \end{bmatrix}, s = \begin{bmatrix} d_{19}d_{95}^2 + d_{95}d_{19}^2 \\ d_{29}d_{98}^2 + d_{98}d_{29}^2 \\ d_{79}d_{94}^2 + d_{94}d_{79}^2 \\ d_{39}d_{96}^2 + d_{96}d_{39}^2 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

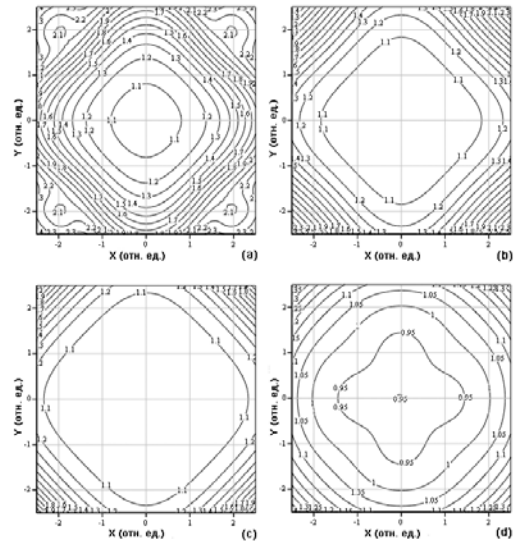


Рисунок 2 – Карта погрешности : (а) в плоскости  $z=-2$ , (б) в плоскости  $z=-1$ , (с) в плоскости  $z=0$ , (д) функция  $g_{CR}$  в плоскости  $z=0$ .

1. Amar A. and Leus G. A reference-free time difference of arrival source localization using a passive sensor array / in Sensor Array and Multi-

channel Signal Processing Workshop (SAM) 2010 IEEE. – Jerusalem, Israel. – Oct. 2010. – P. 157–160.

УДК 621.373.826

## АППАРАТУРА ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

Каплевский К.Н.<sup>1</sup>, Радько А.Е.<sup>2</sup>, Шевченко К.А.<sup>2</sup>, Ермалицкий Ф.А.<sup>2</sup>, Самцов М.П.<sup>2</sup>, Воропай Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ

Минск, Республика Беларусь

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – одно из широко востребованных и быстро развивающихся направлений лазерной медицины. ФДТ находит своё применение не только в онкологии, но и в хирургии (антибактериальная фотодинамическая терапия), офтальмологии, дерматологии, оториноларингологии и т.п. Сущность фотодинамической терапии заключается в повреждающем действии света на клетки злокачественных новообразований, а также микрофлору ран в присутствии молекул фотосенсибилизатора, способных эффективно поглощать фотоны определенной длины волны.

Метод фотодинамической терапии является щадящим для организма с одной стороны и высокоэффективным для избирательного разрушения опухолей, что позволяет использовать его в случаях, когда другие методы лечения либо не эффективны, либо не возможны. Отличительными особенностями метода являются: отсутствие токсичности, хорошая переносимость, воздействие только на опухоль без повреждения здоровых тканей, возможность сочетания с другими методами противоопухолевого лечения.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом для ФДТ активно применяются лазерные источники света с длиной волны в области поглощения известных фотосенсибилизаторов. Преимущество использования именно лазерной техники для фотодинамической терапии состоит в том, что гибель микрофлоры достигается за очень короткий промежуток времени, в который маловероятно приобретение устойчивости бактерий, и при этом полностью исключается какое-либо повреждение тканей. Метод фотодинамической терапии является полезной альтернативой антибиотикам и антисептикам. Кроме того метод фотодинамической терапии хорошо сочетается с лучевой и химиотерапией и значительно снижает порог чувствительности опухолевых клеток к химио-препаратам, защищая при этом нормальные клетки от побочных неблагоприятных воздействий.

Появление новых отечественных фотосенсибилизаторов [1-3], поглощающих и испускающих свет в области прозрачности биологической ткани (ближний ИК-диапазон) требует создание специальной аппаратуры для их применения в клинической практике. Целью данной работы являлась разработка источника света на основе сверхмощного лазерного диода ближнего ИК-диапазона для проведения сеансов фотодинамической терапии с применением полиметиновых фотосенсибилизаторов.

В качестве источника света в разработанной аппаратуре используется лазерный диод с длиной волны 750 нм. Выбор лазерного диода связан с рядом преимуществ таких источников: компактность, малые габариты и вес, отсутствие высокого напряжения в системе питания, устойчивость к вибрациям и перегрузкам, большой ресурс работы, возможность в широких пределах регулировать выходную мощность.

Процедура фотодинамической терапии требует точного наведения и дозирования лазерного облучения с широким варьированием параметров светового пятна. Поскольку стабильность выходной мощности лазерных диодов пропорциональна току питания для обеспечения задания точных доз облучения необходимо иметь источник тока с точной регулировкой (не менее 2%).

Кроме того, лазерные диоды не переносят перегрева свыше 80 °С, а изменение температуры диода на 10°С градусов приводит к изменению длины волны излучения на ~ 2 нм. Поэтому важно обеспечить стабильность температуры лазерных диодов при работе. Для решения этой задачи обычно применяют системы охлаждения на элементах Пельтье. При подаче напряжения одна сторона элемента Пельтье охлаждалась и отводила тепло от лазерного диода. Вторая сторона крепилась к радиатору с вентилятором, который обеспечивал отвод тепла от нагретой стороны элемента Пельтье.

Конструкция разработанного аппарата для фотодинамической терапии представляет собой