



## НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ И ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, д-ра техн. наук, М. А. ЯРЕМЕНКО, канд. техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

*Рассмотрены вопросы оснащения объектов газотранспортной отрасли системами непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга, конструктивные и эксплуатационные особенности магистральных газопроводов и газокompрессорных станций, обоснована необходимость организации их непрерывного мониторинга. Обоснованы основные преимущества метода АЭ перед другими неразрушающими методами при проведении различных типов контроля промышленных конструкций. Проанализированы альтернативные решения по НК газопроводов и газокompрессорных станций. Показано, что в настоящий момент имеются все необходимые аппаратные, программные и организационные средства для оснащения объектов газотранспортной отрасли системами непрерывного АЭ мониторинга, а их использование является источником обеспечения безопасной эксплуатации и повышения рентабельности.*

*The questions of fitting the facilities of gas transportation industry by systems of continuous acoustic-emission monitoring, design and service features of the main gas pipelines and gas compressor units are considered, and the need to organize their continuous monitoring is substantiated. The main advantages of acoustic emission method over other NDT techniques at application of various kinds of monitoring of industrial constructions are substantiated. Available alternative solutions on NDT of gas pipelines and gas compressor units are analyzed. It is shown that at present all the required hardware, program and organizational means are available for fitting the facilities of gas transportation industry by systems of continuous AE monitoring, and their application is a source of ensuring safe service and increasing the profitability.*

Магистральные газопроводы и оборудование газокompрессорных станций являются промышленными объектами повышенной опасности, поскольку постоянно присутствует два основных компонента, создающих возможность аварии — работа под давлением и взрывопожароопасная рабочая среда. В процессе эксплуатации металл, из которого изготовлены трубы газопроводов, накапливает различные повреждения, которые вызваны, в частности, нарушением эксплуатационных режимов, изменяющимися нагрузками, коррозионными процессами, химическим воздействием транспортируемого газа на стенки труб [1, 2]. Следует отметить, что, как правило, прямой зависимости между сроком эксплуатации трубопровода и степенью его поврежденности не существует. Весьма трудно также разделить поврежденность, вызванную действием каждого из определяющих факторов. В связи с этим наиболее перспективной представляется интегральная оценка поврежденности материала, без детализации факторов, вызвавших повреждения.

Независимо от причин возникновения аварий, их последствия могут быть весьма серьезными, даже если речь идет не о магистральных газопроводах, а о небольших компрессорных станциях. Например, в России 10 февраля 2008 г. произошла авария на компрессорной станции (КС) компании «Томскнефтехим» из-за разгерметизации оборудования. Один человек погиб, два пострадали. 25 января 2011

г. в поселке Онохой Заиграевского района произошел взрыв на компрессорной автомобильной газозаправочной станции. После взрыва газа начался пожар на площади 150 м<sup>2</sup>. В результате произошло обрушение здания, один человек погиб, есть раненые.

Последствия при авариях на магистральных газопроводах, как правило, значительно масштабнее. Например, 7 мая 2007 г. в Таращанском р-не Киевской обл. на газопроводе Уренгой–Помары–Ужгород произошел взрыв возле КС Ставище (рис. 1). Газ подавался под давлением 74 атм. Взрывной волной 30-метровый кусок трубы диаметром 1420 мм отбросило на 150 м, на месте взрыва возник пожар. На площади 1,5 га выгорели зеленые насаждения, остались без газоснабжения 22 населенных пункта в Таращанском районе, включая сам райцентр, четыре населенных пункта в Богуславском р-не и шесть в Черкасской обл. Транспортировка природного газа из России в Европу по магистральному газопроводу была приостановлена.

Аварии и неполадки в работе компрессорного оборудования [3] происходят вследствие конструктивных недостатков отдельных деталей и узлов, ошибок, допущенных при изготовлении, и несоблюдения требований инструкций и норм эксплуатации. В процентном отношении общее количество аварий и неполадок компрессорных машин (по данным, полученным ВНИИ «Компрессормаш» на одном из химических комбинатов) распределялось следующим образом: 6 % аварий



из-за конструктивных недостатков; 54 % аварий из-за низкого качества деталей (причем на вновь изготавливаемые детали пришлось 46 %, а на ремонтируемые — 8 %), 40 % аварий из-за нарушения инструкций и норм эксплуатации.

Приведем для полноты понимания проблемы некоторые сведения о КС — по данным специализированных источников, прежде всего РГУ нефти и газа им. Е. М. Губкина [4, 5]. Большинство месторождений газа расположено на удалении от крупных его потребителей. Подача газа к ним осуществляется по магистральным газопроводам различной протяженности и диаметра. Для поддержания заданного расхода транспортируемого газа и обеспечения оптимального давления в трубе по трассе газопровода устанавливаются КС. Современная КС — сложное инженерное сооружение, обеспечивающее основные технологические процессы по подготовке и транспорту природного газа. КС служит управляющим элементом, параметры работы которого определяют режим работы газопровода, и который регулирует режим работы газопровода при колебаниях потребления газа.

Головные компрессорные станции (ГКС), устанавливаемые непосредственно возле газового месторождения, предназначены для поддержания необходимого давления технологического газа при его дальнейшей транспортировке по магистральному газопроводу. Характерными особенностями ГКС являются высокая степень сжатия газа, обеспечиваемая последовательной работой нескольких газоперекачивающих агрегатов (ГПА), и повышенные требования к качеству подготовки технологического газа — очистке от механических примесей, осушке от газового конденсата и влаги, а также удалению (при наличии) побочных продуктов: сероводорода, углекислоты и т.д.

Линейные КС устанавливаются на магистральных газопроводах, как правило, через 100...150 км. Назначением КС является компримирование поступающего на станцию природного газа с давления входа до давления выхода, обусловленных проектными данными, для обеспечения постоянного и заданного расхода газа по магистральному газопроводу. Крупные магистральные газопроводы обычно проектируют в расчете на давления 5,5...7,5 МПа.

Дожимные компрессорные станции (ДКС) устанавливаются на подземных хранилищах газа (ПХГ) и служат для подачи газа в подземное хранилище из магистрального газопровода, для отбора газа из хранилища с последующей подачей его в магистральный газопровод или непосредственно потребителям газа. ДКС строятся также и на газовом месторождении при падении пластового давления ниже давления в магистральном трубопроводе. Отличительной особенностью ДКС

от линейных КС является более высокая степень сжатия, улучшенная подготовка технологического газа (осушители, сепараторы, пылеуловители), поступающего из подземного хранилища, с целью его очистки от механических примесей и влаги, вносимой с газом.

Вид основного газоперекачивающего оборудования КС определяется пропускной способностью газопровода. Для газопроводов с пропускной способностью менее 12 млн м<sup>3</sup>/сут на КС обычно используют поршневые компрессоры, с меньшей пропускной способностью — центробежные нагнетатели с приводом от газотурбинных установок или электродвигателей. Технологическую схему КС и необходимое вспомогательное оборудование выбирают в зависимости от типа устанавливаемых ГПА.

Учитывая конструктивную сложность КС, большое количество агрегатов и протяженность труб обвязки, наиболее надежным средством обеспечения их безопасной эксплуатации представляется непрерывный акустико-эмиссионный (АЭ) мониторинг [6, 7].

**Метод АЭ.** Метод АЭ [8, 9] основан на том, что в процессе деформирования в местах нагруженных конструкций, где зарождается и происходит разрушение, возникают акустические волны, которые затем распространяются по материалу и могут быть зарегистрированы специальными датчиками. Обработка и анализ этой информации позволяют определять координаты дефектов и задолго до разрушения судить об их опасности. Основной принцип работы АЭ аппаратуры следующий: волна, излученная развивающимся дефектом, выходит на поверхность контролируемого объекта и воздействует на контактные участки акустических датчиков (рис. 2), которые преобразуют полученные звуковые колебания в электрический сигнал и передают его АЭ прибору для обработки (усиление, фильтрация, оцифровка и т. д.) и последующего анализа. Диагностика реальных объектов включает вначале обнаружение, а затем идентификацию источника АЭ и его оценку.

Особенностью метода является возможность контролировать состояние материала на больших расстояниях от мест размещения датчиков, выполнять малым числом датчиков контроль крупных промышленных объектов, в том числе сложной конфигурации и на участках, доступ к которым затруднен (подземных, покрытых изоляцией). Метод имеет целый ряд преимуществ перед другими средствами НК (таблица).

Следует обратить внимание на то, что от способа выполнения АЭ контроля существенно зависит безопасность дальнейшей эксплуатации контролируемого объекта. К таким способам можно отнести следующие.

**Газовый контроль.** Как правило, проводится в процессе плановых механических испытаний

объекта (для конструкций, работающих под давлением это чаще всего гидро- или пневмоиспытания). Объект нагружают от нулевой или минимальной нагрузки до величины, которая несколько превышает рабочее значение (величина перегрузки регламентируется государственной или отраслевой нормативной документацией и для сосудов давления составляет 1,25). Если в процессе испытания обнаружены источники повышенной АЭ активности, проводят анализы их опасности для данного объекта и по его результатам дают заключение о возможности дальнейшей его эксплуатации и рекомендуемых эксплуатационных параметрах. Преимуществом данного подхода является сравнительно низкая стоимость проведения контроля. Сама процедура контроля занимает мало времени, не требует стационарной установки



Рис. 1. Последствия взрыва на газопроводе вблизи КС Ставище

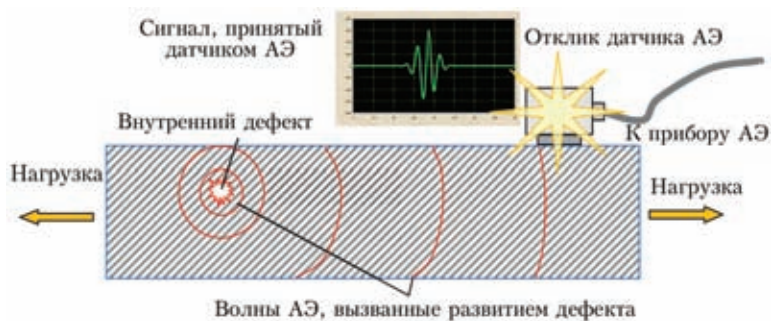


Рис. 2. Схема работы метода АЭ



Рис. 3. Системы непрерывного АЭ мониторинга хранилищ жидкого аммиака и мостовой переход аммиакопровода через р. Днепр: а — хранилище аммиака ОПЗ; б — аммиакопровод на мосту через р. Днепр; в — измерительный блок системы АЭ мониторинга в период монтажа; з — система АЭ мониторинга после герметизации в специальных взрывопожаробезопасных контейнерах с климатконтролем

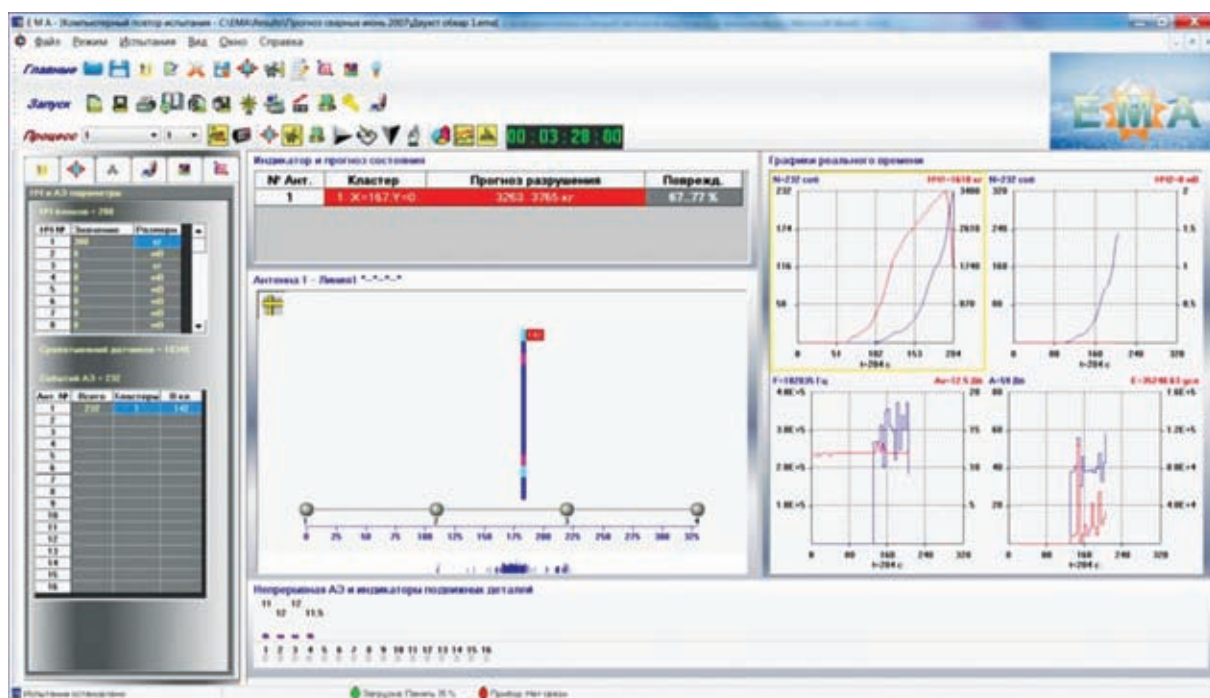


Рис. 4. Окно программы ЕМА-3.9. Определение координат событий АЭ, кластеризация и прогнозирование разрушения. Во время испытаний система показывает наиболее опасное место, где формируется разрушение, на схеме объекта контроля и осуществляет привязку результатов прогноза к этому объекту

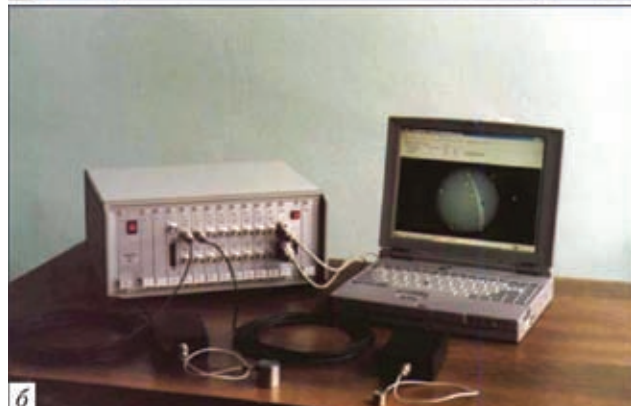
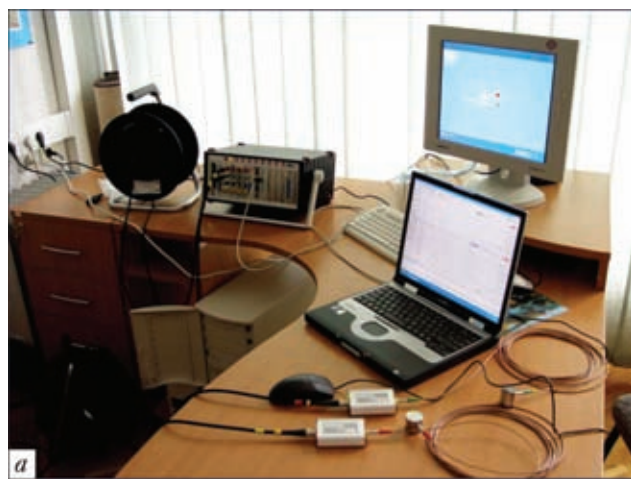


Рис. 5. 16-канальные мобильные системы АЭ контроля ЕМА-3 (а) и СДАЭ-16 (б)

датчиков и аппаратуры и может быть выполнена с использованием мобильных АЭ систем. Недостатками же является то, что, во-первых, при испытании требуется создание избыточной нагрузки, повышающей риск развития дефектов, во-вторых, после проведения испытания объект не контролируется. Возникновение развивающихся дефектов уже после проведения разового контроля может привести к опасной ситуации.

**Периодический контроль.** Процедура проведения аналогична разовому контролю, но повторяется с определенным интервалом. Интервал в зависимости от объекта контроля и его результатов может составлять от нескольких дней до нескольких месяцев. Преимуществом периодического контроля по сравнению с разовым является то, что вероятность обнаружения опасных дефектов увеличивается, появляются возможности проведения сравнительного анализа результатов проведенных испытаний и набора соответствующей статистики. Недостатком является удорожание процедуры контроля и создание неоднократных перегрузок конструкции в процессе испытаний.

**Мониторинг.** Наблюдение в течение некоторого времени состояния объекта контроля при его работе в эксплуатационном режиме. Основные преимущества — наблюдение не требует изменения рабочих параметров и специального нагружения конструкции, упрощается процедура контроля и снижается его стоимость. Работа без перегрузок, требуемых при обычных испытаниях, продлевает срок службы конструкции. Недостат-



ками являются, во-первых, меньшая вероятность обнаружения дефектов, поскольку отсутствуют перегрузки, создаваемые при разовых испытаниях именно для активизации роста дефектов, во-вторых, отсутствие контроля за состоянием объекта

после завершения мониторинга, как и при разовых или периодических испытаниях.

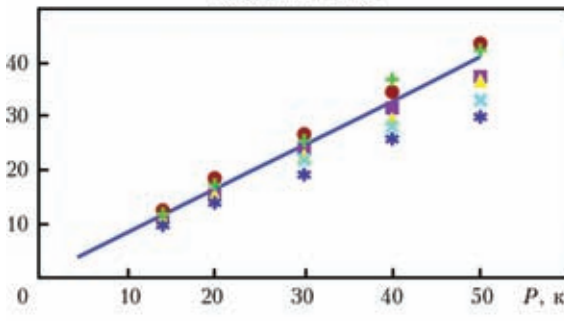
*Непрерывный мониторинг.* Отсутствуют недостатки, отмеченные в трех предыдущих пунктах. Акустическая активность отслеживается постоянно, оснащение систем мониторинга средства-

**Преимущества метода АЭ**

Метод АЭ	Прочие методы
Материал объекта контроля сообщает информацию об имеющихся проблемах	Перед началом контроля необходимо определить, какую информацию следует получить и как ее интерпретировать
Автоматический 100%-ный контроль больших объектов	100%-ный контроль крупных объектов очень сложен, требует больших временных и денежных затрат
Непрерывный мониторинг крупных объектов обеспечивается постоянной работой аппаратуры	Непрерывный мониторинг крупных объектов во многих случаях невозможен, в остальных случаях требует серьезных затрат
Не требует постоянного контроля со стороны персонала	Работу выполняет персонал, что требует его постоянного присутствия при проведении контроля
Возможна работа оператора на большом удалении от объекта контроля	Оператор работает непосредственно на объекте, что создает угрозу жизни и здоровью при контроле опасных производств
Обеспечивает автоматизированную оценку и прогноз состояния конструкции в процессе ее эксплуатации	Для прогноза состояния конструкции требуются дополнительные расчеты и работа экспертов после проведения контроля



Напряжения в трубопроводах обвязки входа ПУ, МПа



Напряжения в трубопроводах обвязки АВО газа, МПа

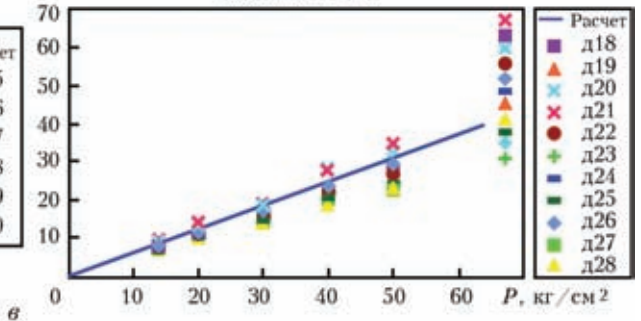


Рис. 6. Непрерывный мониторинг НДС трубопроводной обвязки ГС предприятия «Дигаз» при пуске компрессорного цеха: а — объект контроля; б — монтаж датчиков; в — НДС по результатам мониторинга

ми автоматизации позволяет оперативно в реальном времени получать информацию о состоянии контролируемого объекта и своевременно предотвращать опасные ситуации. На начальном этапе некоторые трудности создают необходимость стационарной установки датчиков, кабелей, измерительного оборудования, оснащения пульта оператора, обучения персонала и т. д.

Внедрение системы непрерывного мониторинга состояния оборудования и агрегатов обеспечивает их безопасную эксплуатацию, существенное снижение риска возникновения аварий, сокращение числа плановых остановов и внештатных ситуаций. Эффективность работы такой системы во многом зависит от заложенных в ее разработку принципов.

При разработке и совершенствовании техники и технологии АЭ мониторинга важно понимать, что заказчику требуется информационная система, а не просто измерительный прибор. Современная система мониторинга должна стать органичной частью общей информационной сети предприятия, постоянно обеспечивать персонал и руководство предприятия актуальными данными о состоянии объектов контроля, оперативно оценивать ситуацию и своевременно предупреждать об опасности [10].

**Концепция повреждаемости и прогноз разрушения по данным АЭ.** В ИЭС им. Е. О. Патона

НАНУ созданы и постоянно совершенствуются системы непрерывного АЭ мониторинга семейства ЕМА. Их на протяжении многих лет успешно применяют в производственных условиях для постоянного контроля состояния сосудов давления, хранилищ и оборудования цехов производства аммиака Одесского припортового завода, на мостовых переходах труб аммиакопровода Укрхимтрансаммиак, для периодического контроля различных конструкций на промышленных предприятиях Украины (рис. 3). За 10 последних лет АЭ контролем было охвачено приблизительно 1500 объектов. Следует отметить, что отличием систем ЕМА от существующих аналогов является не только уровень сервиса и удобство для пользователя. Системы ЕМА обеспечивают решение важной для промышленности задачи, а именно полностью автоматизированный ответ на вопросы:

- насколько опасно состояние конструкции в текущий момент;
- при какой нагрузке разрушится конструкция в данных условиях эксплуатации;
- какой остаточный ресурс конструкции.

Решить такую сложную задачу удалось на основе развития концепции повреждаемости [6–9, 14], понимаемой как потеря несущей способности вследствие появления и роста внутренних несплошностей. Проведенные исследования показали

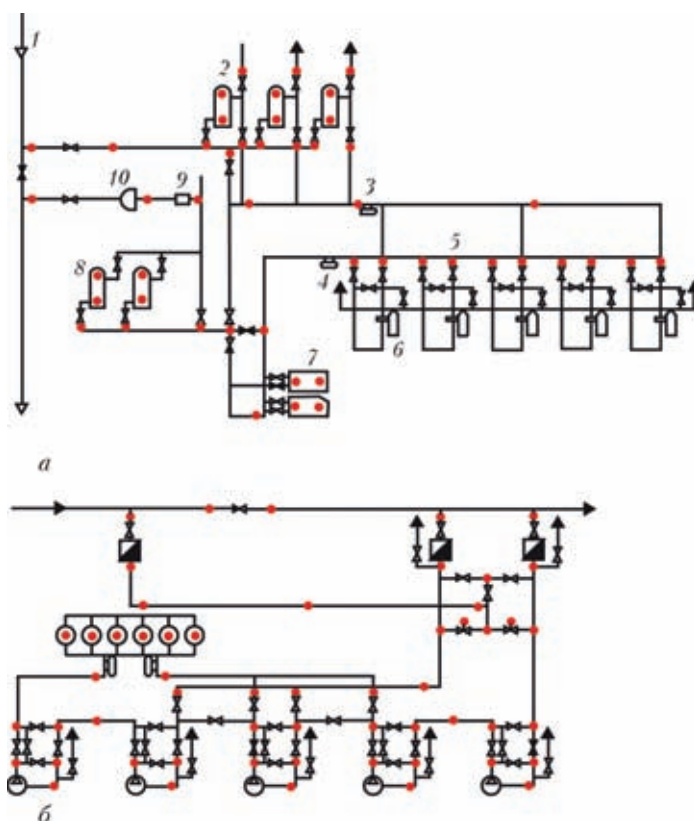


Рис. 7. Размещение датчиков АЭ (показаны красным цветом) при непрерывном АЭ мониторинге КС двух типов: а — с поршневыми ГПА; б — с центробежными нагнетателями (1 — газопровод; 2 — пылеуловитель; 3 — коллектор всасывающий; 4 — маслоуловитель; 5 — коллектор напорный; 6 — ГМК; 7 — холодильник оросительный; 8 — адсорбер; 9 — блок одоризации; 10 — замерный узел)



существование структурно-чувствительных механических параметров, например, коэффициента поперечной деформации, рассеяния твердости, плотности материала, изменение параметров акустических волн и ряда других, которые могут отражать с приемлемой точностью величину накопленной поврежденности.

Также показано, что на стадиях, предшествующих росту трещин, акустическая эмиссия при деформировании материала определяется полем накопленных в нем повреждений. В результате была предложена, обоснована, реализована на компьютере и экспериментально подтверждена модель, представляющая АЭ как результат динамического процесса возникновения и слияния несплошностей, представленных в рамках модели в виде сферических пор.

На базе разработанной модели предложен метод создания и распознавания эталонов, содержащих информацию о типовых процессах накопления повреждений в разных условиях и соответствующими им параметрами АЭ. Созданные эталоны служат основой для определения степени опасности состояния материала с накопленными повреждениями и прогнозирования разрушающих нагрузок, т. е. фактически реального предела прочности материала в данных условиях нагружения.

Алгоритм прогноза разрушающих нагрузок по данным АЭ формализован в виде специализированного программного обеспечения для систем технической диагностики семейства ЕМА. Результаты испытаний большого числа образцов и ряда конструкций показывают эффективность предложенной методики распознавания и прогноза.

В рамках концепции повреждаемости удалось на базе статистической обработки большого объема экспериментальных данных разработать методику расчета остаточного ресурса. Учитывая тему данной публикации, важно отметить, что основная часть упомянутых данных получена при исследовании состояния материала магистральных газопроводов на территории Украины, для которых была проведена комплексная оценка повреждаемости несколькими независимыми методами.

После всесторонней проверки методики прогнозирования разрушающих нагрузок и расчета остаточного ресурса были использованы в работе систем непрерывного мониторинга семейства ЕМА.

**Системы непрерывного АЭ мониторинга.** Системы АЭ диагностики и мониторинга ЕМА-3.9 включают быстродействующую измерительную аппаратуру для получения АЭ информации и программное обеспечение (ПО), реализующее современную технологию оценки состояния конструкций в процессе эксплуатации (рис. 4). Системы ЕМА используют передовые компьютерные технологии для передачи данных и интеграции с компьютерными сетями предприятий и Интерне-

та, включая использование GPRS в сетях операторов мобильной связи, и могут быть построены на базе АЭ приборов различных производителей, унифицированных по протоколу обмена с используемым ПО.

Системы ЕМА проходят метрологическую поверку на базе Госпотребстандарта Украины. Государственные стандарты Украины и нормативные документы, согласованные с Госгорпромнадзором Украины, обеспечивают их применение на различных промышленных конструкциях. На базе Госгорпромнадзора Украины и Технического комитета по технической диагностике и неразрушающему контролю Украины ТКУ-78 осуществляется обучение и сертификация специалистов по применению приобретенных систем. Существует сервисная служба, осуществляющая обслуживание и сопровождение аппаратуры и программного обеспечения в процессе эксплуатации систем.

Сегодня системы ЕМА являются наиболее широко используемыми на предприятиях Украины. Одной из причин выбора именно данных систем является их обеспеченность всем необходимым для внедрения — начиная с более чем 30-летнего опыта разработки и заканчивая техническим сопровождением в течение всего периода эксплуатации и обучения персонала.

**Альтернативные решения.** По имеющимся данным в настоящий момент на магистральных газопроводах и КС не существует внедренных в практику систем непрерывного АЭ мониторинга, подобных системам ЕМА, которые оценивали бы состояние материала и определяли его несущую способность и остаточный ресурс. Поэтому рассмотрим некоторые наиболее близкие по назначению технические решения, позволяющие контролировать состояние объектов газотранспортной отрасли на основе современных методов.

В качестве примера одного из методов диагностики можно привести применяемую российской компанией «НПО МОДУЛЬ СТС» [15] поисково-акустическую систему «ЭХО», предназначенную для оперативного обнаружения мест сужения проходного сечения трубопровода (отложения парафина, механических примесей, мест схлопывания на магистральных путепроводах), в том числе местоположения застрявших технических устройств (диагностических снарядов, очистных поршней и скребков). Система позволяет выполнять работы без вскрытия трубопровода с минимальным привлечением рабочих и технических средств.

В основе метода лежит тот факт, что при постоянном сечении трубопровода течение жидкости в нем имеет малую турбулентность без завихрений и разрывов однородности, и излучения звука практически нет. В местах нарушения однородности течения при помощи микрофона, приставленного к стенке трубы с внешней стороны, прос-



лушивается характерный шум протекающей жидкости. Этот характерный шум распространяется в обе стороны от источника и может быть обнаружен чувствительной аппаратурой на расстоянии до 100 м в зависимости от давления в трубопроводе и грунтовых условий (в сухом грунте дальность регистрации возрастает).

Место, где нарушается полнопроходность сечения, выявляется по уменьшению интенсивности звука при удалении от источника при помощи специальной регистрации фонограммы на компьютере. Определение точного местоположения (позиционирование) с точностью до 1 м осуществляется корреляционным способом при помощи двух датчиков, расположенных по разные стороны от источника звука.

К недостаткам данной разработки можно отнести то, что используемый метод не предназначен для контроля повреждений в материале труб и не может быть использован для оценки и прогноза его состояния. То же можно сказать и про другие системы обнаружения утечек (СОУ) [16], такие как средства для измерения расхода газа на базе УЗ расходомеров, автоматизированные системы контроля трубопроводов «WaveControl» компании LB Sky Global, основанные на анализе сигналов АЭ, инфразвуковые системы мониторинга течей в трубопроводах «ИСМТ» разработки НПФ «ТОРИ» и др.

Предприятие «НПП Промдиагностика», г. Санкт-Петербург, опыт которого [17] включает диагностику 180 метров подземного газопровода, ДУ 1000 компрессорной станции «Тума», газгольдеров и ряда других промышленных объектов, разработало схему АЭ диагностики газонаполнительной станции. Метод АЭ рекомендуется использовать по следующим схемам, включающим в ряде случаев использование других средств НК.

*Проводят АЭ контроль объекта.* В случае выявления источников АЭ в месте их расположения проводят контроль одним из традиционных методов НК — ультразвуковым (УЗК), радиационным, магнитным (МПД), капиллярным (КД) и другими, предусмотренными нормативно-техническими документами (НТД). Данную схему используют при контроле объектов, находящихся в эксплуатации. При этом сокращается объем традиционных методов НК, поскольку в случае применения традиционных методов необходимо проведение сканирования по всей поверхности (объему) контролируемого объекта.

*Проводят контроль одним или несколькими методами НК.* При обнаружении недопустимых (по нормам традиционных методов контроля) дефектов или при возникновении сомнения в достоверности применяемых методов НК проводят контроль объекта с использованием метода АЭ. Окончательное решение о допуске объекта в эк-

сплуатацию или о ремонте обнаруженных дефектов принимают по результатам проведенного АЭ контроля.

При наличии в контролируемом объекте дефекта, выявленного одним из методов НК, метод АЭ используют для слежения за развитием этого дефекта. При этом может быть использован экономный вариант системы контроля, с применением одноканальной или малоканальной конфигурации АЭ аппаратуры.

*Метод АЭ может быть использован для оценки остаточного ресурса и решения вопроса относительно возможности дальнейшей эксплуатации объекта.* Оценка ресурса проводится с использованием специально разработанной методики (данные по методике не приведены).

В настоящее время предприятие «НПП Промдиагностика» использует 16-тиканальную аппаратуру АЭ контроля собственной разработки СДАЭ-16, которая по информации предприятия является системой «пятого поколения» (метод классификации поколений аппаратуры не представлен). По конструктивному исполнению данная система имеет определенное сходство с 16-тиканальной системой ЕМА-3 образца 2003 г. (рис. 5), несколько уступая ей по техническим данным (число технологических каналов, динамический диапазон и др.).

Говоря о недостатках предлагаемых предприятием решений в первую очередь следует отметить, что стационарного варианта системы СДАЭ — промышленного исполнения, с числом каналов, большим 16, предназначенного для длительного автоматизированного непрерывного мониторинга состояния материала — не существует. Об отсутствии опыта непрерывного АЭ мониторинга КС свидетельствуют и предложенные варианты проведения контроля. В отличие от систем ЕМА, которые проводят оценку состояния материала только по данным АЭ, предлагаемая технология контроля в настоящий момент не может обойтись без использования традиционных методов НК.

В связи с ограничениями, накладываемыми на объем данной публикации, перечислить все проводимые работы в области АЭ контроля было бы затруднительно, поэтому отметим только, что другие предприятия, осуществляющие АЭ контроль промышленных объектов, в частности, РАС, Digital Wave, Dunnegan, АЕТ (США), AVT (Великобритания, Норвегия), Acutest Ou (Финляндия), CGR, Aerospatiale (Франция), Vallen Systeme (Германия), Videoton, Gereb Es Tarsa (Венгрия), CVUT (Чехия), Институт механики в Болгарии, Институт сварки в Гливице (Польша), Институт ядерных исследований им. С. Курчатова, Ростовский университет, предприятия «Алькор» и «Интерюнис» (Россия), используют аналогичные НПП «Промдиагностика» методики проведения АЭ испытаний.





Помимо разработок в области АЭ диагностики, весьма интересен (рис. 6) пример установки предприятия «Дигаз», г. Москва, системы непрерывного мониторинга трубопроводной обвязки газокompрессорной станции, основанной на оценке напряженно-деформированного состояния материала (НДС). Месторасположение данной КС характеризуется сложными геологическими условиями:

- высоким уровнем грунтовых вод;
- сезонными подвижками грунта;
- возможностью размыва грунта и образования пустот.

Задачей мониторинга является обеспечение контроля НДС трубопроводной обвязки всех групп оборудования, а также подземных трубопроводов. Для опытной эксплуатации системы мониторинга было использовано минимально необходимое количество датчиков, для чего они были установлены только в зонах концентрации напряжений. Для определения местоположения таких зон проведены расчеты НДС обвязок газоперекачивающих агрегатов, аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа и пылеуловителей (ПУ) на основе метода конечных элементов. В качестве источника информации о НДС использованы датчики деформации струнного типа.

Данный пример представляется наиболее интересным с практической точки зрения, хотя он и не имеет отношения к АЭ контролю. Постоянное отслеживание напряженного состояния материала является важным средством обеспечения безопасности объектов контроля. Как и непрерывный АЭ мониторинг, данное средство позволяет оперативно реагировать на изменения в напряженном состоянии и своевременно предпринимать меры по недопущению перегрузок.

Следует отметить успешный опыт применения подобной технологии и в Украине. Оборудование и технология оценки напряженного состояния разработаны совместно специалистами НГУУ «КПИ» и ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ и применяются, в частности, при непрерывном мониторинге и периодическом контроле состояния аммиакопроводов предприятия «Укрхимтрансаммиак».

К сожалению, как уже отмечалось выше, метод измерения НДС при помощи деформометров не позволяет, в отличие от метода АЭ, обеспечить полный контроль даже одного участка трубопровода КС, не говоря уже о всей обвязке, поскольку НДС замеряется непосредственно под датчиком. Поэтому, если сравнивать такой метод мониторинга с методом АЭ, преимущества последнего проявились бы наиболее полно — датчики на газовых трубах, как показывает имеющийся у специалистов ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ опыт контроля труб магистральных газопроводов, газораспределительных станций и другого газового оборудования, в некоторых случаях можно разме-

щать на расстоянии до 80...100 м один от другого, при этом полностью контролируя весь участок трубы между ними.

**Предложения по внедрению непрерывного АЭ мониторинга.** Учитывая имеющийся в ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ опыт [6–14] по созданию и эксплуатации более 10 стационарных систем непрерывного АЭ мониторинга потенциально опасных промышленных объектов (первая в Украине была установлена в 2002 г. на ОПЗ), имеющуюся материально-техническую базу по технической и интеллектуальной поддержке эксплуатации оборудования, необходимые возможности по подготовке специалистов и методических материалов, оснащение магистральных газопроводов и КС системами мониторинга семейства ЕМА представляется наиболее перспективным.

Контроль магистрального газопровода представляет собой во многих вопросах отработанную технически, хотя и требующую определенных затрат на оборудование, задачу. Учитывая высокую чувствительность метода АЭ, расстояние между соседними датчиками может составлять, как упоминалось выше, десятки метров. При этом будет обеспечен стопроцентный контроль состояния трубы. В настоящее время существуют технические решения, при которых связь датчиков с измерительным оборудованием может осуществляться без проводов, в частности, с использованием мобильной сотовой сети. Разработанные методы локации сигналов АЭ позволяют определять координаты возникших повреждений с достаточно высокой точностью при неравномерном размещении датчиков, что решает задачу повышения надежности локации на наиболее опасных участках.

Компрессорная станция в зависимости от количества ниток магистральных газопроводов может состоять из одного, двух и более компрессорных цехов, оборудованных одним или несколькими типами ГПА. Как правило, каждый цех КС работает на свой газопровод. Из-за технологических соображений транспорта газов, компрессорные цеха могут быть соединены специальными перемычками, на входе и выходе станции.

Типовая технологическая обвязка [3–5] компрессорного цеха предназначена для обеспечения приема на станцию транспортируемого по газопроводу технологического газа, его очистки от механических примесей и капельной жидкости в специальных ПУ и фильтр-сепараторах, распределения потоков газа по газоперекачивающим агрегатам с обеспечением их оптимальной загрузки, возможности охлаждения газа после его компримирования перед подачей в газопровод, вывода цеха для работы на «стационарное кольцо» при пуске и остановке, а также транзитного прохода транспортируемого газа по магистральному газопроводу, минуя КС. Кроме того, технологическая



обязка компрессорного цеха должна обеспечить возможность сброса газа в атмосферу из всех его технологических газопроводов через специальные свечные краны.

В зависимости от типа центробежных нагнетателей, используемых на КС, различают основные принципиальные схемы обвязок ГПА с параллельной, коллекторной обвязкой, характерную для полнопорных нагнетателей, и схему с последовательной обвязкой.

С точки зрения установки датчиков АЭ не существует принципиальной разницы, какую из схем обвязки используют на конкретной КС. Для монтажа стационарной системы непрерывного АЭ мониторинга основными являются вопросы физического размещения измерительных блоков (в специальных взрывопожарозащищенных контейнерах) и прокладки линий коммуникации.

В качестве примера покажем вариант возможного размещения датчиков АЭ на двух типах КС (рис. 7). Приведенные схемы обеспечивают полный, стопроцентный контроль выбранных участков с акцентированием особого внимания на наиболее опасных местах (агрегатах, задвижках и т. д.). Отметим еще раз, что метод АЭ позволяет контролировать не только места, где расположены датчики, но и участки между ними. Дополнительно, по желанию заказчика, система может регистрировать и эксплуатационные параметры, такие как нагрузка, давление, температура и др., с последующим их анализом совместно с получаемыми данными АЭ контроля.

Кабельные линии связи от мест установки датчиков прокладывают до литых алюминиевых шкафов-контейнеров, в которых размещены подсистемы АЭ и источник бесперебойного питания, оснащенных системами климатконтроля (аппаратурные шкафы).

Электрический сигнал, поступающий от датчиков, оцифровывается и поступает на предварительную обработку одной из подсистем АЭ, а оттуда по компьютерной сети результат обработки направляется в центральный управляющий сервер. Управляющий сервер служит одновременно для окончательной обработки поступившей информации, вывода ее на экран монитора или терминала, принятия решения о состоянии объекта контроля и передачи результатов контроля одному или нескольким клиентам.

Эффективная работа систем ЕМА достигается также их интеграцией с заводскими компьютерными сетями и Интернет. Сегодня имеется накопленный положительный опыт авторского надзора специалистами ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ за результатами непрерывного АЭ мониторинга, создания интегрирующих информационных систем, объединяющих результаты мониторинга разных объектов на одном экране и проводящих их сов-

местный анализ. Развитие телекоммуникационных средств позволило разработать для систем ЕМА наиболее современные способы передачи АЭ информации с использованием мобильного Интернета, учитывая постоянное улучшение качества мобильной связи, расширение зон покрытия и повышение мощности компьютеров.

Отметим также, как весьма важную, экономическую составляющую при решении данной проблемы. Оснащение КС системами непрерывного АЭ мониторинга, как показывает опыт эксплуатации таких систем на других предприятиях, обеспечивает достаточно быструю самоокупаемость (6–12 месяцев) и обеспечивает следующие источники рентабельности:

- сокращение простоев;
  - снижение числа плановых остановок;
  - предотвращение аварий;
  - сокращение времени контроля;
  - сокращение времени и расходов на запуск после испытания или ремонта;
  - снижение расходов на оплату процедуры контроля;
  - снижение расходов на принятие решения о состоянии конструкции;
  - сокращение численности контролирующего персонала;
  - снижение расходов на диагностическое оборудование;
  - унификация процедуры контроля для всего предприятия;
  - снижение затрат на замену оборудования и программного обеспечения за счет унификации обмена данными;
  - снижение расходов на обучение специалистов.
- Таким образом, имеются все необходимые аппаратные, программные и организационные средства для оснащения магистральных газопроводов и КС системами непрерывного АЭ мониторинга, а их использование является источником обеспечения безопасной эксплуатации и повышения рентабельности работы объектов газотранспортной отрасли.

1. *Анализ причин аварийности* // Газовая промышленность. — 1989. — № 10. — С. 2–5.
2. *Должанский П. П.* Контроль надежности металла объектов котлонадзора. — М.: Недра, 1985. — 264 с.
3. <http://www.sgaustin.ru>
4. *Никишин В. Н., Коршаков Б. П.* Энергетика трубопроводного транспорта газа / Под ред. А. Н. Казаченко. — М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. Е. М. Губкина, 2001.
5. *Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов.* — М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. Е. М. Губкина, 1999.
6. *Недосека А. Я., Недосека С. А.* Акустическая эмиссия и ресурс конструкций (Обзор) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 2. — С. 3–11.
7. *Недосека А. Я., Недосека С. А.* Об оценке надежности эксплуатирующихся конструкций (состояние вопроса и перспектива развития) // Там же. — 2010. — № 2. — С. 7–17.



8. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Индпром, 2008. — 812 с.
9. Недосека А. Я., Недосека С. А. Акустическая эмиссия и квантовый характер разрушения материалов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2009. — № 3. — С. 11–17.
10. Недосека С. А., Недосека А. Я. Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор) // Там же. — 2005. — № 3. — С. 20–26.
11. Недосека С. А. Контроль линии синтеза аммиака системой АЭ диагностики ЕМА-3У // Там же. — 2003. — № 4. — С. 24–28.
12. Об опыте применения АЭ технологии при непрерывном мониторинге оборудования Одесского припортового завода / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, М. А. Яременко и др. // Там же. — 2008. — № 4. — С. 85–95.
13. Особенности функционирования технологических трубопроводов при высоких температурах / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, О. И. Бойчук и др. // Там же. — 2009. — № 2. — С. 5–10.
14. Недосека С. А., Недосека А. Я. Комплексная оценка поврежденности и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной наработкой // Там же. — 2010. — № 1. — С. 9–16.
15. <http://npomodul-sts.ru>
16. <http://leakdetection.ru>
17. <http://www.promdiagnostika.ru>

Поступила в редакцию  
03.11.2011

## ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах»

Украина, Крым, Большая Ялта,  
Дом творчества ученых «Кацивели» НАНУ, 29 мая – 01 июня 2012 г.



Национальная академия наук Украины  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Международная ассоциация «Сварка»  
Местный благотворительный фонд «Содружество сварщиков»

### Тематика конференции

#### Математическое моделирование:

- ♦ физических явлений, определяющих эффективность и распределение тепловложений при сварочном нагреве;
- ♦ процесса переноса металла при сварке;
- ♦ образования и гидродинамики сварочной ванны при сварке плавлением сплошных и пористых материалов;
- ♦ кристаллизации сварочной ванны, химического состава зоны проплавления и образования химической неоднородности;
- ♦ кинетики микроструктурных изменений при одно- и многопроходной сварке;
- ♦ зависимости химический состав — микроструктура — механические свойства;
- ♦ кинетики деформационных процессов в температурных интервалах образования горячих трещин и условий их предупреждения;

- ♦ термомеханических процессов при сварке давлением с учетом больших деформаций;
- ♦ транспорта водорода в сварных соединениях;
- ♦ оценки риска образования холодных (водородных) трещин;
- ♦ остаточных напряжений и деформаций при многопроходной сварке с учетом изменений микроструктуры металла;
- ♦ деградации свойств материала сварных соединений под воздействием высоких температур, химически агрессивных сред и ядерного облучения;
- ♦ процесса идентификации дефектов в сварных соединениях при неразрушающих методах испытаний.

#### Информационные технологии в сварке, наплавке и нанесении покрытий.

- ♦ Рабочие языки конференции — украинский, русский, английский.
- ♦ Для участия в конференции необходимо заполнить регистрационную карточку и направить ее в Оргкомитет до 15 марта 2012 г. К началу конференции будут изданы тезисы докладов.
- ♦ Требования к оформлению тезисов: Текст следует набирать на одном из рабочих языков в редакторе WORD (кегель 12, через 1,5 интервала). Объем тезисов — 1 страница.

#### Основные даты

Подача заявок на участие и тезисов докладов до 15.03.2012 г. Рассылка второго информационного сообщения до 30.03.2012 г. Рассылка приглашений на конференцию и подтверждение участия до 20.04.2012 г. Оплата организационного взноса производится на основании счетов Оргкомитета или непосредственно во время проведения конференции.

#### Оргкомитет

Украина, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Тел./факс: (38044) 200-82-74  
E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua), [romanova@paton.kiev.ua](mailto:romanova@paton.kiev.ua)  
[www.paton.kiev.ua](http://www.paton.kiev.ua)