

## Практика

*Практические действия по выполнению акустико-эмиссионного исследования на объекте*

### Введение

Первое замечание, которое необходимо сделать, касается руководящих документов для проведения АЭ исследований. При проведении акустико-эмиссионного исследования любых промышленных объектов необходимо использовать те руководящие документы по акустической эмиссии, которые приняты и утверждены уполномоченными для этих целей государственными структурами в вашей стране. В Российской Федерации можно опираться на выпускаемые официальным издателем нормативных документов Госгортехнадзора ГУП НТЦ "Промышленная безопасность" официальные издания сборников документов по методу акустической эмиссии из серии "Система неразрушающего контроля". Многие страны ориентируются не только на собственные официальные документы по акустической эмиссии, но и на документы ASME (American Society of mechanical engineers) из серии "Nondestructive examination".

В данном документе будет кратко описана практическая часть действий оператора по АЭ исследованию промышленных объектов. Материалы из документа не претендуют на полное описание действий оператора во всех возможных ситуациях. Нашей целью является описание типовых действий оператора в условиях выезда бригады специалистов на заранее неизвестный объект для АЭ контроля. Необходимо отметить, что действия бригады по АЭ контролю в стационарных условиях предприятия будут отличаться только нюансами, связанными с тем, что выездная бригада обычно не имеет возможности повторить выезд на контролируемый объект.

## Общий порядок проведения исследования

Целью акустико-эмиссионного исследования объекта является определение наличия собственных источников звука в материале контролируемого объекта, возникающих при нагружении данного объекта. Далее в тексте нагружку объекта будет трактовать как нагружение объекта давлением. Идеология действий оператора при нагружении объекта другими способами будет аналогичной. Что практически необходимо сделать для того, чтобы определить источники звука в объекте? Можно предложить следующий порядок действий:

1. Провести подготовку к эксперименту: подготовится к подаче давления, расставить датчики, настроить аппаратуру и прочее.
2. Записать в файлы данных импульсы, зарегистрированные на объекте при нулевом (т.е. атмосферном) давлении в течение как минимум 20 минут.
3. Осуществить подъем давления до  $0.5 \cdot P(r)$ . Где  $P(r)$  - рабочее давление. По возможности записать в файлы данных импульсы, зарегистрированные на объекте во время подъема давления
4. Осуществить выдержку давления  $0.5 \cdot P(r)$  в течение как минимум 20 минут. При выдержке обязательно вести запись импульсов в файлы.
5. Осуществить подъем давления до  $0.75 \cdot P(r)$ . По возможности записать в файлы данных импульсы, зарегистрированные на объекте во время подъема давления.
6. Осуществить выдержку давления  $0.75 \cdot P(r)$  в течение как минимум 20 минут. При выдержке обязательно вести запись импульсов в файлы.
7. Осуществить подъем давления до  $1.0 \cdot P(r)$ . По возможности записать в файлы данных импульсы, зарегистрированные на объекте во время подъема давления.
8. Осуществить выдержку давления  $1.0 \cdot P(r)$  в течение как минимум 20 минут. При выдержке обязательно вести запись импульсов в файлы.
9. Осуществить подъем давления до  $1.25 \cdot P(r)$ . Давление  $1.25 \cdot P(r)$  может быть заменено на  $1.10 \cdot P(r)$ , но при условии увеличении времени выдержки как минимум до 30-40 минут. По возможности записать в файлы данных импульсы, зарегистрированные на объекте во время подъема давления.
10. Осуществить выдержку давления  $1.25 \cdot P(r)$  в течение как минимум 20-30 минут. При выдержке обязательно вести запись импульсов в файлы.

11. Осуществить как можно более плавный и медленный сброс до атмосферного давления. Сброс желательно осуществлять в течение как минимум 20 минут. При сбросе обязательно вести запись импульсов в файлы. На этом завершается первый этап испытаний.
12. При наличии показаний выполняется второй этап испытаний. Для его проведения необходимо повторить пункты 3-11 еще один раз. Разрешается пропустить промежуточные выдержки давления до достижения 100% от P(r).
13. Провести завершение исследования.

*Комментарии* 1. В термин P(r) - "Рабочим давление" можно вкладывать самые различные смыслы, поскольку существует много разновидностей испытательных давлений для объектов контроля. Для простоты "Рабочим давлением" будем называть то давление, при котором будет разрешено эксплуатировать контролируемый объект по результатам АЭ исследования (конечно, если результаты исследования будут благоприятными для этого). Другими словами, "Рабочее давление" это то давление, для которого пишется отчет. Величина рабочего давления должна быть задана начальником службы эксплуатации объекта. В качестве рабочего давления могут выступать и давление при реальной эксплуатации объекта и заводское испытательное давление и испытательное давление изготовителя и прочие типы давлений по выбору начальника службы эксплуатации объекта.

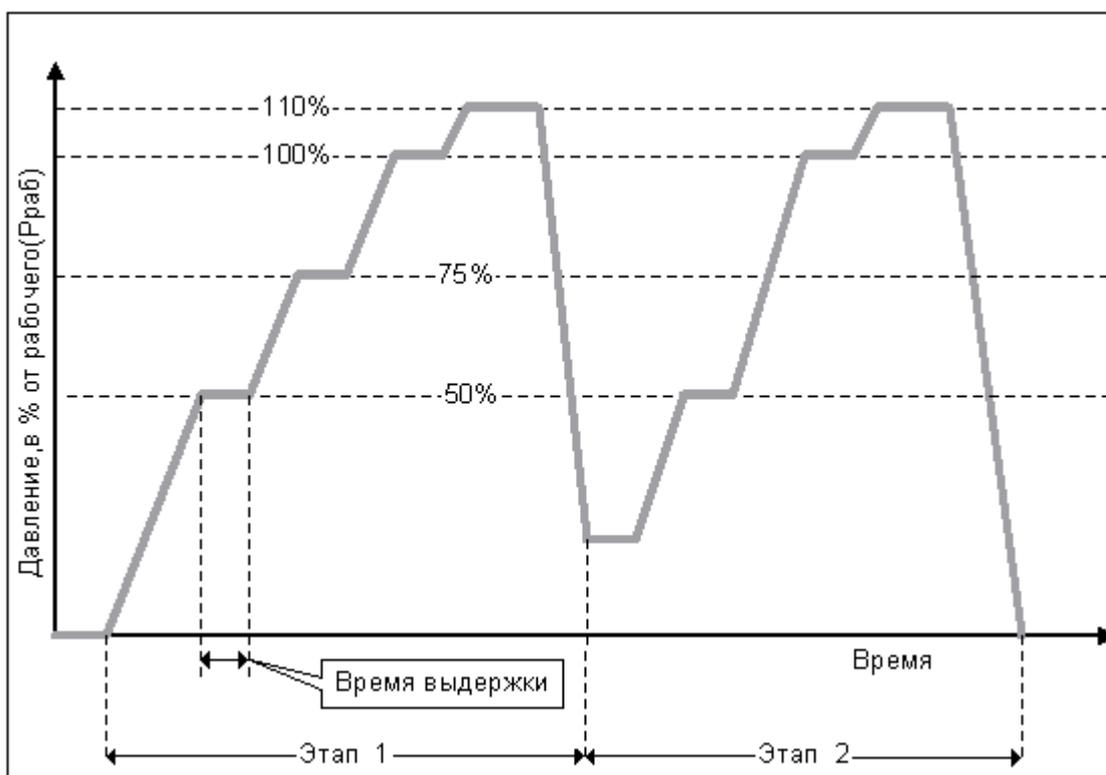


**Внимание!** Принципиально важным является достижение такого давления, которое превышает выбранное службой эксплуатации рабочее давление на 25% (В крайнем случае, на 10% при условии увеличения времени тестирования). Если по каким-либо причинам невозможно достичь заданного превышения давления, то объясните службе эксплуатации объекта, что отчет об исследовании будет написан для расчетного рабочего давления, вычисляемого по формуле:  $P_{\text{расчетное}} = P_{\text{достигнутое}} * 0.9$ . Например, если служба эксплуатации утверждает, что невозможно превысить 20-атмосферное давление, то расчетным давлением (т.е. давлением, при котором разрешается эксплуатировать объект) будет  $20 * 0.9 = 18$ -атмосферное давление. При отсутствии явных признаков необходимости остановки подъема давления во время испытания должно быть достигнуто давление, как минимум превышающее на 10% указанное службой эксплуатации рабочее давление!

*Помните:*

- При каждой дополнительной атмосфере нагрузки могут "открываться" новые источники звука - потенциальные дефекты.
- Можно отчитываться только за такое давление, которое было действительно применено к объекту!

2. График нагружения объекта, описанный словами выше, представлен на следующем рисунке:



3. Оценка времени на проведение исследования производится не на основании суммарного времени выдержек давления, а на основании суммарного времени подъема давления, поскольку чаще всего именно подъем давления является самой длинной фазой исследования. В редких случаях подъем давления по протяженности сопоставим с временами выдержек.

4. Рекомендуется каждый отрезок подъема давления и каждую выдержку давления записывать в отдельный файл данных. Таким способом достигается несколько целей:
  - Данные сохраняются в различные файлы - сбой питания управляющего компьютера или сбой файловой системы не приведут к полной потере данных об исследовании.
  - Данные по "динамике" (т.е. данные, записанные при подъеме давления) разделяются как с данными по "статике" (т.е. данными, записанными в условиях выдержки давления), так и с данными по сбросу давления
  - Разделение данных по файлам, записанным отдельно для "динамики", "статики" и сброса давления дает возможность в постобработке объединить файлы одного типа с целью уменьшения объема обрабатываемого материала.
5. На первом этапе исследования внеплановая остановка подъема давления производится в тот момент времени, когда резко увеличивается количество импульсов, регистрируемое в единицу времени. После проведения остановки давления необходимо попытаться найти внешние причины резкого увеличения скорости регистрации импульсов, для чего следует осмотреть контролируемый объект с целью поиска вновь открывшейся течи в объекте или в его технологической обвязке, поискать другие внешние факторы, приведшие к увеличению скорости регистрации импульсов.
6. При отсутствии обнаружения внешних факторов, приведших к увеличению скорости регистрации импульсов необходимо:
  - Прекратить дальнейшее повышение давления
  - Известить службу эксплуатации объекта о невозможности дальнейшего повышения давления
  - Медленно снизить давление до уровня 25-50% от достигнутого
  - Выполнить второй этап испытаний.
7. Если при проведении второго этапа испытаний при том же самом давлении возникнет та же самая ситуация с резким увеличением скорости регистрации импульсов, то вопрос о предельно возможном давлении эксплуатации уже можно считать решенным - эксплуатационное давление не может превышать давление в точке старта увеличения регистрации импульсов. Из-за эффекта Кайзера общее количество импульсов, регистрируемое на втором этапе, должно весьма сильно уменьшиться, но вид графика "Количество импульсов с накоплением - время испытания" должен остаться неизменным в случае, если резкое изменение скорости регистрации импульсов имело в основе процессы, проходящие в материале объекта.

## Подготовка к проведению работ

*Возможность исследования* Первой задачей, которую должны выполнить АЭ специалисты перед стартом подготовки к исследованию объекта является поиск ответа на вопрос: "Возможно или нет исследование указанного объекта методом акустической эмиссии?". Вопрос не является риторическим, поскольку акустическая эмиссия не является универсальным методом неразрушающего контроля, не является методом-панацеей, работающим всегда и во всех ситуациях. Ответ на данный вопрос будет положительным, в том случае, если будут положительными ответы на все вопросы, указанные ниже:

1. Возможно ли осуществить нагружение объекта, существенное по сравнению с его текущим нагружением? Отметим, что выполнить такое нагружение объекта, которое привело бы в конечном итоге к регистрации АЭ сигналов, представляется не всегда возможным. Типичным примером является работа с открытыми заливными танками, в которых давление на дно и боковые стенки цилиндрической обечайки можно создать только наливом рабочей жидкости до верхней отметки на обечайке. Выполнение условий нагружения для такого объекта возможно только при условии весьма долгой релаксации объекта при отсутствии рабочей жидкости с последующим полным заполнением.
2. Имеется ли необходимое оборудование у заказчика для нагружения объекта?
3. Возможно ли проведение АЭ исследования на данном объекте с точки зрения превышения нижнего порога давления? Поясним: для каждого материала существует некоторый уровень нагрузки (для простоты далее будем говорить "давления"), ниже которого нагружать не имеет смысла, поскольку при столь низком давлении невозможно "заставить" дефекты объекта генерировать звуковые волны. Считается, что для большинства объектов, выполненных из металла, таким нижним порогом является давление, равное 6 атмосферам. Таким образом, отсутствует физический смысл в нагрузке объекта из металла давлением, меньшим, чем 6 атмосфер.
4. Будет ли возможен доступ к поверхности контролируемого объекта и безопасная для оператора установка датчиков на поверхности контролируемого объекта?

5. Имеется ли у бригады полный комплект оборудования, необходимый для исследования данного объекта? Прежде всего, это наличие АЭ системы с требуемым числом каналов, датчиков, предусилителей. Если это подводные работы - то наличие подводных датчиков, если работы в заливаемых водой местах - то наличие датчиков, выполненных в водозащищенном исполнении, если объект работает при повышенных температурах - то наличие высокотемпературных датчиков, если объект является криосистемой - то наличие датчиков, корректно функционирующих при пониженных температурах.
6. Будет ли уровень акустических шумов на объекте достаточно небольшим для того, чтобы регистрировать АЭ сигналы? Отметим, что высокий уровень акустических шумов на объекте является принципиальным ограничением для применения АЭ технологии. Конечно, с шумами можно бороться и аппаратным и программным образом. Но наличие высокого уровня акустических шумов резко увеличивает возможность обнаружения несуществующих и пропуск реально существующих источников звука на объекте.
7. Сможет ли имеющееся АЭ оборудование зарегистрировать слабые АЭ сигналы, в том случае, если контролируемый объект имеет протяженные размеры и/или нагружен недостаточно по объективным причинам. Для примера приведем те же открытые заливные танки. Небольшое давление, создаваемое при нагружении, не позволяет спровоцировать генерацию интенсивных АЭ сигналов. Вдобавок, весьма большие типичные размеры таких танков не позволяют надеяться на то, что импульсы будут зарегистрированы без большого затухания - т.е. в довершение ко всему сказанному выше, АЭ импульсы будут весьма небольшими по амплитуде, близкими к уровню шумов на объекте.

Как в любой работе на выезде, подготовка к проведению АЭ контроля вдалеке от стационарной базы бригады АЭ контроля часто определяет успех или неуспех самого контроля. В зависимости от сложности объекта, в бригаде должны быть 1 или 2 сертифицированных специалиста по АЭ и обученный вспомогательный персонал. Отметим, что практика поиска вспомогательного персонала на месте расположения контролируемого объекта обычно приводит в самом легком случае к неприятным последствиям, связанным с ремонтом аппаратуры (поврежденные кабели и разъемы, датчики со сломанной защитной керамикой из-за падения с высоты на твердые поверхности и т.д.).

Вторым этапом подготовки является ознакомление с чертежами предполагаемого объекта для контроля. На основании оценки объекта производится комплектация оборудования и материалов. Наиболее принципиальными являются отличия в комплектации для исследования линейных объектов и сосудов. Для линейных объектов обычно требуется многоканальная система, а также набор более длинных кабелей, в то время как для исследования сосудов обычно требуется многоканальная система и набор кабелей относительно малой длины. С другой стороны, для исследования трубопроводов сложной конфигурации с наличием такого дополнительного оборудования, как вентили, термокомпенсаторы и прочее, или при параллельной прокладке множества труб может потребоваться АЭ система с большим числом каналов.

### Список оборудования

Составим список необходимого оборудования для проведения работ:

*Расчет числа требуемых каналов.* Обычно у пользователя отсутствует возможность выбора числа каналов на акустико-эмиссионной системе. Как правило, используется та АЭ система, которая имеется. В случае системы РАНИС ситуация немного изменяется - можно увеличить число каналов АЭ системы объединением двух основных электронных блоков в единый комплекс. По поводу числа каналов всегда верен принцип: лучше иметь больше каналов, чем требуется, и ни в коем случае не наоборот. В случае исследования объектов, для которых требуется определить точечное местоположение локаций, т.е. лоцирование будет производиться по произвольным треугольникам, определить требуемое число датчиков для исследования объекта можно исходя из общих правил расстановки датчиков для лоцирования треугольниками. Напомним эти правила:



**Внимание!** Общие правила расстановки датчиков для лоцирования треугольниками:

- Произвольные треугольники, образованные датчиками, должны покрывать всю поверхность контролируемого объекта, которую необходимо исследовать.

- По своей форме треугольник должен стремиться к равностороннему.
- Максимальное расстояние между датчиками не должно превышать 6 метров.

Исходя из этих правил, можно оценить, например, сколько каналов на АЭ системе потребуется для исследования цилиндрического объекта диаметром 3 метра и высотой 10 метров: Длина окружности цилиндра равна  $3.1415 \cdot 3 =$  около 10 метров.  $10 / 6$  метров (максимальное расстояние между датчиками) меньше двух. Т.е. для выполнения условия "Расстояние < 6 метров" между датчиками, расположенными по окружности, требуется всего 2 датчика. Но устанавливать менее трех датчиков в одном горизонтальном сечении цилиндра некорректно, поскольку возникнет большая неопределенность в определении пути следования звукового сигнала. Значит, в одном сечении нужно устанавливать 3 датчика. Расстояние между сечениями с датчиками не должно превышать 5 метров, с тем, чтобы оценочно выполнить условие "6 метров есть максимальное расстояние между датчиками, расположенными в разных сечениях". Итак, для исследования данного объекта потребуется  $3$  (датчика)  $\cdot 3$  (сечения)  $+ 1$  (датчик)  $\cdot 2$  (число крышек цилиндра или сосуда) = 11 датчиков. Для исследования крышки добавляем только один датчик, поскольку предполагается, что для лоцирования каждой из крышек, кроме датчика, установленного на вершине крышки, будут использованы три датчика, расположенные в сечении, ближайшем к выбранной крышке.

*Расчет длины и числа кабелей* Для исследования магистрального трубопровода, где кроме безусловного соблюдения всех правил проведения АЭ диагностики, требуется также достигать максимально возможную экономическую эффективность работ, необходимо исходить из того, что расстояние между датчиками не должно превышать 80 метров для трубопроводов с жидкостным заполнением и 50 метров для трубопроводов с газовым заполнением. Вопрос: почему для сосудов используется правило "6 метров", а для труб совершенно иное правило? Для сосудов мы исходим из того, что звуковая волна распространяется по поверхности контролируемого объекта с большим затуханием. Для трубопроводов исходим из того, что звук распространяется в основном по среде, находящейся внутри трубы - по жидкости или газу.

Расстояния 80 метров и 50 метров являются максимально возможными, предельными, рассчитанными исходя из затухания звука в указанных средах. Предположим, что требуется исследовать несколько километров прямой ветки магистрального трубопровода с нефтяным наполнением. Исходим из расстояния в 80 метров между датчиками. Кажется, что за один раз 8-канальной системой можно исследовать  $(8 - 1) * 80 = 560$  метров трубопровода. Если расположить АЭ систему точно по центру, то расстояние от системы до крайних датчиков будет равно  $560 / 2 = 280$  метров. При длине кабеля около 300 метров возникает несколько неудобств:

- При исследовании необходимо учитывать затухание сигнала в столь длинном кабеле.
- Необходимо заказывать изготовителю кабель нестандартной длины, поскольку в стандартной поставке такой кабель отсутствует
- Прокладывать 300-метровый кабель от системы до датчика неудобно, поскольку моток кабеля велик по размеру и тяжел.
- При дальнем выезде на объект транспортировка такого кабеля является дополнительной нагрузкой на бригаду АЭ специалистов.

Исходя из вышперечисленного, можно сказать, что использовать кабель длиннее 200 метров является нетехнологичным. Итак, максимальный прямой отрезок, который рекомендуется исследовать равен  $2 * 200 \text{ м} = 400$  метров. Для исследования 400 метров требуется  $400 / 80 + 1 = 6$ -канальная АЭ система. Рекомендуется иметь хотя бы один запасной кабель для безостановочного (в течение 1-го рабочего дня) проведения работ на случай повреждения одного из кабелей. Для оценки длины кабелей при исследовании сосуда можно отметить, что наиболее востребованными для стандартных случаев является 50-метровые отрезки кабеля. Условия применения 50-метровых кабелей: сосуд относительно небольшой, АЭ система располагается в непосредственной близости от контролируемого объекта, кабель протягивается напрямую, без дополнительных препятствий. Естественно, что такие условия имеются далеко не всегда - всегда необходимо учитывать особенности расположения объекта на территории предприятия.

Число датчиков и предусилителей телей

Обычно число датчиков и предусилителей равно числу каналов аппаратуры. При работе на реальном объекте часто возникают ситуации, когда из-за неумелых действий персонала завода или членов АЭ бригады происходит повреждение датчиков и/или предусилителей. Датчик более всего боится ударов о твердую поверхность. Заводские условия предоставляют максимум возможностей персоналу испытать датчик на прочность при ударах после падений с большой высоты. К сожалению, датчик обычно не проявляет должную стойкость и его защитная керамика вместе с рабочей керамикой покрывается трещинами, выводя датчик из рабочего состояния. Типичной причиной выхода из строя предусилителей является погружение их в воду. Такое погружение может состояться во время гидроиспытаний после того, как из верхней горловины сосуда польется поток воды на предусилители, укрепленные на стенках сосуда. Предусилители для АЭ системы РАНИС защищены весьма достойно, но все-таки недостаточно для работы под водой. Вывод: необходимо иметь запасные датчики и предусилители для безостановочной работы.



**Внимание!** Всегда необходимо использовать тот конструктивный тип датчиков, который соответствует условиям регистрации импульсов на поверхности объекта:

- Если температура поверхности объекта повышенная по сравнению с температурой окружающей среды, но меньшая, чем 350 градусов С, нужно подготовить к поездке высокотемпературные датчики. Если температуры выше 350 градусов С, то нужно использовать высокотемпературные датчики в сочетании с волноводами, приваренными к поверхности объекта.
- Если производятся подводные работы, то следует применять специальные датчики для подводных работ. Конструкция датчика должна выдерживать давление большого столба воды.
- Если исследуется закопанный магистральный трубопровод, для доступа к металлу трубы которого требуется выкапывать шурфы, то является актуальным требование полной защиты датчика и предусилителя от попадания воды, поскольку шурфы весьма быстро заполняются грунтовыми водами. Конструкция датчика в этом случае должна быть полностью водозащищенной.

*Число катушек для кабеля* Обычной практикой для выездной бригады является использование меньшего числа катушек, по сравнению с числом кабелей. Число катушек должно быть таким, чтобы было можно смотать на них все имеющиеся кабели - т.е. на одну катушку наматывается несколько кабелей. Дополнительные неудобства в этом случае компенсируются уменьшением веса и размера перевозимого оборудования. В для случая стационарной работы (исследование объектов на собственном предприятии) представляется удобным иметь число катушек, равное числу кабелей. Транспортировка всех катушек в числе прочего снаряжения обеспечивается внутривозовским автотранспортом. Устройство катушек всегда является примером компромисса между весом и механической прочностью. Для случаев выезда предпочитается меньший вес, для стационарной работы - большая прочность и долговечность при эксплуатации.

*Средства мобильной связи* Наличие средств мобильной связи является обязательным условием комфортной работы на объекте. При работе на прямых отрезках трубопроводов наличие средств мобильной связи является практически незаменимым, поскольку корректно установить датчик, расположенный в 200 метрах от АЭ системы, или оперативно связаться с оператором, регулирующим давление в трубопроводе можно только обладая устойчивой связью. Вариант с мобильными телефонами не всегда является самым удобным. Часто используется радиосвязь, используется свойство некоторых типов трубок телефонных аппаратов работать на значительном удалении от своей базы. Отметим, что далеко не каждый аппарат мобильной связи будет устойчиво работать в заводских условиях - при наличии множества металлических поверхностей, препятствующих качественному прохождению и регистрации сигнала связи. В итоге, выбор типа мобильной связи следует осуществлять с учетом специфики условий окружения контролируемого объекта.

*ЗИП для ремонта* Запасные разъемы, тестер, паяльник, паяльные принадлежности, нож, плоскогубцы, кембрик, термоусад, спиртосодержащая промывочная жидкость для чистки разъемов - набор инструментов и материалов, который потребуется для ремонта кабелей, замены и чистки разъемов. Как уже сказано выше, повреждение кабелей является обычным явлением в АЭ практике. Наличие запасного кабеля позволит не останавливаться в течение работы на объекте, а по завершению работы на объекте требуется починить перебитый кабель или раздавленный разъем. Для всего этого потребуется указанный набор инструментов и материалов.

*Инструменты* Напильник, наждачная шкурка с грубым зерном, смазка, ветошь понадобятся при установке датчиков на поверхности контролируемого объекта. Конечно, для зачистки поверхности объекта в местах установки датчиков удобнее использовать электрический инструмент, но, к сожалению, очень часто применение электроинструмента на объектах нефтегазовой промышленности полностью запрещено.

- Дополнительно*
- Рабочий журнал оператора и рулетка для измерения расстояний от 10 метров и более - для создания эскиза объекта и измерения расстояний между датчиками на поверхности объекта.
  - Бумажная клейкая лента - "скотч", ручка или карандаш для маркировки кабелей.
  - Удобная рабочая одежда и обувь по сезону, перчатки, ручной фонарик, сумки для переноски оборудования.

За несколько недель до выезда на место проведения исследования необходимо предупредить эксплуатационные службы объекта о недопустимости опрессовки объекта перед проведением исследований, даже с целью выявления дефектных уплотнений, поскольку из-за подобной опрессовки, благодаря эффекту Кайзера, придется отодвинуть во времени проведение исследования.

## Проверка

Перед отъездом на объект необходимо выполнить ряд проверок.

*Проверка оборудования* Необходимо проверить:

1. Правильность функционирования основного электронного блока и управляющего компьютера.
2. Целостность разъемов на основном электронном блоке и на кабелях. При проверке целостности для каждого кабеля тестируются:
  - наличие устойчивого контакта между центральными контактами разъемов.
  - наличие устойчивого контакта между внешними контактами разъемов.
  - отсутствие контакта между центральным и внешним контактами.

3. Очистить от возможного загрязнения все разъемы кабелей, предусилителей, основного электронного блока.
4. Правильность функционирования средств связи.
5. Работу батареек и заменить при необходимости батарейки встроенного питания (в случае их использования) у средств связи и ручного фонарика.
6. Прогноз погоды в месте проведения работ. В случае, если контролируемый объект расположен под открытым небом, то для него наличие атмосферных осадков практически любого типа будет служить запретом для проведения испытаний, поскольку каждая капля воды или града, соударяющаяся с поверхностью объекта, будет служить отличным источником звуковых сигналов.

*Проверка подготовки объекта* Принимающей стороне до момента приезда бригады АЭ специалистов необходимо выполнить следующие действия (если иное не оговорено договором):

1. При исследовании закопанного магистрального трубопровода необходимо выкопать шурфы для доступа к поверхности трубы и снять гидроизоляцию с места установки датчиков. Для установки датчика требуется зачистить круг радиусом до 3 см на поверхности объекта. Также потребуется поверхность, свободная от гидроизоляции для магнитного крепления датчиков в том случае если:

- Материал, из которого изготовлен контролируемый объект является магнитным
- Используются датчики с внешним предусилителем, в конструкции которых отсутствует встроенное магнитное крепление.

Копание шурфов следует производить заранее в том случае, если отсутствуют дожди и грунт в местах пролегания трубопровода не является болотистым. Если один из этих факторов присутствует, то следует организовать работу так, чтобы копка шурфов происходила непосредственно перед установкой датчиков.

2. При исследовании сосуда или любого другого объекта, закрытого защитной футеровкой или любого объекта, у которого имеются особенности конструкции, которые затрудняют доступ к поверхности объекта, необходимо подготовить места для установки датчиков. Для выполнения этой задачи службе эксплуатации объекта необходимо иметь схему расстановки датчиков, которую должен подготовить АЭ

специалист, после предварительного ознакомления с чертежами объекта.

Подчеркнем: итерация по документам должна быть проведена до приезда бригады АЭ специалистов:

- Сначала заказчик предоставляет чертежи объекта для контроля.
  - АЭ специалист изучает чертежи и подготавливает схему расстановки датчиков и предоставляет ее заказчику работ
  - Заказчик открывает во внешней футеровке объекта "окна", достаточные для установки предусилителя и датчика с его магнитным креплением. Для датчика со встроенным предусилителем и встроенным магнитным креплением площадь освобождаемого от футеровки "окна" может быть значительно уменьшена по сравнению с комплектом "датчик+магнитное крепление+внешний предусилитель".
3. При исследовании объектов, работающих при высоких температурах ( $> 350$  градусов С), к поверхности объектов необходимо приварить волноводы, на которые будут впоследствии установлены датчики.
  4. Достаточно часто для осуществления нагружения объекта, в частности, для подсоединения компрессора к объекту, требуется провести некоторый объем механических работ. В идеале, эти работы должны быть завершены до приезда бригады АЭ специалистов.
  5. Если контролируемый объект имеет сравнительно большие размеры, то необходимо подготовить компрессорное оборудование достаточной производительности для осуществления закачки жидкости или газа с целью поднятия давления внутри объекта. Отметим, что производительность оборудования будет оказывать решающее воздействие на продолжительность исследования. При относительно слабом компрессорном оборудовании и большом внутреннем объеме объекта исследование может длиться десятки часов. Известны случаи, когда нагружение объекта длилось около 50 часов. С учетом того, что оператор не имеет права оставлять без контроля процедуру подъема давления на контролируемом объекте, подобная длительность нагружения становится испытанием не только для объекта, но и для всей бригады АЭ специалистов.

## Проведение исследования

*Взаимодействие с эксплуатационной службой*

Проведение исследования требует согласованных действий бригады специалистов АЭ. Предположим, что бригада АЭ специалистов состоит из двух человек. Для удобства объяснений будем называть главного специалиста в бригаде по АЭ "первым номером", помощника - "вторым номером". Первый номер отвечает как за административное управление исследованием объекта со стороны бригады, так и за настройку АЭ оборудования. Второй номер осуществляет все вспомогательные функции. Распределение ролей является, конечно, условным, поскольку второй номер также обязан уметь осуществлять полную настройку оборудования и взаимодействовать с персоналом заказчика. Составим перечень дел, которые должны выполнить члены бригады при подготовке и проведении исследования на месте расположения объекта. Порядок действий, изложенный ниже, не является жестким, обязательным к выполнению, но все-таки описывает примерную последовательность действий АЭ персонала.

Первой задачей является установление административного взаимодействия с эксплуатационными службами предприятия, цеха, или объекта, поскольку от этих служб зависит подготовка и проведение всего эксперимента, подача давления в испытуемый сосуд, ремонт мелких неисправностей на объекте, которые могут возникнуть во время подъема давления и пр. Необходимо выяснить фамилии ответственных лиц и познакомиться с людьми, которые руководят и производят эксплуатацию объекта, договориться с ними о взаимодействии. Получить ответы на вопросы:

- Как будет обеспечиваться доступ АЭ специалистов на объект?
- Когда будет проводиться исследование?
- Кто из эксплуатационного персонала объекта отвечает за проведение исследования?
- Кто из эксплуатационного персонала объекта отвечает за мелкий ремонт объекта, который может потребоваться в ходе испытаний объекта?
- Кто из эксплуатационного персонала объекта отвечает за подъем и сброс давления?
- Кто из эксплуатационного персонала объекта будет помогать в размещении оборудования на объекте?
- Где можно разместить АЭ оборудование?
- Где прокладывать кабели?

- Каким образом подсоединиться к электросети предприятия для подключения АЭ оборудования? Кто обеспечит безопасное подключение к электросети?
- Имеются ли какие-либо особенные требования по технике безопасности, которые необходимо выполнять на данном объекте?
- Была ли проведена опрессовка в течение, например, двух предыдущих недель? Если опрессовка была проведена, то необходимо отложить АЭ исследование объекта до окончания времени релаксации объекта.
- Выполнена или нет работа по подготовке шурфов (для закопанных магистральных трубопроводов) или подготовлен ли доступ к поверхности для объектов, закрытых футеровкой или иным образом?

*Подготовка подачи давления* Если давление в контролируемый объект будет подаваться внешним по отношению к производственному циклу образом, то необходимо обсудить с эксплуатационными службами каким образом будет подводиться давление в испытываемый объект и каким образом осуществлять монтаж всех устройств, которые будут использоваться для подачи давления внутрь объекта. Подачу воды внутрь объекта при гидроиспытаниях лучше всего осуществлять через гибкий шланг в нижней части объекта. Гибкий шланг используется для того, чтобы шумы от вибрации компрессора не передавались контролируемому объекту. Подача давления через нижнюю часть объекта уменьшает акустические шумы от потока воды.

*Визуальный осмотр объекта* Принципиально важным представляется проведение визуального осмотра поверхности объекта. Первым номером в его рабочем журнале должен быть нарисован эскиз контролируемого объекта. Почему необходимо рисовать такой эскиз, даже если имеются чертежи объекта, представленные заказчиком? Отрисовка необходима по следующим причинам:

- Любой из чертежей, представленных заказчиком, не может отображать и не отображает всю совокупность особенностей объекта, которые нужно знать АЭ специалисту. Обычно каждый из чертежей дает только часть требуемой информации об объекте.

- Эскиз должен отображать текущее состояние объекта, а не то состояние, которое описывалось инженером-конструктором при разработке чертежа объекта.



**Внимание!** Эскиз контролируемого объекта должен содержать следующую информацию:

- Конечной целью составления эскиза объекта является реализация возможности точного соотнесения рассчитанных АЭ системой координат локации на программной схеме объекта с реально существующим местом на поверхности объекта.
- Эскиз должен содержать все геометрические размеры объекта.
- На эскизе объекта должны быть отрисованы и привязаны по координатам (в той системе координат, которая удобна вам и/или используется программой):
  - Все швы объекта. Повторимся: координаты начала и конца каждого прямого отрезка сварного шва на объекте должны быть обязательно известны оператору!
  - Фланцы
  - Места крепления приварных лестниц
  - Все сварные металлические "заплатки" на поверхности объекта
  - Скобы.
  - Все прочие места, где производились сварные работы
  - Места крепления опор объекта.
- На эскизе объекта должны быть нарисованы и привязаны по координатам все прочие особенности объекта, такие как визуально наблюдаемые места обширного коррозионного поражения, места использования конструкционных материалов, отличающихся от основного конструкционного материала объекта.
- Особым образом на эскизе объекта должны быть нарисованы и привязаны по координатам те места, в которых будут регистрироваться источники звуков, происхождение которых известно заранее и причину которых невозможно устранить до начала исследования. Например, отметить те точки поверхности, на которые капает заполняющая объект жидкость, отметить подтекающие прокладки, места протечек паропроводов, издающих свист, и прочее.

- *Отметим, что привязку по координатам особенностей поверхности объекта можно провести и позднее (в постобработке) - главное, чтобы в рабочем журнале были записаны все расстояния от выбранных вами реперных точек до точек, координаты которых необходимо будет знать.*

<i>Схема датчиков</i>	Подготовить схему расположения датчиков на объекте.
<i>Установка системы</i>	Провести установку АЭ системы и подключение ее к электропитанию на месте, указанном службой эксплуатации объекта.
<i>Прокладка кабелей</i>	Растянуть кабели от места расположения системы до объекта.

***Внимание!*** Основные правила прокладки кабеля:



- *Кабель должен укладываться в местах, безопасных с точки зрения целостности кабеля: желательно не использовать места интенсивного пешеходного и транспортного движения, осуществлять подвес кабеля там, где это возможно. Особенно тщательно нужно расположить кабель там, где кабель может попасть между ногой пешехода и любой ребристой поверхностью. В этой ситуации ребристая поверхность под давлением ноги пешехода может послужить гильотиной, приводящей к повреждению кабеля.*
- *Недопустимо использование кабеля с поврежденной изоляцией и/или поврежденными разъемами .*
- *Непосредственно перед прокладкой кабеля необходимо отмаркировать кабель с обеих сторон, недалеко от разъемов. Для этого вырезать 2 прямоугольных кусочка бумажного скотча, обернуть липкой стороной скотч вокруг кабеля в примерно 5 см от разъема, заклеить скотч сам на себя. Написать с двух сторон на скотче номер того канала, к которому будет присоединен данный кабель. Записываемый номер должен строго соответствовать номеру канала на схеме расстановки датчиков по объекту, заданной при настройке антенны.*

*Заметим, что постоянная маркировка кабелей является неудобной с практической точки зрения, поскольку присвоение номеров является динамической, зависящей от объекта, процедурой.*

- *При достаточном удалении точки расположения АЭ системы от контролируемого объекта является рациональным сделать жгут из промаркированных кабелей. Наличие жгута существенно повышает шанс оставить кабели неповрежденными.*
- *При подключении кабеля к внешнему предусилителю или к датчику со встроенным предусилителем необходимо:*
  - *Завязать кабель петлей так, чтобы случайный рывок кабеля с внешней по отношению к предусилителю стороны не смог оторвать магнитное крепление датчика и/или предусилителя от поверхности объекта. Подобный рывок обычно происходит, когда пешеход случайно запинается о кабель. Петля должна быть широкой и не тугой, с тем чтобы не повредить кабель.*
  - *Выбрать точку крепления петли таким образом, чтобы в случае отрыва внешнего предусилителя и/или датчика от поверхности объекта не происходило его падения и/или удара о какую-либо поверхность.*

*Идеальной точкой крепления является точка, расположенная в 20 – 30 см по вертикали от места крепления датчика и/или предусилителя. В этом случае потеря контакта датчика с поверхностью не приведет к его механической поломке, хотя и полностью нарушит процесс регистрации импульсов звука по данному каналу. В качестве мест крепления можно использовать фланцы, скобы, поручни приваренных к объекту лестниц, прочие выступающие части контролируемого объекта.*

*Установка датчиков*

*Установить предусилители и датчики на поверхности объекта.*



**Внимание!** *Основные правила установки датчиков и предусилителей:*

- *Датчик должен устанавливаться максимально*

*близко к той точке, на которую указывает схема расстановки датчиков для данной антенны.*

- Поверхность объекта должна быть подготовлена к установке датчиков. На поверхности не должно быть слоя краски или ржавчины. Поверхность должна быть зачищена с помощью электро- или пневмоинструмента, а в случае невозможности его применения зачистка производится напильником или наждачной шкуркой с грубым зерном. Основная задача для металла - получить поверхность, на которой были бы только отдельные точки ржавчины. Весьма важным является то, что поверхность под установленным датчиком должна быть плоской: весьма часто применение электроинструмента приводит к появлению полукруглых выемок, в которые не следует устанавливать датчики.*
- После подготовки поверхности на защитную керамику датчика наносится слой акустической смазки. В таком качестве могут служить обычные виды технической смазки: литол, солидол и др. При подводных работах прекрасной акустической смазкой является вода. Основное рабочее требование к смазке заключается в том, что она не должна вытекать из под датчика во всем диапазоне температур, в котором будет проводиться исследование объекта.*
- Если в конструкцию датчика не встроен магнитный прижим, то необходимо прижать датчик к поверхности объекта с помощью внешнего магнитного крепления. Усилие прижима должно быть весьма существенным: во всяком случае, датчик не должен самостоятельно поворачиваться внутри крепления под действием силы тяжести.*

*Первичная  
настройка  
датчика*

Предположим, что первый номер находится за управляющим компьютером, а второй номер - рядом с местом установки датчика. Предположим, что второй номер уже осуществил монтаж датчика и предусилителя на поверхность объекта. Далее настройка производится следующим образом: первый номер производит оценку уровня шумов на данном предусилителе и установил порог отсечения шумов таким образом, что на данном канале не регистрируется ни одного импульса в течение длительного времени (в течение десятков секунд). После этого второй номер с помощью или генератора АЭ импульсов или источника Су-Нилсена или любым другим способом генерирует серию звуковых сигналов максимально возможной мощности.

При исправном и правильно настроенном оборудовании управляющий компьютер должен зарегистрировать то число импульсов, которое было сгенерировано рядом с настраиваемым датчиком. Затем после паузы, серия импульсов должна быть повторена, для того, чтобы убедиться в искусственности генерируемых импульсов. Зарегистрированные импульсы должны иметь очень высокий уровень амплитуды, например, если используется генерация сигнала АЭ системой, то амплитуда должна быть выше 99 дБ. Генерация АЭ системой означает, что рядом с настраиваемым датчиком временно устанавливается генерирующий датчик, соединенный с другим каналом системы. Если амплитуда зарегистрированных импульсов существенно ниже, то это обычно означает, что датчик установлен не плотно к поверхности объекта. Рекомендуется в этом случае не отрывая от поверхности, с достаточным усилием, поворачивать датчик внутри магнитного крепления. После этого повторить генерацию и регистрацию импульсов. Оценить результаты. В случае неуспеха повторять до тех пор, пока не будет получена серия зарегистрированных импульсов требуемой амплитуды. Если все усилия не приводят к успеху, то проверьте:

- Не загрязнен ли какой-либо из разъемов во всей цепочке, соединяющей датчик с основным электронным блоком.
- Правильность монтажа, если разъем уже побывал в нефирменном ремонте: если центральный стержень разъема существенно "утоплен" внутрь разъема, то на такой ошибке монтажа можно "потерять" до 30 дБ регистрируемого сигнала.
- Не затапливался ли полностью водой предусилитель,

для чего снимите крышку предусилителя - если внутри предусилителя обнаружена вода, то отложите его со снятой крышкой для просушки. Если просушка не привела к возвращению рабочего состояния, то этот предусилитель должен быть отправлен в сервисную службу фирмы "ForTechLab" для негарантийного ремонта. После завершения первичной настройки одного датчика приступайте к первичной настройке другого. Таким образом должны быть настроены все датчики, размещенные на поверхности контролируемого объекта.

*Вторичная  
настройка  
датчиков*

Вторичная настройка датчиков производится из программы сбора данных.

*Пробный  
сбор  
данных*

Запустите пробный сбор данных (без записи на диск).  
Во время пробного сбора данных необходимо оценить:

- Правильность установки порогов на всех каналах
- Наличие помех различного типа, ухудшающих качество регистрируемого материала о состоянии объекта.

При наличии помех попытайтесь найти причину/причины помех и устранить их. Наиболее действенным методом устранения помех является административный способ:

- Если источником электрических помех являлся работающий цеховой кран, необходимо договориться администрацией цеха об остановке работы крана на все время исследования
- Если источником электрических помех являлся работающий сварочный аппарат, то необходимо договориться администрацией цеха об остановке работы сварочного аппарата.
- Если источниками акустических помех являлся персонал предприятия, то необходимо оградить с помощью подручных средств зону, которая должна быть свободной от постороннего персонала. При необходимости уточните настройки аппаратуры.
- После успешного проведения пробного сбора данных можно запускать основную процедуру исследования объекта.



***Внимание!*** Не забудьте включить запись всех тех файлов данных, которые потребуются для анализа состояния объекта!

*Проведение исследования* Исследование объекта рекомендуется проводить в соответствии с требованиями официальных государственных руководящих документов по АЭ. В качестве практических рекомендаций можно использовать "Общий порядок проведения исследования", описанный в параграфе выше.

Во время исследования АЭ специалисты вместе со службой эксплуатации объекта должны контролировать:

- Отсутствие на объекте лиц, не участвующих в проведении эксперимента
- Правильность съема показаний с датчика давления в том случае, если съем показаний производится вручную

- Отсутствие на поверхности объекта вновь возникших повреждений прокладок, фланцев и пр.

Основной задачей, которая ставится перед АЭ специалистами во время исследования, является недопущение катастрофического разрушения объекта. Для выполнения этой задачи необходимо непрерывно наблюдать за данными, регистрируемыми АЭ системой, которые отображаются на экране управляющего компьютера в виде графиков и таблиц. Во время работы в рабочий журнал АЭ специалиста (или на любой удобный носитель информации) должны записываться все те особенности проведения исследования, которые помогут в постобработке правильно трактовать данные. При записи должен обязательно фиксироваться промежуток времени, в течение которого особенность влияла на записываемые данные. Например, если известно, что зафиксированный всплеск импульсов имел внешнюю причину (механический удар по объекту, или что-либо другое), то на основе записей такого рода в постобработке можно будет удалить импульсы, не имеющие отношения к исследованию состояния объекта. Записи о соответствии нумерации файлов тому или иному отрезку графика нагружения удобны в постобработке, особенно если в общем списке файлов исследования имеются тестовые, пробные файлы, не относящиеся к какому-либо из этапов исследования.

**Совет:**



- ✓ *Никогда не рассчитывайте на то, что возможно удержать в памяти все особенности исследования: подробности, не зафиксированные на носителях различного типа: от рабочего журнала до КПК и ноутбука, можно считать утерянными, поскольку в ситуации обследования множества объектов (особенно, если объекты однотипны) через несколько рабочих дней будет невозможно с уверенностью соотнести ту или иную особенность с конкретным объектом*
- ✓ *Никогда не оглашайте во время исследования свое текущее мнение о состоянии объекта. Многолетний практический опыт специалистов нашей фирмы свидетельствует о том, что корректную оценку состояния объекта можно сделать только после проведения постобработки данных.*

*Постобработка данных весьма часто приводит к изменению первоначальной оценки, сделанной визуально, на основе данных с экрана управляющего компьютера. На просьбы специалистов из группы эксплуатации объекта оценить состояние объекта "здесь и сейчас" объясните, что "здесь и сейчас" производится исключительно регистрация данных, требуемых для анализа состояния объекта, который будет проведен позднее, не на объекте, с помощью программы постобработки.*

*Этап завершения работ* После проведения всего комплекса работ по исследованию объекта необходимо провести этап завершения работ. К этому этапу относятся все работы, связанные с демонтажем АЭ оборудования с поверхности объекта. Этап демонтажа АЭ оборудования является самым опасным с точки зрения целостности оборудования. После проведения исследования у всей бригады накапливается усталость, появляется желание как можно быстрее завершить все работы и пойти отдыхать. Именно в этот момент происходят основные поломки оборудования: небрежные действия персонала приводят к падению датчиков, магнитных креплений и предусилителей с высоты объекта (к несчастью, датчики падают в основном на бетонные поверхности основания объектов и у них практически нет шансов остаться целыми). Полностью и аккуратно удалите акустическую смазку как с датчиков, так и с внешних магнитных разъемов и предусилителей, если они случайно испачкались смазкой. Упакуйте датчики в фирменную упаковку. Не пренебрегайте очисткой оборудования от смазки: кроме очевидного понижения культуры работы, наличие смазки притягивает всевозможную грязь, которая рано или поздно окажется в разъемах кабелей, датчиков, предусилителей. Чистка разъемов от грязи - занятие долгое и утомительное, требующее высокой тщательности, поскольку современные разъемы используют допуски, равным долям миллиметра - удаление песка из щелей подобных размеров является кропотливой работой. Намного проще не допускать попадания грязи в разъемы, чем проводить их чистку. Аккуратно сматывайте кабель, не допуская небрежности и спадающих петель. Во время сматывания кабеля не допускайте попадания разъемов кабеля в лужи и другие места скопления грязи.

Кабель предпочтительно всегда сматывать на катушки, поскольку такой подход гарантирует:

- Целостность и чистоту кабеля
- Относительную чистоту разъемов
- Удобство при последующей размотке кабеля.

Сматывание кабелей в бухты не гарантирует достижение этих целей. Не допускайте механических повреждений кабеля и разъемов от рывков и сдавливания ногами. Помните: всю грязь, попавшую в разъемы во время демонтажа, придется вычищать или во время подготовки, или, в худшем случае (а чаще всего бывает именно так), во время настройки оборудования на новом объекте, после того, как выяснится, что происходит или слишком большое падение напряжения на кабеле или отсутствуют контакты, или почему-то вновь устанавливаемый датчик не дает при настройке максимальный сигнал. Соберите и соскладуйте все вспомогательное оборудование: фонарики, рулетки, пишущие принадлежности, рабочий журнал и прочее.



**Совет:**

- ✓ *Несмотря на усталость, максимально аккуратно проведите демонтаж, очистку, упаковку и складирование АЭ оборудования.*
- ✓ *Не оставляйте без присмотра оборудование на ночь. В этом случае:*
  - *Никто не будет гарантировать его сохранность*
  - *В случае резкого изменения погоды (например, после вечернего дождя или просто сырой осенней погоды иногда бывают ночные заморозки) вы имеете отличный шанс получить на следующий рабочий день неработающее оборудование - кабель замерз, обледенел и ломается, разъемы невозможно очистить от замерзшей грязи и т.д.*