

СТАЦИОНАРНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КАМЕРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Рыбаков Е.А., Стариков Д.П.

Научный руководитель: к.т.н. Громаков Е.И.

Томский политехнический университет, Институт кибернетики
EvgRybakov@gmail.com

Введение. Насосные агрегаты (НА) и находятся в работе круглый год фактически без остановки, в силу этого к ним предъявляются высокие требования по надежности, ведь бесперебойная работа оборудования нефтегазотранспорта является важнейшим требованием, предъявляемым к системе автоматического управления (САУ). В настоящее время при поломке вместо неисправного оборудования встает резервное и предприятие не терпит затрат, связанных с остановом технологического процесса. Однако, ремонт и диагностика неисправностей – мероприятие дорогостоящее, т.к. НА – сложное оборудование со сложной геометрией, внушительными размерами и весом.

Типовым решением диагностики и сигнализации неисправного состояния объектов НГО, используются различные датчики вибрации и осевого смещения вала насоса (рис. 1). Но по этим параметрам неисправность определяется обычно не на самой ранней стадии, а в случае НА и КС, время обнаружения неисправности играет критическую роль, ведь стоимость ремонта измеряется сотнями тысяч рублей.

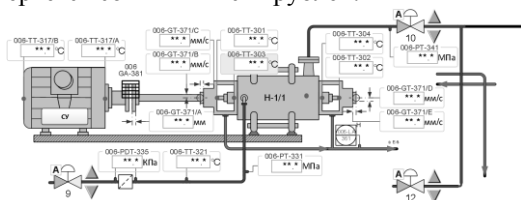


Рисунок 1 - Мнемокадр. Объем автоматизации
НА

Так же одной из основных проблем является локализации неисправности, превышение допустимого уровня вибрации говорит о наличии неисправности, но для локализации причины – необходимо полностью демонтировать и разобрать оборудование. Из выше сказанного вытекает основная проблема – это обнаружение и точная локализация неисправности на ранней стадии. Создание устройства, позволяющего решить совместно поставленные проблемы – цель данной работы.

Модель и принцип работы акустической камеры (АК). Акустическая камера (АК) – это камера, по контуру которой расположены чувствительные элементы (микрофоны). Модель установки имеет следующий вид (рис. 2).

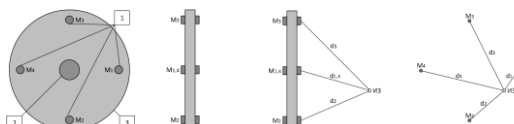


Рисунок 2 - Модель АК

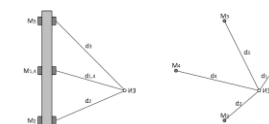


Рисунок 3 - Принцип работы

где:

- 1 – высокочувствительные микрофоны;
2 – цифровая камера высокого разрешения;
3 – корпус.

Известно, что звуковая волна до каждого из микрофонов дойдет за разное время, что обусловлено разными дистанциями от источника звука (ИЗ) до каждого из микрофонов. Пусть АК направлена на геометрически сложный, массивный объект, например, НА (см. рис. 3) где, d_{1-4} расстояния до источника звука (ИЗ).

Необходимо рассмотреть проекцию на плоскость камеры всех расстояний d_{1-4} . Каждый из четырех микрофонов фиксирует одновременно поступающие звуковые волны и если происходит резкое изменение частоты, не соответствующее технологическому процессу (стук, и т.п.), то АК фиксирует это и рассчитывает точное расположение в плоскости «некорректного» звука путем наложения вычисленных координат на изображение, полученное с камеры [1].

Расчет производится с использованием уравнений окружности, где единственная неизвестная переменная это z – время от возникновения события до фиксации этого события ближайшим сенсором (см. рисунок 4). Очевидно, что справедливы следующие уравнения (1):

$$\begin{aligned}d_1 &= z \cdot c \\d_2 &= (z + \Delta z_1) \cdot c \\d_3 &= (z + \Delta z_1 + \Delta z_2) \cdot c \\d_4 &= (z + \Delta z_1 + \Delta z_2 + \Delta z_3) \cdot c\end{aligned}\quad (1)$$

где: c – константа, обусловленная скоростью распространения звуковой волны в среде, а Δz_i – разности фаз.

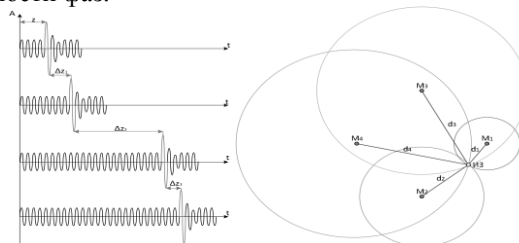


Рисунок 4 - Расчет локализации неисправности

В результате работы программы формируются уравнения (2), где α – расстояние между центром координат и микрофонами [2].

$$\begin{aligned} z^2 &= (x - \alpha)^2 + y^2 \\ (z + \Delta z_1)^2 &= x^2 + (y + \alpha)^2 \\ (z + \Delta z_1 + \Delta z_2)^2 &= x^2 + (y - \alpha)^2 \\ (z + \Delta z_1 + \Delta z_2 + \Delta z_3)^2 &= (x + \alpha)^2 + y^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Из системы уравнений (2) возможно однозначно выразить z , после чего построить из каждого центра, окружность, где общая точка пересечения есть – координаты исследуемого «некорректного» звука.

Следующим этапом программное обеспечение (ПО) автоматически создает вероятностный градиент локализации данного звука и масштабирует результат, под формат окна камеры, например, рис. 5.

Программное обеспечение.

Последним этапом данные передаются на ПК, где в специально созданном ПО (рис. 5) интерпретируются и строятся выходные видеокадры (рис. 6).

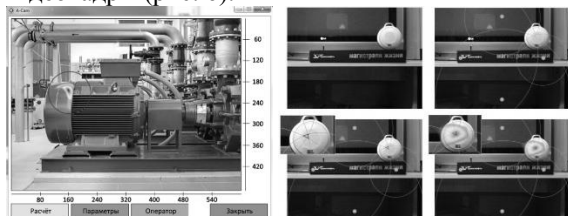


Рис. 5. Окно ПО Рис. 6. Пример видеокадра

На рис. 6 показан пример работы программы, где музыкальная колонка издает звук определенной частоты. В первом квадранте программа строит окружности, в третьем – находит решения системы уравнений и, наконец, в четвертом квадранте формирует градиент исходящего звука, с точной локализацией на плоскости.

Система строится на одном программируемом контроллере *atMega*. Контроллер обрабатывает сигналы с аналоговых датчиков (микрофонов), преобразует в цифровой вид (через АЦП) и транслирует данные на ПК, где производятся все необходимые калькуляции, решение уравнений. Калибровка микрофонов производится встроенными в модули потенциометрами, путем подачи эталонного звука [3].

ПО позволяет оператору просматривать тренды, на которых изображены графики изменения частот с определенной дискретизацией по времени (см. рис. 7) и выделить интересующие провалы или всплески частот относительно номинальной полосы допустимых значений. Экспертная система, заложенная в ПО, автоматически выделяет цветом возможные моменты времени, в которые была замечена неисправность.

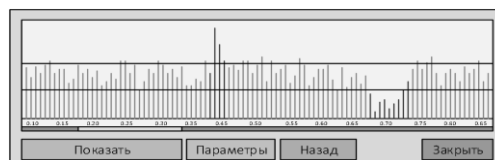


Рисунок 7 - Окно оператора

Заключение. Основные достоинства системы можно опционально разделить на два типа:

Технологические:

1. Предупреждение аварийных ситуаций;
2. Диагностика неисправностей на ранних стадиях;
3. Использование совместно с КИП;
4. Локализация неисправностей;
5. Мобильность в использовании.

Экономические:

1. Увеличение срока службы МНА;
2. Уменьшение затрат на ремонт оборудования;
3. Уменьшение количества ЗИП;
4. Гибкость системы (простота интеграции).

Особенно выделяются такие достоинства как точная локализация неисправностей и уменьшение затрат на оборудование.

Очевидно, что для полученного прототипа присущи и недостатки:

1. Невысокая точность локализации:

– Устраняется за счет увеличения расстояния между микрофонами в плоскости устройства и увеличения их числа (8, 16, 32);

2. Невысокий диапазон частот:

– Устраняется путем увеличения качества микрофонов.

Точность созданного прототипа составляет 1 мм, на расстоянии 1,5 м. Данный показатель легко увеличивается, за счет увеличения расстояния между камерами.

Акустическая камера может быть успешно внедрена для диагностики и сигнализации МНА, электроприводов, компрессоров. Перспективность данного решения очевидна в силу экономических и технологических факторов.

Список использованной литературы

1. S. Nandi, S. Detection of Rotor Slot and Other Eccentricity-Related Harmonics in a Three-Phase Induction Motor with Different Rotor Cages // IEEE Power Engineering Review, vol. 21, no. 9/ Ahmed, H. Toliyat.- 2001.- pp. 62-66.
2. X. Huang Real-time algorithm for acoustic imaging with a microphone array // The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 125, no. 5.- 2009.- pp 150-155.
3. Рыбаков Е.А., Стариков Д.П., Громаков Е.И., Акустическая камера для проведения экспресс-диагностики насосных агрегатов и компрессорных станций // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов II Международной конференции, Томск, 19-22 Мая 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 61-63.