



КОНТРОЛЬ ЛИНИИ СИНТЕЗА АММИАКА СИСТЕМОЙ АЭ ДИАГНОСТИКИ ЕМА-3У

С. А. НЕДОСЕКА

Примером успешного применения диагностической системы ЭМА-3У может служить контроль линии синтеза аммиака, проведенный на одном из химических предприятий Украины. Здесь впервые были продемонстрированы некоторые преимущества данной системы, в частности, работа в полностью автоматическом режиме непрерывного мониторинга, не требующем вмешательства оператора, и дистанционный контроль за работой системы. Результаты испытания показали перспективность внедрения мониторинговых систем АЭ диагностики на ответственных объектах химических производств.

An example of successful application of diagnostic ЕМА-3U system can be control of the line of ammonia synthesis, conducted in one of the chemical enterprises of Ukraine. Some of the advantages of this system were demonstrated here for the first time, namely operation in the fully automated mode of continuous monitoring, not requiring the operator intervention, and remote control of the system operation. Testing results showed the good prospects for introduction of monitoring systems of AE diagnostics in critical objects of chemical productions.

Контроль ответственных объектов промышленности, таких, как заводские технологические линии, в пусконаладочный период представляет собой достаточно трудоемкую задачу. Указанный период характеризуется неопределенностью реальных сроков проведения этапов работ, требуемых для ввода объектов в штатный режим эксплуатации, возможностью возникновения внештатных ситуаций в процессе выхода на рабочий режим, а также отсутствием достаточной информации о текущих параметрах состояния отдельных узлов и агрегатов.

Данная ситуация в полной мере относится и к контролю линий синтеза аммиака, состоящих из десятков агрегатов, включающих колонны синтеза, турбины, резервуары и трубопроводные системы. Использование систем АЭ диагностики для оценки состояния таких технологических линий решает ряд важных вопросов, которые трудно решить с использованием других неразрушающих методов контроля.

В первую очередь, это 100%-ный контроль основного металла и сварных швов. Метод АЭ обеспечивает, в частности, прием информации из тех недоступных мест, к которым невозможен подход с дефектоскопами, которые скрыты под слоем изоляции, которые работают при высоких и низких температурах. Далее, контроль всех объектов осуществляется одновременно и непрерывно, и позволяет силами одного оператора осуществлять изучение и анализ ситуации в целом. Современные системы АЭ диагностики позволяют регистрировать и накапливать в памяти компьютера огромные объемы данных в процессе испытаний, а затем по окончании испытаний, проводить их многократный виртуальный повтор, что обеспечивает возможность всестороннего глубокого анализа полученных результатов. Но наиболее важной особенностью АЭ диагностики является возможность обнаружения опасной ситуации непосредственно в процессе испытания, часто на той стадии, когда локальное разрушение объекта, течь или другой

дефект только начинает формироваться. Это делает АЭ диагностику незаменимым инструментом предотвращения аварий.

Примером успешного применения диагностической системы ЕМА-3У может служить проведенный контроль линии синтеза аммиака на одном из химических предприятий Украины. Здесь впервые были продемонстрированы некоторые преимущества данной системы, дополняющие приведенные выше. Такими преимуществами является работа в полностью автоматическом режиме непрерывного мониторинга, не требующем вмешательства оператора, и дистанционный контроль за работой системы, осуществляемый посредством локальной сети или Интернет. Важность автономной работы весьма велика. В течение пуско-наладочного периода могут возникать ситуации, опасные для персонала, в частности, выбросы аммиака. Система ЕМА-3У может продолжать работу, в то время как операторы находятся в безопасном месте. Автономный источник питания в сочетании с программой слежения, самотестирования и самовосстановления обеспечивают системе ЕМА-3У беспрецедентный уровень надежности.

При выполнении процедуры контроля линии синтеза аммиака передвижную диагностическую лабораторию, смонтированную в микроавтобусе (см. цв. вклейку, рис. 1), необходимо размещать возле диагностируемых узлов и агрегатов. Наряду с 16-канальной системой ЕМА-3У для контроля линии синтеза использовали также две восьмиканальные системы ЕМА-2, не имеющие средств для автономной работы. Во время одного из этапов поднятия рабочего давления по правилам техники безопасности необходимо было удаление персонала из зоны, прилегающей к агрегатам линии синтеза. В связи с этим работа двух систем ЕМА-2 была временно остановлена, в то время как система ЕМА-3У продолжала работу в автоматическом режиме, оценивая опасность состояния объектов кон-



Таблица 1. Контролируемые изделия, номера каналов АЭ и тип локационных антенн

Номера каналов	Тип объекта контроля	Условное обозначение объекта	База, м	Длина, м	Тип локации
5	Трубопровод	A	—	—	Зонный
6	Трубопровод	B	—	—	Зонный
7–8	Сосуд давления	C	10	11	Линейный (7 – на выходе; 8 – на корпусе)
9	Сосуд давления	D	—	≈1,2	Зонный
10–11	Сосуд давления	E	6,7	7,5	Линейный (верх – фланец; низ – днище)
12–13	Сосуд давления	F	5,2	9	Линейный (на корпусе)
14–15	Сосуд давления	G	3,6	10	Линейный (на корпусе)

Таблица 2. Регулировка порогов (Дб) по датчикам АЭ в процессе нагружения линии синтеза аммиака

Время начала испытания	Состояние объекта	Номера каналов АЭ											
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
18.07.03 15:30:00	Подъем давления до 3 МПа	21	22	18	15	15	18	16	18	14	15	15	15
18.07.03 18:01:33	Выдержка при 3 МПа	24	32	24	22	15	28	24	30	22	22	22	22
19.07.03 02:32:05	Подъем давления до 13 МПа	32	32	22	24	32	28	24	30	22	22	22	22
19.07.03 14:33:09	Выдержка при 13 МПа	40	40	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20
19.07.03 21:35:03	Подъем давления до 15 МПа	40	40	20	20	40	22	22	22	22	22	22	22
19.07.03 23:35:08	Выдержка при 15 МПа	40	40	24	24	40	24	24	24	24	24	24	24
20.07.03 00:15:18	Подъем давления до 23 МПа	40	40	24	24	40	24	24	24	24	24	24	24
20.07.03 10:07:44	Выдержка при 23 МПа	40	40	24	24	40	24	24	24	24	24	24	24
21.07.03 07:25:00	Момент фиксации утечки аммиака (объект G), давление 25,9 МПа	40	40	24	24	40	24	24	24	24	24	24	24

троля и записывая необходимые данные на жесткий диск компьютера.

Датчики АЭ крепятся на объектах контроля перед началом испытаний. Для закрепления (см. цв. вклейку, рис. 2) датчиков на металлической поверхности использовали акустико-прозрачный, связующий состав и внешнюю фиксацию клеящей лентой.

Испытание линии синтеза аммиака химического завода системой АЭ диагностики ЕМА-ЗУ проведено в режиме периодически непрерывного мониторинга в течение 4 сут. Время начала испытания 18.07.03 15:30:00. Время завершения испытания 21.07.03 08:02:00. Нагружение линии синтеза до штатного давления проводили в несколько этапов, с периодическим подъемом и сбросом рабочего давления, в связи с чем происходили и колебания температуры рабочего агента. В процессе испытания проводили ряд пуско-наладочных и ремонтных работ, на протяжении которых запись информации системой ЕМА-ЗУ не велась.

Обобщенный график изменения рабочего давления и температуры (некоторые упрощения вида графика сделаны на участках колебания рабочих параметров при выполнении технологических операций) приведен на рис. 3 (см. цв. вклейку).

Системой ЕМА-ЗУ контролировали семь объектов (табл. 1).

Измерение акустической активности и координат расположения потенциально опасных источников АЭ проводили как в периоды подъема рабочего давления, так и в моменты кратковременных и длительных выдержек. Измерение акустической эмиссии при выдержках является наиболее пока-

зательным, поскольку при выдержках отсутствуют шумы, возникающие вследствие работы системы нагружения и движения рабочего вещества. Если в период выдержки не обнаружены сигналы АЭ, существенно превышающие допустимое значение выбранного аналитического показателя*, то это является свидетельством нормального состояния контролируемого объекта.

Определенные методические сложности представляет правильный выбор режимов работы аппаратуры в различные периоды испытаний и настройка параметров таким образом, чтобы фиксировались сигналы АЭ, несущие информацию о развивающихся дефектах. Для этого перед началом нагружения контролируемых объектов следует устанавливать пороги дискриминации сигналов АЭ таким образом, чтобы при отсутствии нагрузки сигналы дискретной АЭ отсутствовали, а уровень порогов превышал средний уровень шума. В процессе испытаний уровень порогов корректировали (табл. 2), исходя из этих же соображений, но дополнительно учитывают шумы и дискретные сигналы АЭ, вызванные процессом нагружения. К особенностям таких сигналов следует отнести отсутствие четкой локализации источника и низкий уровень амплитуды.

Подъем рабочего давления характеризуется более высокой АЭ активностью, чем в периоды выдержки, поэтому величину порогов корректируют в сторону увеличения. В то же время особенности технологического цикла запуска линии

*Устанавливается перед контролем на основании испытания специальных образцов.



синтеза аммиака таковы, что отдельные агрегаты нагружаются в различное время. Аналогично, в момент выдержки давления на основном участке (колонна синтеза) может наблюдаться подъем рабочего давления в некоторых агрегатах и трубопроводных системах.

Процесс записи акустической эмиссии происходил в автоматическом режиме, используемом для непрерывного мониторинга конструкций. За процессом мониторинга велся непрерывный контроль группой специалистов. Запись результатов испытания на жесткий диск системы ЕМА-3У происходила через каждые 20 мин. Таким образом, с учетом остановок записи при проведении технологических операций и при настройке аппаратуры, общее время записи составляет 1960 мин, т. е. приблизительно 33 ч.

Результаты испытаний сохранены в 98 файлах общей емкостью 482 Мб. В процессе испытаний не было выявлено опасных дефектов основного металла контролируемых объектов. Отмечено периодическое повышение АЭ активности на отдельных агрегатах в момент повышения рабочего давления.

Во время заключительного периода испытаний (рабочее давление превышало 23 МПа) произошло частичное разрушение корпуса патрубка для размещения термопары, с последующей утечкой аммиака (объект *G*). Система ЕМА-3У показала высокий уровень АЭ активности. Однако, для состояния основного металла указанная ситуация не представляла опасности, о чем свидетельствовала аналитическая составляющая сигналов АЭ и их равномерное распределение по длине локационной антенны.

Результаты испытаний. Все испытания проведены при одинаковых установках режима усиления (логарифмический режим) и с одинаковым типом порога дискриминации, а именно фиксированным. Такая схема настройки аппаратуры позволяет четко ограничить уровень пропускаемых сигналов и в то же время увеличить информативность за счет регистрации сигналов с относительно низкой амплитудой. Поэтому при испытаниях четко фиксируются моменты начала активности АЭ на каждом из контролируемых объектов, а характер акустической эмиссии позволяет судить о степени опасности их состояния.

Начальный момент испытаний характеризуется низкой активностью АЭ и низким уровнем непрерывной АЭ. При относительно низких порогах зафиксирована акустическая эмиссия невысокого уровня и в незначительных количествах.

В частности, для объекта *F* при испытании на этой стадии показано появление 17 сигналов АЭ на протяжении 20 мин испытания, из которых в зону контроля попали только 2 (см. цв. вклейку, рис. 4). Уровень непрерывной АЭ также весьма незначителен.

Первая из осуществленных выдержек характеризуется отсутствием акустической активности, уровень шумов по отдельным участкам контроля повышен, что связано с движением рабочего вещества. На рис. 5 (см. цв. вклейку) четко виден участок отсутствия АЭ сигналов на этапе выдержки

(правый нижний график), перед этим число сигналов АЭ также незначительно. Анализ параметров сигналов АЭ, проведенный непосредственно при данном испытании, показал их случайный характер, не связанный с процессом разрушения.

Дальнейшее нагружение линии синтеза аммиака характеризуется периодически высокой активностью АЭ. Наиболее важными показателями опасности состояния контролируемого объекта в этом случае являются появление сигналов с высоким аналитическим показателем и локализация сигналов в одной области, что говорит о наличии формирования зоны разрушения. Ни один из этих показателей при дальнейшем поднятии рабочего давления не был зафиксирован ни на одном из контролируемых участков.

Как правило, во временные периоды с высокой активностью АЭ характер распределения сигналов по длине контролируемого участка равномерный, распределение амплитуд равномерное. Таким образом, данный временной участок подъема рабочего давления свидетельствует о нормальном состоянии всех нагружаемых объектов.

На рис. 6, 7 (см. цв. вклейку) представлены результаты испытания, проведенного 19.07.03 (начало в 05:07:08). Для двух объектов контроля (*C* и *F* соответственно) отмечена высокая активность АЭ. Как видно из рисунков, сигналы акустической эмиссии излучаются равномерно по всей протяженности зоны контроля. Амплитуда пришедших сигналов имеет такой же уровень, как и амплитуды сигналов на стадии первоначального нагружения и первой выдержки.

Следовательно, опасные дефекты в основном материале контролируемых объектов отсутствуют. Указанное обстоятельство позволило продолжить дальнейший подъем рабочего давления в агрегатах линии синтеза аммиака.

Последующий подъем давления и проведенные выдержки показали, что состояние контролируемых объектов является нормальным. Особенно показательны результаты, полученные при выдержке давления на уровне 23 МПа (см. цв. вклейку, рис. 8). Все контролируемые объекты в момент выдержки характеризуются полным отсутствием или крайне незначительным количеством сигналов АЭ. Наиболее «шумным» является участок трубопровода, расположенный под датчиком 5. Однако, уровень амплитуды сигналов относительно невысокий, а количество сигналов невелико.

Последующий подъем рабочего давления до уровня 25,9 МПа показал отсутствие опасных дефектов в материале объектов контроля. Предварительный анализ полученных результатов показал, что все они пригодны к дальнейшей эксплуатации при данном давлении.

Особое внимание следует уделить объекту *G*. На протяжении всего процесса испытаний, вплоть до рабочего давления 23 МПа, на объекте акустическая эмиссия была крайне незначительной или вообще отсутствовала. При рабочем давлении, превышающем 23 МПа, зафиксировано внезапное появление большого числа сигналов АЭ, обладающих невысокой амплитудой. Распределение сигналов

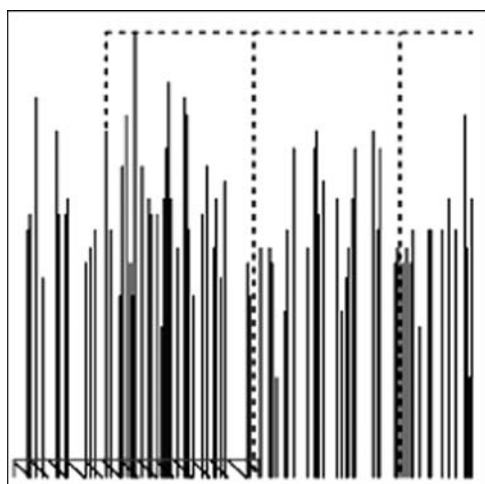


Рис. 10. АЭ на участке контроля до возникновения дефекта (объект G)

по контролируемому участку равномерное, без выраженной локализации. Дальнейшее наблюдение за объектом показало, что обнаруженная акустическая эмиссия не может относиться к развитию опасных дефектов основного металла изделия, и вызвана, по всей вероятности, технологическими шумами.

Было предложено обратить внимание на данный объект, с целью выяснения причин высокой акустической активности, не характерной для остальных контролируемых изделий. В момент фиксации такого уровня активности на объекте G остальные объекты характеризуются полным отсутствием дискретной акустической эмиссии, что и послужило основанием для усиления внимания к данному случаю.

Дальнейшее нагружение объекта G проходило без каких либо повреждений, однако 21.07.03 произошло частичное разрушение корпуса патрубка для размещения термопары, с последующей незначительной утечкой аммиака. Данный дефект не относится к основному металлу контролируемого

изделия, а указанный патрубок не являлся объектом контроля. Однако, он послужил источником повышенной акустической активности. Характер акустической эмиссии, вызванной данным дефектом (см. цв. вклейку, рис. 9), не мог рассматриваться как локальное разрушение основного металла, и в действительности не являлся таковым.

Тем не менее, следует отметить высокий уровень чувствительности системы ЕМА-ЗУ, позволивший обнаружить (не квалифицируя) и дефект такого рода, не входивший в зону контроля.

Акустическая эмиссия, зарегистрированная после обнаружения указанного выше дефекта, носит такой же характер, как и до его появления. Таким образом, акустические волны, порожденные локальным дефектом, распространяются равномерно по всей поверхности объекта. Наибольшее количество сигналов АЭ, обозначенных на рис. 10 самым высоким заштрихованным прямоугольником, приблизительно соответствует месту последующего возникновения дефекта, однако локализация АЭ в данной зоне не наблюдается.

На основании анализа результатов испытаний были сделаны следующие выводы и рекомендации для служб технического надзора предприятия.

1. За время проведенных АЭ испытаний линии синтеза аммиака системой ЕМА-ЗУ не было обнаружено опасных дефектов в основном металле и сварных соединениях контролируемых объектов.

2. Периодически во время подъема рабочего давления наблюдалась повышенная АЭ активность в объектах C, E, F, G (рис. 11). Рекомендуется проводить периодический (1 раз в 3-4 месяца) контроль данных объектов при штатном давлении.

3. Система ЕМА-ЗУ показала высокую чувствительность к нетипичным дефектам, заблаговременно обнаружив повышенную акустическую активность в месте будущего частичного разрушения корпуса патрубка для размещения термопары.

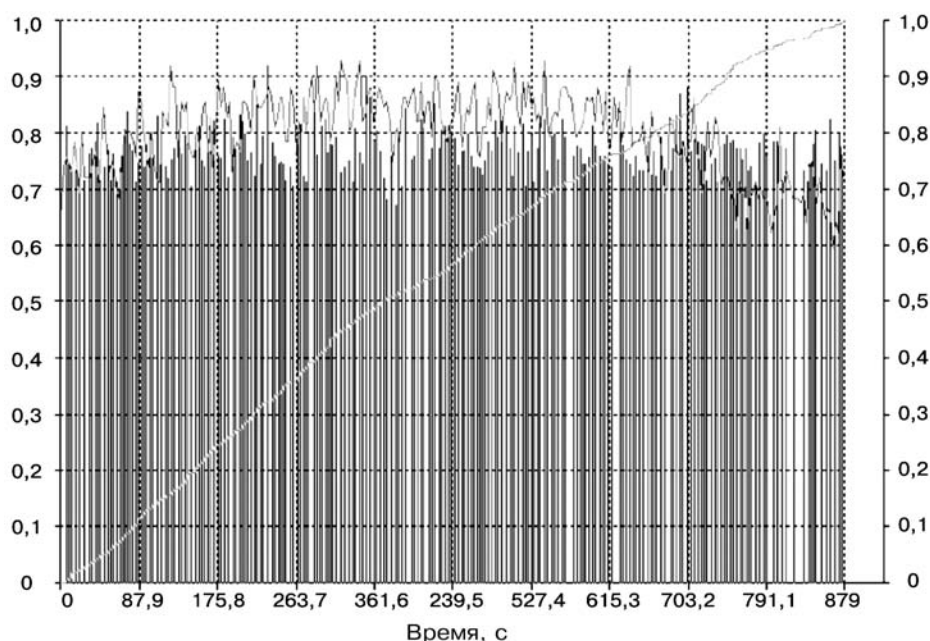


Рис. 11. Временная диаграмма АЭ на участке контроля после возникновения дефекта (объект G)



4. Для обеспечения безопасной эксплуатации и предотвращения развития опасных дефектов рекомендуется оснастить линию синтеза аммиака системой непрерывного АЭ мониторинга.

Последняя рекомендация должна быть рассмотрена более подробно.

Несмотря на проведенный контроль, который показал нормальное состояние контролируемых объектов, их дальнейшая эксплуатация сопровождается влиянием многочисленных факторов на несущую способность и остаточный ресурс. К таким факторам относятся циклические и случайные колебания температуры и рабочего давления, коррозионные процессы, изменения температуры внешней среды, ветровой нагрузки и т. д. [1]. Все эти факторы трудно или невозможно учесть в расчетах, особенно с учетом того, что многие объекты линии синтеза аммиака близки к исчерпанию своего расчетного ресурса. Материал после длительной эксплуатации может иметь другие химические и прочностные свойства, чем те, которые по существующим нормативам следует закладывать в расчет. Постепенное накопление рассеянных повреждений будет приводить к тому, что, в частности, твердость, измеренная в различных точках поверхности, будет существенно отличаться. Это может служить показателем поврежденности металла на отдельных участках [2], но, как и периодический контроль любым из существующих неразрушающих методов, не может гарантировать своевременного обнаружения опасных дефектов в объеме всей технологической линии.

Кардинальным решением указанной проблемы является внедрение систем непрерывного мониторинга, контролирующих все или большинство агрегатов технологической линии по схеме 24 ч в сутки — 7 дней в неделю. Системы непрерывного мониторинга ЕМА-ЗС в настоящее время используются для контроля хранилищ аммиака и могут быть применены для контроля линий синтеза аммиака. Наряду с параметрами сигналов акустической эмиссии, они регистрируют технологические

параметры, к важнейшим из которых относятся нагрузка (например, рабочее давление), деформация и температура. На базе анализа ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА (ВСМ), включающего эти параметры, системы ЕМА-ЗС выполняют прогноз разрушающей нагрузки и остаточного ресурса. Два вида прогноза — на текущий момент и долгосрочный — позволяют диагностическим службам своевременно принимать меры по устранению выявленных дефектов и изменению эксплуатационных параметров для обеспечения безопасной эксплуатации конструкций.

Использование современных компьютерных технологий не только позволило реализовать безотказную работу системы, но и решить вопрос доступа к результатам контроля для любого специалиста диагностической службы в любой момент времени. Доступ к диагностической системе в реальном времени посредством локальной компьютерной сети или Интернета решает на новом уровне задачу принятия решения о текущем состоянии объекта контроля и служит дополнительному повышению безопасности его эксплуатации.

Выводы

Проведенный диагностический контроль линии синтеза аммиака в пуско-наладочный период показал высокую эффективность применения АЭ диагностики для обеспечения безопасности одновременного ввода в эксплуатацию комплекса объектов технологической линии.

Наиболее перспективным направлением обеспечения безопасной эксплуатации линий синтеза аммиака и аналогичных сложных производств является оснащение их системами непрерывного АЭ мониторинга.

1. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Изд-во «ИНДПРОМ». — 816 с.
2. Оценка состояния металла труб после длительной эксплуатации в системе магистральных газопроводов / А. А. Лебедев, С. А. Недосека, Н. Р. Музыка, Н. Л. Волчек // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2003. — № 2. — С. 3–8.