

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ КЛАПАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ¹

Роберт Гринлис, Стэн Хэйл (Score Atlanta Inc.)

Описан опыт атомной промышленности США по применению on-line систем мониторинга клапанов. Представлена инновационная портативная система обнаружения протечек в клапане «Мидас Метер», принцип работы которой основан на использовании акустической эмиссии. Приведены примеры практического использования системы.

Ключевые слова: on-line система мониторинга, клапан, портативное устройство, акустическая эмиссия, обнаружение протечек.

Введение

Цель статьи — осветить опыт эксплуатации атомных электростанций в США, применяющих технологии обнаружения утечек с использованием высокочастотного диапазона акустической эмиссии (АЭ) для:

- обнаружения утечек по границам локального теста на протечки;
- идентификации внутренней утечки клапана;
- ограничения влияния человеческого фактора при определении протечки;
- ограничения превышения сроков остановов предприятия;
- оптимизации и определении приоритетов работы в ходе останова;
- исключения избыточных работ при плановых ремонтах;
- расширения имеющихся методов неразрушающего контроля;
- исключения аварийных ситуаций вызванных некорректным обслуживанием.

Ниже приведем несколько примеров, где технология АЭ была успешно использована для принятия разумных решений, связанных с ремонтом клапанов на атомных электростанциях, в том числе с существенной экономией времени, необходимого персонала и общей стоимости ремонтов.

Хотя использование акустического или ультразвукового оборудования в качестве инструмента обнаружения протечек в затворах клапанов не является

новаторским, система акустико-эмиссионного мониторинга, обсуждаемая в этой статье, была специально разработана для раннего обнаружения протечек в закрытом клапане. Использование уникальной конструкции сенсора АЭ и связанной с ним электроники помогли реализовать новый подход к использованию ультразвуковой диагностики на предприятиях, так как на его работу не влияют фоновые шумы, которые исторически усложняли применение существующих акустических или ультразвуковых инструментов общего назначения для обнаружения утечки через затвор клапана. В результате даже молодому специалисту стало намного легче идентифицировать герметичный клапан в шумной рабочей среде установки. Это оборудование было разработано британской компанией в результате опыта работы с основными потребителями нефти и газа по всему миру, где обнаружение утечки через клапан в системах, содержащих взрывоопасные углеводородные продукты, является важной проблемой безопасности.

Технология использования АЭ в диагностике состояния запорной арматуры разработана Score Group PLC (Шотландия). Это крупнейшая в мире независимая компания по обслуживанию клапанов. Ремонт и обслуживание производится на 30 площадках с полутора тысячным штатом профессионалов, круглосуточно обслуживающих запорную арматуру во всем мире. Накопленный глобальный опыт привел к развитию нескольких уникальных решений

для запорной арматуры, которые послужили поводом для развития технологии АЭ для повышения безопасности в ядерной промышленности.

«Скор Атланта» — дочерняя компания Score Group PLC в США изначально создавалась для поддержки проектов по постоянному мониторингу клапанов противоаварийной защиты (ПАЗ) V-MAR™. Данная система предназначена для on-line мониторинга состояния клапана ПАЗ в круглосуточном режиме.

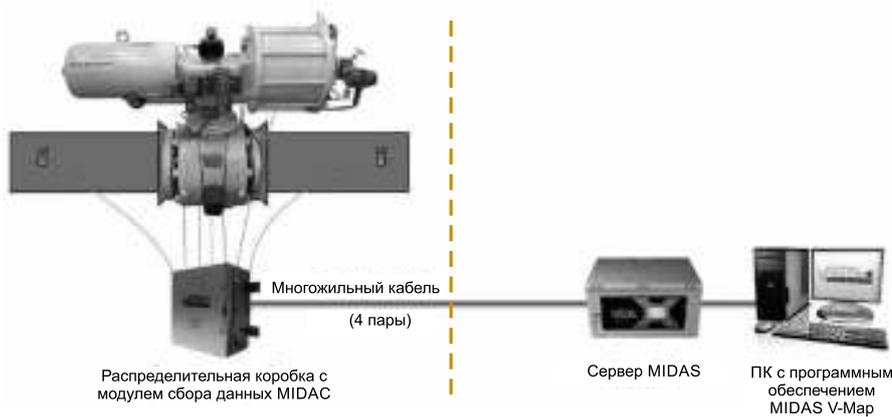


Рис. 1. Стандартная схема on-line контроля

¹ Статья подготовлена по материалам доклада Greenlees R., Hale S. Optimizing valve maintenance and testing utilizing acoustic emissions (AE) technology // Труды международной конференции инженеров атомной промышленности ICON20, Анахайм, Калифорния, США.

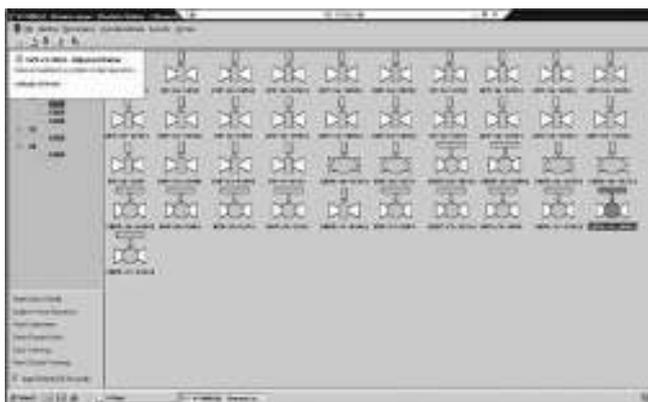


Рис. 2. Интерфейс пользователя системы on-line мониторинга

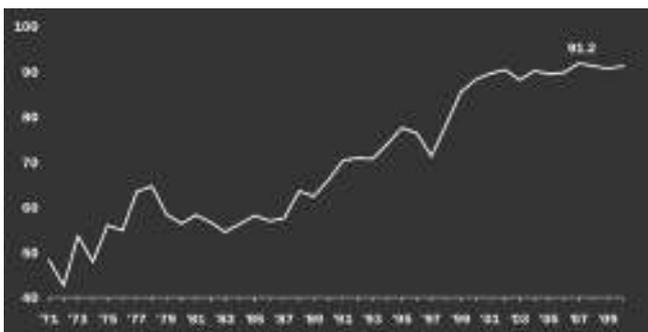


Рис. 3 Коэффициенты производительности атомных станций 1971-2010 гг.

Система V-MAR™ позволяет получать реальную картину состояния клапана, оценивать скорость износа уплотнений и определять приоритетные позиции для ремонта и обслуживания. Подразделение также обеспечивает услуги круглосуточной поддержки, которая помогает заказчикам с интерпретацией результатов, формированием планов обслуживания для устранения неполадок, а также производит обслуживание, требующееся для поддержания работоспособности системы постоянного мониторинга состояния клапанов. Данная система контроля состояния клапанов сейчас используется в Северном море на морских нефтяных и газовых платформах, Канадских битумных песках Альберты и на морских платформах в Мексиканском заливе США.

Системы ПАЗ атомной промышленности, находящиеся под контролем on-line мониторинговой системы, помимо датчиков обнаружения протечки в клапане, когда он закрыт и система под давлением, также включают датчики и электронные схемы обработки сигналов для проверки работы привода и навесного оборудования [1]. На рис. 1 показана стандартная схема расположения датчиков на клапане при on-line мониторинге.

На рис. 2 показан интерфейс пользователя системы on-line мониторинга, который помогает быстро оценить состояние проверяемого клапана. Данная контрольная панель показывает состояния 41 критичного клапана в Северном море на газодобывающем заводе в Западной Норвегии. Ярлычки клапанов

на контрольной панели меняют цвет, если один из заданных параметров (крутящего момента, продолжительность цикла или протечка клапана) выходит за рамки установленных лимитов.

Отметим, что обсуждаемая on-line система мониторинга отличается по функциональности от уже существующих систем мониторинга клапанов на атомных станциях США. Тем не менее, идеальные параметры и допустимые отклонения устанавливаются во время нормальной работы клапана, чтобы избежать некорректного анализа показателей датчиков.

Преимущества тщательной проверки клапанов и программ контроля состояния, применяемых атомными станциями с конца 80-х годов XX века (Циркуляр № 85-03, Безопасное испытание клапанов с электроприводом и надзор [2]) были довольно очевидны по отношению к безопасной эксплуатации оборудования. Столь же очевидна важность обновления этих программ в начале 90-х годов (Циркуляр № 89-10, Безопасное испытание клапанов с электроприводом и надзор [4]).

Продуктивность, точное исполнение графика отключений и увеличение топливных циклов атомных электростанций играли ключевую роль в росте производительности атомных станций за более чем 30 лет. Также мы считаем, что уменьшение числа сбоев в работе систем по причине выхода из строя клапанов с электрическими и пневматическими приводами, сыграли очень важную роль. Улучшились и коэффициенты мощности (производительности) атомных станций с <50% в 1971 г. на >90% на сегодняшний день (рис. 3). Нефтегазовая промышленность стремилась получить такое же состояние надежности и безопасности клапанов как в атомной отрасли, однако столкнулась с трудностями, связанными с реальным состоянием запорной арматуры.

Оглядываясь назад, вполне вероятно, что если бы они поменялись ролями, и атомная промышленность наблюдала бы за борьбой нефтегазовой отрасли с отказами клапанов и реализацией программ испытаний, то ядерный подход был бы совсем другим, чем нынешняя модель. С обязанностью периодически проверять работоспособность клапана ПАЗ на протяжении всего срока службы установки [3], on-line диагностика вместо тестирования на клапане была бы широко принята и являлась предпочтительным будущим подходом для установок следующего поколения.

В связи с этим имеется широкое поле для использования портативных диагностических систем и портативных систем обнаружения протечек в клапане. Технология обнаружения протечки, основанная на АЭ, в частности, может применяться на любых типах клапанов в период до останова и после технического обслуживания клапанов. Изучая потребности своих клиентов, компания «Скор Атланта» выпустила инновационное устройство для клапанов — «Мидас Метер». Этот инструмент быстро стал важной частью оборудования для мониторинга и поиска неисправностей на различных атомных электростанциях США.

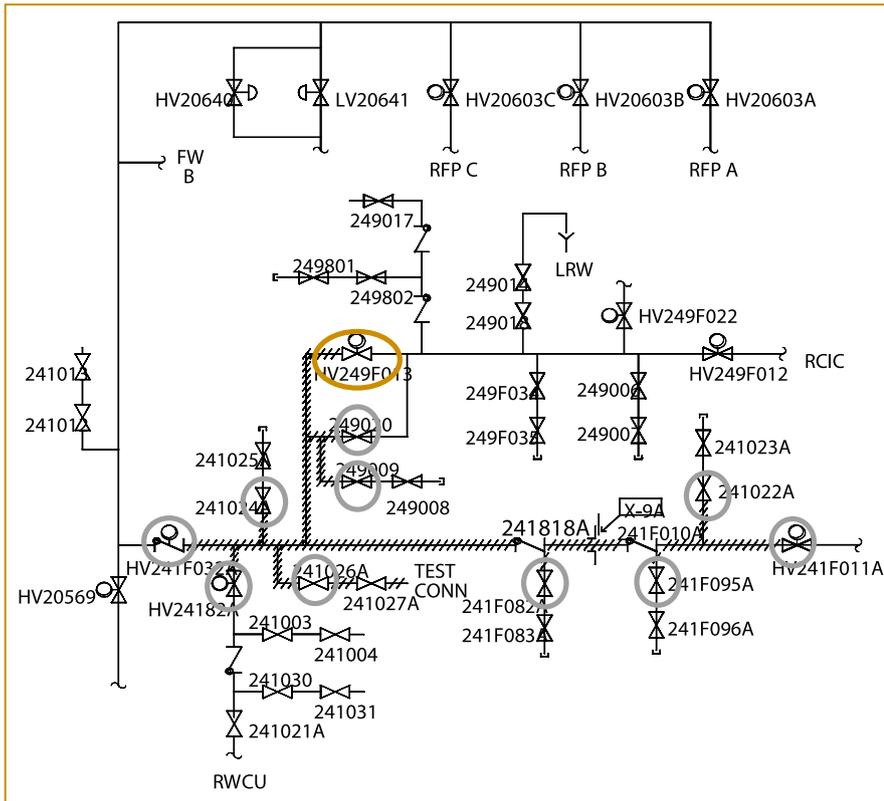


Рис. 4. Участок трубопровода при локальном гидроиспытании на скорость утечек

Стандартная практика определения герметичности уплотнений клапанов — проведение локального гидроиспытания участка трубопровода. Наличие и скорость падения давления в локальном участке определяет отсутствие или наличие негерметичной арматуры. Отсечные клапаны, обеспечивающие данную процедуру теста, не могут быть проверены заранее, что приводит к существенному увеличению объема работ и может повлечь увеличение сроков останова. Этот нюанс проведения локальных испытаний на одной из атомных электростанций будет рассмотрен далее.

О предпосылках создания устройства «Мидас Метер»

Инженеры компании проводят испытания на герметичность до, во время и после отключения заправки трубопровода сжатым воздухом для проверки герметичности участка. Это часто связано с корректным определением границ испытания, когда операторы управляют клапанами на линии до проверки конфигурации, а затем на этой границе подают давление примерно 40 psig (0,28 МПа), используя специально изготовленный и откалиброванный расходомер, способный точно контролировать расход воздуха и падение давления, которые могут возникнуть, если в данной границе есть протечка. Пример типичной конфигурации испытаний на скорость утечек в клапане показан на рис. 4. Здесь пунктирными линиями указаны границы испытаний на скорость утечек для 11 клапанов.

Если гидроиспытания локального участка трубопровода не обеспечивают требуемого давления

на границе, сервисная компания должна выполнить план устранения неполадок и остановить утечки. Для проверки утечки воздуха в клапане применяют различные РТИ — используют резиновую перчатку, камеру мяча или пластиковый пакет, чтобы проверить заполнится ли он воздухом, открытие вентиляционных отверстий или дренажных кранов, чтобы исключить этот конкретный клапан в качестве источника утечки. Процесс может занимать от часа до нескольких дней и повторяться до тех пор, пока все пути утечки не будут найдены и исправлены. Соответственно это может быть чрезвычайно напряженным и дорогим процессом, когда протечка в клапане не может быть установлена быстро.

На рис. 4 регулирующий клапан сверху схемы трубопроводов, обведенный красным, был быстро определен как протекающий при использовании «Мидас Метра». Соответственно именно этот единственный клапан тре-

бовал технического обслуживания, и после устранения неисправности гидравлический тест на скорость утечки прошел успешно.

В прошлом выявление источника протечки при испытаниях на скорость локальных утечек (рис. 4) представляло собой сложную задачу, и часто для устранения неполадок использовались течеискатели общего назначения. Этот инструмент для АЭ общего назначения часто оказывается неэффективным, так как «слышит» слишком мало или слишком много, и информация, предоставленная устройством, неубедительна. Таким образом, обнаружение небольших протечек в системах с низким давлением с помощью этих инструментов всегда было делом нелегким.

Проблема с любым акустическим инструментом общего назначения заключается в том, что хотя он может выполнять многие задачи адекватно, это не лучший инструмент для какой-либо конкретной задачи. Очевидно, что чем более универсальный инструмент, тем менее специализированным он будет, и как таковой может предоставить вводящую в заблуждение

Табл. 1. Пределы общей частоты

Частота вращения оборудования	<1 кГц
Диапазон восприятия звука у человека	До 20 кГц
Диапазон восприятия звука у собаки	До 60 кГц
Диапазон при протечке клапана	60...600 кГц

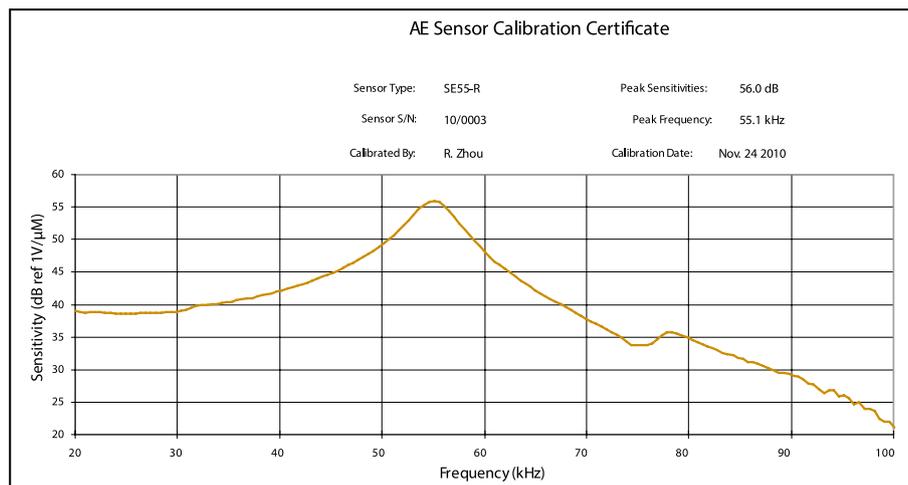


Рис. 5. Сертификат сенсора SE 55-R

информацию. Для иллюстрации этого важно понять ожидаемый диапазон частот утечки клапана по сравнению с другими уровнями восприятия шума (табл. 1).

При утечке через клапан турбулентность, создаваемая утечкой, вызывает импульс давления в среде системы на стороне ниже потока клапана. Изменения давления распространяются через твердое тело упругими волнами, известными как АЭ. Источники АЭ могут быть обнаружены на внешней поверхности с помощью специально разработанных датчиков. Компания “Скор Атланта” производит множество различных датчиков АЭ в широком диапазоне целей, включая обнаружение протечки в клапане. Например, типичная калибровочная кривая для сенсора SE 55-R показана на рис. 5. Обратите внимание, что максимальная чувствительность составляет 55 кГц, поэтому этот датчик разработан для клиента, который особенно обеспокоен тем, что происходит в диапазоне 50...60 кГц.

Большинство акустических или ультразвуковых устройств общего назначения охватывают диапа-

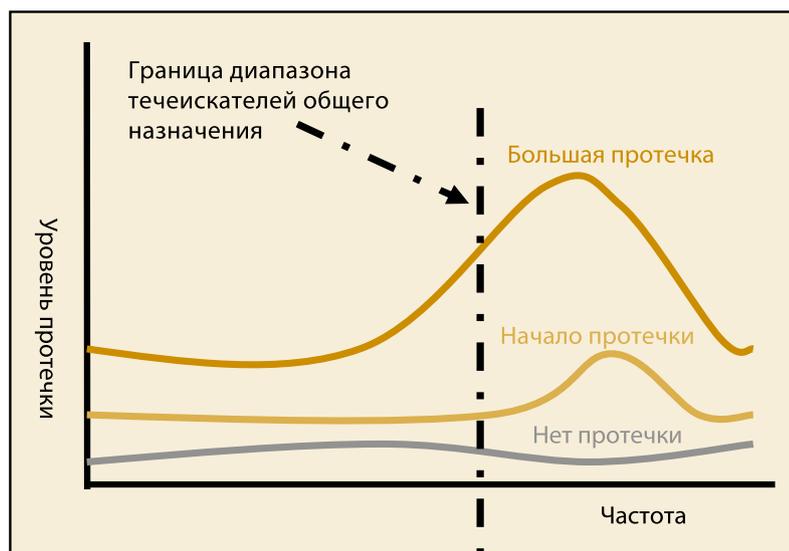


Рис. 6. Картина шумов

зон частот, которые сделают инструмент максимально универсальным. Простой ручной прибор можно использовать для определения низкочастотного шума в изношенных подшипниках и т. д., но если это же устройство обнаруживает низкочастотный шум насоса или несущей, а также более высокую частотную турбулентность, связанную с утечкой, то оператор обязательно будет пытаться определить источник шума как утечку или фоновые помехи.

После нескольких лет исследований компания “Скор Атланта” разработала широкополосный датчик, предназначенный

исключительно для обнаружения утечки через клапан, который не только работает на частоте, которая выходит за пределы любого устройства общего назначения, но также предназначена для игнорирования чего-либо ниже диапазона 60 кГц. Это снимает значительную часть субъективности, когда дело доходит до оценки шумов. Если это низкочастотный фоновый шум, датчик измерителя просто не реагирует на него.

Из рис. 6 видно, что точка отсечения для инструментов общего назначения (представленная пунктирной линией) такова, что для раннего обнаружения небольших утечек на более высоких частотах (показано оранжевым), инструмент общего назначения ничего не услышит. Чтобы идентифицировать эту утечку, необходимо отслеживать частоты за пределами (справа от) пунктирной линии.

Как только утечка увеличится по величине до точки, где основание большой утечки (показано красным) расположено слева от пунктирной линии, тогда

инструмент общего назначения начнет ее обнаруживать. На этом этапе утечка будет расти по размеру до точки, где он протекает, и его можно легко подхватить другими методами контроля жидкости, такими как расходомеры, регуляторы уровня и т. д.

Еще одна проблема с универсальностью инструмента общего назначения заключается в том, что он также подбирает все другие вибрации ниже фактической частоты утечки. При обсуждении новых технологий с пользователями акустических инструментов общего назначения становится очевидна разница между оборудованием общего назначения и специально разработанным оборудованием. В общении с эксплуатирующими службами выяснилось, что к моменту достоверного обнаружения протечки клапанов, клапан уже имеет механические повреж-

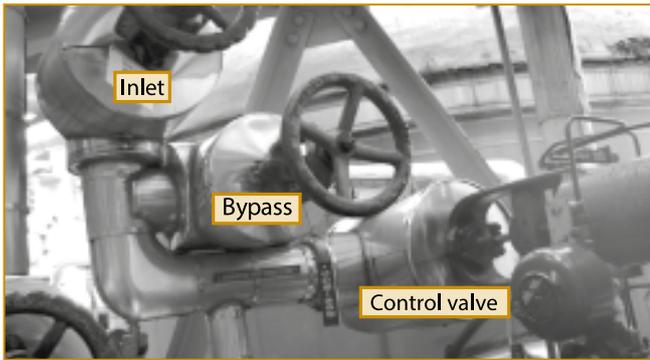


Рис. 7. Запорный клапан, проходной клапан/байпас, регулирующий клапан

дения, что потребует серьезного ремонта или замены.

Предлагаемый инструмент представляет собой комплект портативной, автономной, искробезопасной, мониторинговой системы и программного обеспечения для преобразования необработанного сигнала АЭ в реальном времени на цифровой дисплей (в децибелах — дБ). Операторы просто берут измерительный прибор, прикладывают к целевому клапану (используя силиконовый гель) и наблюдают за показаниями. Если уровень шума на клапане не отличается от фонового шума, он, скорее всего, не течет. Когда уровень дБ поднимается выше фона, необходимо определить, поступает ли он от этого клапана или из другого источника. Получая дополнительные показания сверху и снизу по потоку, операторы могут обнаружить, что шум исходит от клапана или от другого оборудования.

В системе обнаружения утечек присутствуют другие элементы, в том числе ручной персональный цифровой помощник, который подключается через Bluetooth к «Мидас Метру» для регистрации данных; он также имеет собственное программное обеспечение, использующееся для предоставления количественной оценки утечки, которая становится неоценимой, если оценить ее размер. Это полезно для определения приоритетности работы путем сравнения работающих исправно клапанов с возможно текущими. Следует отметить, что оценка утечки никоим образом не считается причиной, из-за которой атомная электростанция будет останавливать свою работу. Тем не менее, это будет иметь значение, например, для оценки объемов утечки пара и преобразования их в денежный эквивалент для определения экономической эффективности технического обслуживания клапанов.

Первые пользователи «Мидас Метер» на атомных станциях быстро оценили преимущества возможности обнаружения утечки во время работы локального теста, теста после обслуживания и т. д. Рассмотрим два практических примера.

Пример из практики № 1

В первом примере рассматривается тест атмосферного контроля ядерного реактора кипящего типа

Mark 1. Инженер на этом заводе также выполняет функции по лицензированию продления срока службы производства.

Ответственный инженер подозревал, что возникнет проблема с границей испытания пяти клапанов. Целью этого теста является проверка герметичности поворотных дисковых затворов Ду1000, используемых в системе контроля давления атмосферного воздуха. Поскольку речь шла о продлении лицензии, инженер подготовил три заявки для обслуживания трех дисковых затворов. Он был готов к тому, что один из трех дисковых затворов потребует ремонта, а также полного контроля основных деталей (необходимая процедура при продлении срока службы). В разговоре с владельцами относительно данного мероприятия инженер узнал о новом инструменте и успешном опыте его использования.

После аренды прибора «Мидас Метер» и короткого обучения были проведены замеры уровня шума, и стало очевидно, что все три затвора и один из соленоидных клапанов Ду20 имеют одинаковый уровень шума, но второй соленоидный клапан Ду20 позиция V160 имеет уровень шума на 50% выше, чем остальные. Для инженеров данные результаты стали неожиданностью, но это была очень полезная информация, так как соленоиды втекали в общую линию, и было бы невозможно выяснить, в каком из них утечка, используя какой-либо ультразвуковой

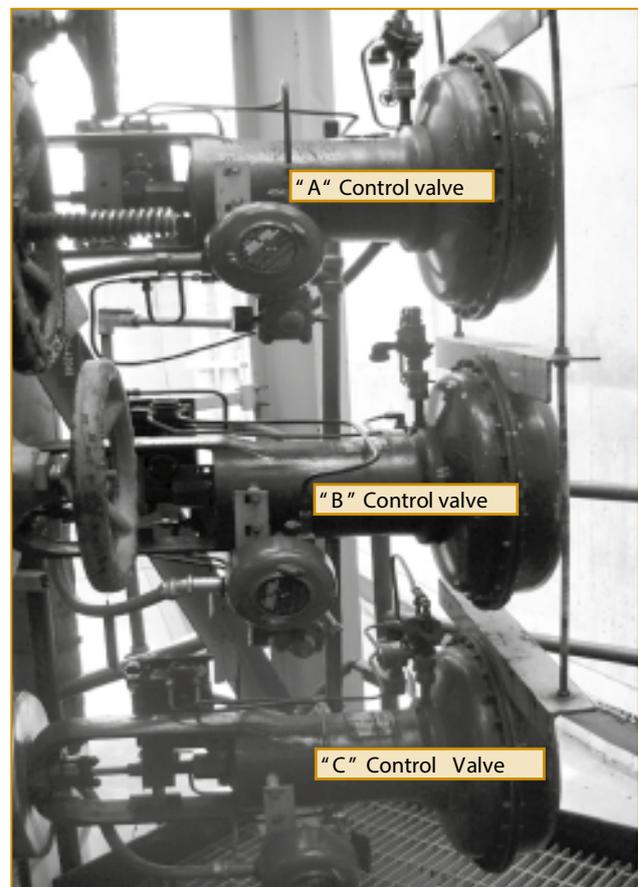


Рис. 8. Близость расположения регулирующих клапанов

течеискатель общего назначения. Снятие выявленного клапана подтвердило разрушение внутренних деталей и существенную протечку в систему. Таким образом, применение прибора существенно сократило трудозатраты и объем ремонта.

После визуального осмотра поворотных затворов было установлено, что состояние уплотнений в норме, признаков протечки не было выявлено.

В результате служба эксплуатации смогла точно выявить протечку в одном соленоидном клапане Ду20, сэкономить время и деньги, не потребовавшиеся на ремонт поворотных затворов Ду1000. По завершении данного эпизода у ответственного инженера не было никаких проблем с получением разрешения на покупку двух приборов «Мидас Метер» на предприятие.

Пример из практики № 2

Второй пример демонстрирует успешное применение «Мидас Метер» в шумной системе горячего пара и помогает продемонстрировать ценность прибора в программе поддержки производительности и оптимизации паровой установки.

Предприятие обратилось к представительству после попытки определить протечку в системе парогенератора. Данная часть системы представляла собой линии продувки парогенератора № 99 А, В и С. Каждая из этих линий включает запорный клапан, регулирующий клапан и запорный клапан на байпасе регулирующего, далее пар сбрасывается в расширитель парогенератора.

Основная проблема заключалась в высокой турбулентности и фоновом шуме, вызванных регулирующими клапанами, которые обычно редуцируют расход примерно на 20%. Этот фоновый шум сделал поиск и устранение неисправностей с помощью инструментов общего назначения практически невозможным. В отчете по плану устранения неполадок говорится, что «на всех трех линиях слишком много шума, чтобы четко идентифицировать какие-либо различия», что было весьма предсказуемо, учитывая близкое расположение клапанов друг к другу (рис. 7) и диапазон частот, с которым работает ультразвуковой течеискатель общего назначения.

Служба эксплуатации также попыталась использовать термографию для обнаружения утечки, но и тепловизор не внес ясности в вопрос из-за непосредственной близости клапанов. В отчете по плану устранения неполадок указано, что «нет заметных разностей температур в линиях А, В или С».

Таблица 2. Показания теста АЭ

Закрытый клапан	Показания ММ (Дб)
4204А	60
4204В	84
4204С	57
66А	53
66В	84
66С	56

Было решено получить данные с помощью «Мидас Метер», чтобы проверить, насколько хорошо инструмент может отфильтровывать посторонний шум и предоставить те данные, которые были бы достаточны для принятия решение о техническом обслуживании. Изоляция была удалена с каждого клапана, сделаны

замеры, результаты приведены в табл. 2.

Хотя все замеры показали очень высокий уровень шума, результаты на линии 66В были примерно на 20...30% выше, чем на двух других ветвях. При всей турбулентности, высоком фоновом шуме и вибрации, а также в непосредственной близости от герметичных клапанов неудивительно, что течеискатель общего назначения уловил слишком много шума, чтобы четко определить различия. В этом случае утечка была достаточно велика, чтобы инструмент общего назначения установил ее, однако все другие помехи, возникающие ниже диапазона 60 кГц, маскировали истинный источник утечки.

Заключение

Многие продукты, доступные промышленным покупателям энергетической отрасли, не могут попасть на рынок ядерной энергетики по многим причинам. В связи с этим широкое внедрение технологии «Мидас Метер» в атомной энергетике США и Канаде за очень короткий период времени говорит о выдающихся характеристиках и функциональности данной системы. «Мидас Метер» высоко зарекомендовал себя в качестве инструмента обнаружения протечек. Кроме того, прибор прост в освоении, оператору требуется очень короткий курс обучения. При этом «Мидас Метер» соответствует самым высоким стандартам в области защиты операторов от излучений, поэтому не имеет ограничений по применению на АЭС и иных опасных производственных объектах.

Список литературы

1. Appendix J to Part 50—Primary Reactor Containment Leakage Testing for Water-Cooled Power Reactors <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part050/part050-appj.html>
2. IEN 85-03. Motor-Operated valve common mode failures during plant transients due to improper switch settings. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/bulletins/1985/bl85003.html>
3. GL 96-05. Periodic Verification of Design-Basis Capability of Safety-Related Power-Operated Valves. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/gen-letters/1996/gl96005.html>
4. GL 89-10. Safety Related Motor Operated valve testing and surveillance (Generic letter No. 89-10) - 10 CFR 50.54(f). <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/gen-letters/1989/gl89010.html>

Роберт Гринлис, Стэн Хэйл — инженеры Score Atlanta Inc.

Партнером и официальным представителем компании Score Group в России является

АО «Энергомаш» (г. Великий Новгород).

Контактный телефон АО «Энергомаш» 8 (8162) 500-610.

[Http://www.aoenm.ru](http://www.aoenm.ru)