

АКУСТИЧЕСКАЯ КАМЕРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Е.А. Рыбаков, Д.П. Стариков

evgrybakov@gmail.com

Научные руководители: Малышенко А.М., д.т.н., профессор, ТПУ;

Зебзеев А.Г., ведущий инженер, ОАО «ТомскНИПИнефть»

Введение

Насосные агрегаты на нефтеперекачивающих станциях находятся в работе фактически без останковки, в силу чего к ним предъявляются жесткие требования по эксплуатационной готовности, т. к. бесперебойная работа является важнейшим требованием, предъявляемым к оборудованию нефтегазотранспорта. Существующая технология предусматривает при поломке насосного агрегата включение резервного, в результате чего предприятие не несет потерь, связанных с остановом технологического процесса. При этом возникает задача выявления дефектов в неисправном оборудовании. Значительный разбор насоса с последующим выявлением неисправностей является дорогостоящим мероприятием в силу сложности оборудования, его размеров и веса.

Типовым решением ранней диагностики и сигнализации развития неисправности насосных агрегатов является регулярный мониторинг их состояния с использованием датчиков вибрации кор-пусных деталей и осевого смещения вала насоса. Однако показания этих приборов в реальных условиях эксплуатации характеризуют уже значительное развитие неисправности, и в случае с насосным агрегатом восстановление его работоспособности может привести к существенным финансовым и временным затратам.

Другой задачей, связанной с повышением эффективности технического обслуживания и ремонта, является точная локализация неисправного узла или поломки. Превышение допустимого уровня вибрации говорит о наличии неисправности, но для локализации причины необходимо полностью демонтировать и разобрать оборудование. Отсюда вытекает основная задача – это обнаружение и точная локализация неисправности на ранней стадии до этапа её активного проявления.

Описание и принцип работы акустической камеры

Для решения поставленных задач авторами разработан программно-аппаратный комплекс – «акустическая камера». Он представляет собой камеру, по контуру которой расположены чувствительные элементы (микрофоны). Схема установки имеет следующий вид (рис. 1).

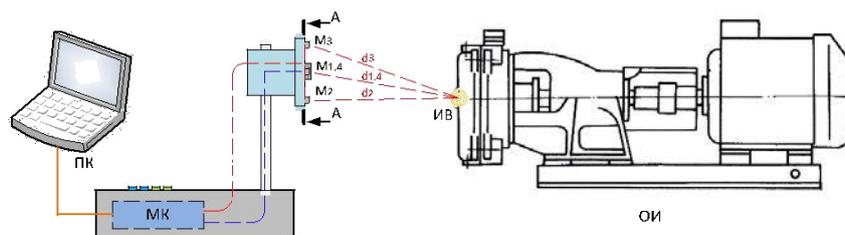


Рисунок 1. Схема акустической камеры: ПК – персональный компьютер; МК – микроконтроллер; ОИ – объект исследования (насосный агрегат); ИВ – источник вибрации; M_{1-4} – микрофоны; d_{1-4} – расстояния до источника вибрации

Акустическая камера (АК) направляется на геометрически сложный, массивный объект, каким является насосный агрегат (рис. 1). Звуковая волна до каждого из микрофонов доходит за разное время, что обусловлено разными расстояниями от источника вибрации (ИВ) до каждого из чувствительных элементов. Каждый из четырех микрофонов фиксирует одновременно поступающие звуковые волны и при резком изменении частоты, не соответствующих технологическому процессу (стук, треск и т. п.), акустическая камера фиксирует это и рассчитывает точное расположение в плоскости «некорректного» звука путем наложения вычисленных координат на изображение, полученное с камеры, с учетом расстояний от источника вибрации до микрофонов [1].

Расчет производится с использованием уравнений окружности с центрами в месте расположения микрофонов, где единственная неизвестная переменная z – интервал времени прохождения звуковой волны от источника шума до ближайшего микрофона (определяет первый радиус d_1), рис. 2.

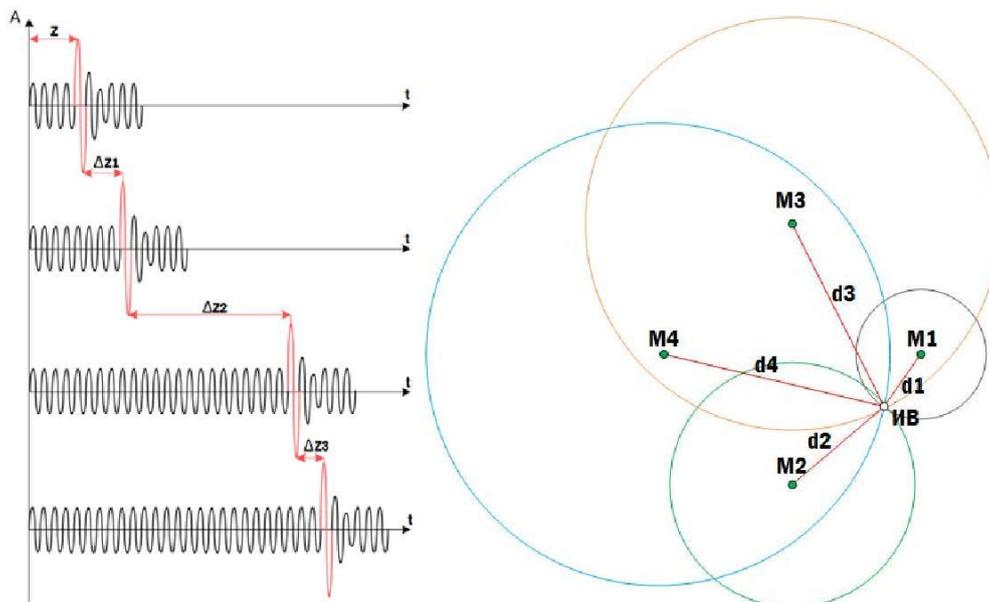


Рисунок 2. Расчет локализации неисправности

Затем из системы уравнений определяется интервал времени z , после чего из каждого центра строится окружность, и находится общая точка пересечения с координатами области, которая характеризуется «некорректным» звуком [2].

Микроконтроллер обрабатывает сигналы с аналоговых датчиков (микрофонов), преобразует их в цифровой вид и передает массивы данных на персональный компьютер, где производятся все вышеописанные расчеты. Калибровка микрофонов производится встроенными в систему потенциометрами, путем формирования эталонного звука.

Разработанное программное обеспечение, названное авторами «A-cam», автоматически на основе анализа входных массивов создает на видеокadre вероятностный градиент (область) локализации данного «некорректного» звука (по результатам расчета уравнений) и масштабирует результат под формат окна камеры (рис. 3) [3].

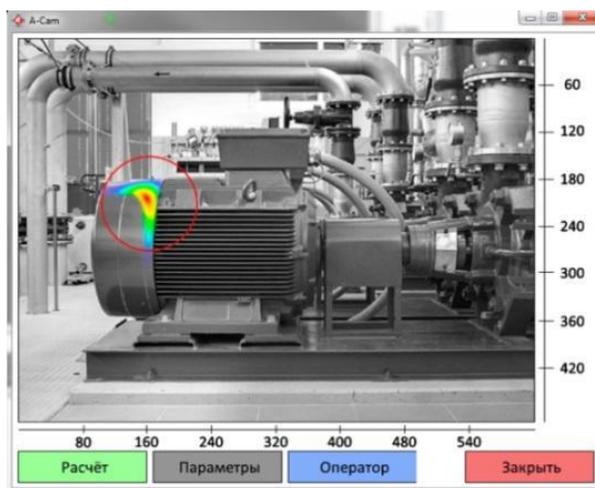


Рисунок 3. Окно наблюдения состояния контролируемого агрегата

Программное обеспечение «A-cam» позволяет оператору просматривать исторические тренды, на которых изображаются графики эксплуатационного шума насосной станции с возможностью вы-

деления его параметров для точной локализации источника вибрации. «A-cam» автоматически выделяет цветом моменты времени на временной оси, в которые был замечен подозрительный шум.

Устройство непосредственно выполнено в двух вариантах (рис. 4):

мобильное с возможностью переноса его на любой объект и подключения непосредственно к ноутбуку; стационарное, как канал сигнализации в АСУ ТП насосной станции.

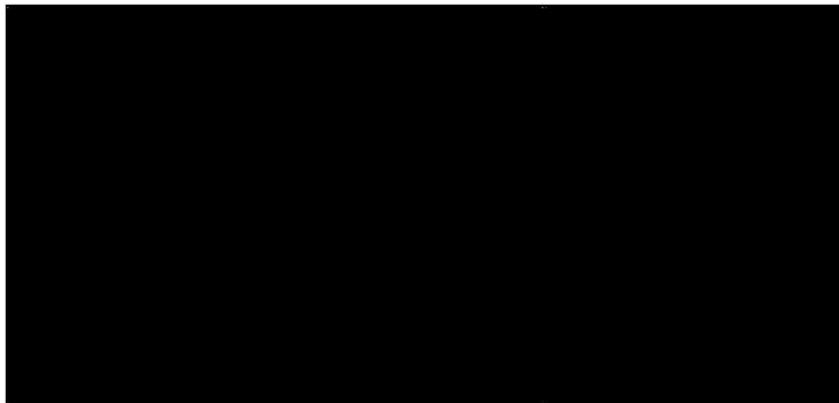


Рисунок 4. Внешний вид прототипа (слева – встраиваемое решение, справа – мобильное)

Акустическая камера имеет возможность фокусироваться на конкретном агрегате и позволяет исследовать его в зоне наблюдения, которая представляет из себя конус с углом обзора 90° . Данный угол можно изменять за счет изменения расположения микрофонов относительно друг друга. Посторонние звуки, источники которых находятся вне зоны наблюдения, устройством ослабляются до незначительного уровня. Созданный прототип способен фильтровать частоты, т.е. при наличии двух и более источников звука, попадающих в зону наблюдения, акустическая камера способна выбирать конкретный источник вибрации, представляющий интерес для диагностики агрегата.

Мобильное решение (рис. 4) создано специально для проведения экспресс-диагностики. Разработанное устройство является инструментом для оператора, обслуживающего насосный агрегат. Исследование агрегата производится в течение 40 секунд. После чего данные передаются по беспроводному интерфейсу на персональный компьютер, где в «A-cam» производится расчет областей «не-корректных шумов» и строятся выходные видеокadres.

Заключение

Достоинства предложенного авторами комплекса выражаются в экономическом и технологическом эффектах. Основным экономическим эффектом является уменьшение затрат на ремонт оборудования за счет увеличения срока службы агрегата. Основными технологическими преимуществами являются диагностика неисправностей на ранней стадии, за счет анализа программной системой трендов эксплуатационного шума агрегата и точная локализация выявленной неисправности в визуальной плоскости насосного агрегата, перпендикулярно которой направлена акустическая камера. Кроме того, гибкость настройки программно-аппаратного комплекса «акустическая камера» под эксплуатационные и конструктивные особенности оборудования обеспечивает простоту интеграции в действующие на предприятии информационные системы управления производством.

К общим достоинствам разработанного программно-аппаратного комплекса следует отнести также:

- возможность предупреждения аварийных ситуаций;
- регулярность диспетчерского контроля состояния агрегата; мобильность при использовании;
- раннее предупреждение аварийных ситуаций.

Разработанная акустическая камера может использоваться не только в нефтегазовой отрасли, но и на любом производстве, где необходим регулярный контроль состояния оборудования, а именно в химической промышленности, энергетике и пр. При дальнейшей доработке экспертной системы, заложенной в программном обеспечении и внесении некоторых изменений в конструкцию устройства, появляется возможность перенастроить акустическую камеру под диагностику различного оборудования, например, двигателей внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Рыбаков Е.А. Акустическая камера для проведения экспресс-диагностики насосных агрегатов и компрессорных станций / Е.А. Рыбаков, Д.П. Стариков, Е.И. Громаков // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов II Ме-ждународной конференции, Томск, 19-22 Мая 2015. – Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 2. – С. 61–63.
2. Rybakov E.A., Starikov D.P., Berchuk D.Y. Ultrasonic detection apparatus for scanning 3D objects // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 738–739.
3. 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.