УДК 620.179

И.А.ПОТАПОВ, *канд. техн. наук, доцент, potaptris@yandex.ru*
А.В.КОНДРАТЬЕВ, *инженер-лаборант*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

I.A.POTAPOV, *PhD in eng. sc., associate professor, potaptris@yandex.ru*
A.V.KONDRATIEV, *engineer-lab*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Приведено описание дистанционной телекоммуникационной системы неразрушающего контроля и диагностики коррозионного состояния трубопроводов различного назначения.

***Ключевые слова*:** трубопровод, коррозия металла, акустоэмиссионный дистанционный контроль, телекоммуникационная система.

REMOTE MONITORINGOF PIPELINES USINGTELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY

The description ofremotetelecommunications systemof nondestructive testingand diagnosisof corrosionof pipelinesfor various purposes.

***Key words*:** pipeline, metal corrosion, acoustic-emission remote control, telecommunications system.

Трубопроводные транспортные системы различного назначения являются основой топливно-энергетического комплекса. Решение проблемы повышения эксплуатационной надежности трубопроводов – важнейший фактор, обеспечивающий функционирование многих отраслей народного хозяйства.

Одним из путей решения такой проблемы является создание эффективных методов и средств диагностики и контроля трубных коммуникаций и оборудования [1, 3].

В работе рассматривается разработанный вариант телекоммуникационной системы диагностики и контроля коррозионного состояния и герметичности трубопроводов. Создаваемая экспериментальная система (рис.1) состоит из нескольких акустических датчиков, двух генераторов импульсов, нескольких (по числу датчиков) усилителей принимаемых сигналов, коммуникационного блока и портативного компьютера.

Информация от каждого датчика обрабатывается соответствующим блоком электроники (БЭ) и поступает в цифровом виде на портативный ПК (персональный компьютер) через коммутатор цифрового последовательного канала (К). На ПК эта информация обрабатывается разработанным программным обеспечением и выдается на дисплей, сохраняется на жестком диске и может быть в дальнейшем распечатана на принтере в виде отчета.

Принцип действия системы заключается в следующем. На экспериментальном участке датчики устанавливаются непосредственно на корпус трубы, минуя внешние слои (теплоизоляцию, оптоизоляцию и др.) в местах, показанных на схеме (рис.2).

При старте система переводится в пассивный режим, ожидается появление акустического сигнала определенной частоты и достаточной мощности, который соответствует появлению трещины или разрыва в трубопроводе. Кроме того, возникает постоянный акустический сигнал, обусловленный шумами движущейся жидкости (вода, нефтепродукты и др.) в трубопроводе. Определенное внимание на уровень сигнала оказывают шумы, возникающие от коррозионных дефектов.

Коррозионный дефект в виде утонения стенки трубы рассматривается как мембрана, которая, в соответствии с фундаментальным решением теории акустики, имеет собственную частоту колебаний f_0. По оценке диапазон частот для дефектов с линейным размером более 20 мм составляет от 500 до 5000 Гц (акустический диапазон).

Силовым фактором, инициирующим вынужденные колебания рассматриваемого элемента, является пульсация давления в воде за счет работы насосов, тока воды и т.п. Эти пульсации представлены набором импульсов, имеющих различную частоту ($f_к$). Когда частота импульса близка или совпадает с собственной частотой дефекта ($f_к \approx f_0$), возникают резонансные колебания дефекта с излучением различных волн (эмиссия), которые распространяются по металлу трубы и воде.

По типу возбуждения данный метод относится к пассивным, т.е. не используются никакие дополнительные устройства для возбуждения колебаний коррозионными дефектами.

Кроме того, предлагается также метод активного контроля, когда один из акустических датчиков возбуждает зондирующий сигнал, который распространяется по трубопроводу на расстояние до приемного преобразователя.

Указанные сигналы фиксируются всеми датчиками во время прохода фронтом акустической волны. На выходе датчика зарегистрированный сигнал представлен колебаниями напряжения от 0,1 до 10 В («полезный» сигнал, в отличие от фоновых шумов), он подается через защитные цепи и усилитель на быстродействующий АЦП, который преобразует его в информационный пакет значений напряжения через определенные кванты времени. Через контроллер последовательного канала (К) на ПК сообщается о приеме сигнала акустической эмиссии и о номере датчика, принявшего этот сигнал. Такие данные поступают на ПК с каждого датчика во время прохождения их фронтом акустической волны. Измеряются временные интервалы между поступлениями сообщений от датчиков и, учитывая их порядок, и определяется координата источника акустической эмиссии.

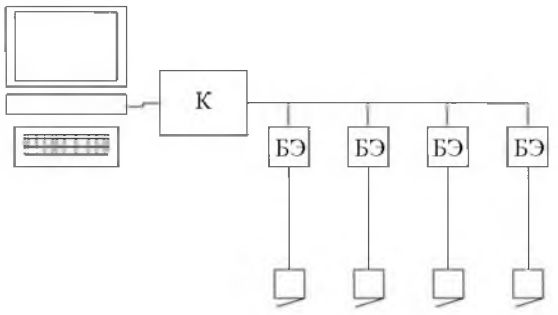


Рис.1. Упрощенная структура экспериментальной системы

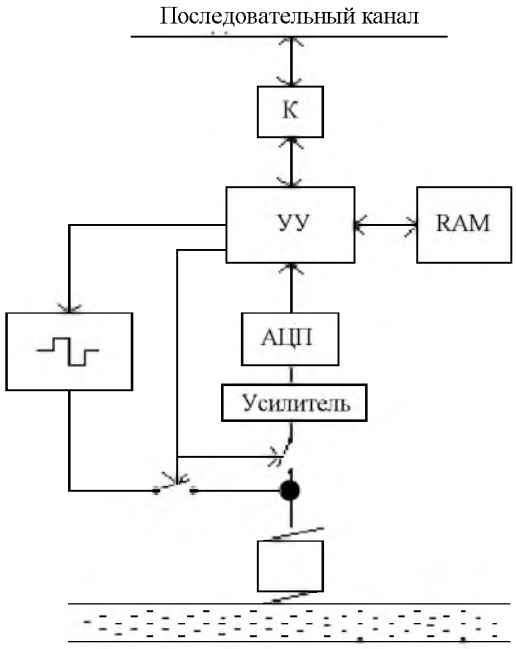


Рис.2. Схема эксперимента

В активном режиме работы участвует в каждый момент времени только один датчик. При этом периодически он подключа-

ется к высокочастотному генератору импульсов резонансной частоты (20, 30, 50 или 100 кГц) на 10 мкс, в результате чего в трубопроводе возбуждается затухающий акустический сигнал длительностью около 250 мкс. В момент подключения датчика к генератору запускается отсчет времени. По прошествии 250 мкс от момента подключения датчика к генератору импульсов, он включается на вход усилителя.

Коммутацией пьезодатчика, отсчетом времени и всеми остальными операциями управляет микросхема программируемой логики УУ, обрабатывающая также команды, поступившие от ПК. Отраженная от какого-либо препятствия акустическая волна возвращается и достигает датчика, с которого снимается ее форма в виде колебаний напряжения. Эти колебания преобразуются быстродействующим АЦП в информационный пакет, который помещается в оперативное запоминающее устройство (RAM) вместе со значением времени, прошедшего с момента возбуждения датчика до прихода фронта отраженной волны (отсчет времени останавливается). Далее этот пакет целиком отправляется на ПК по последовательному каналу передачи. На ПК принятый пакет обрабатывается соответствующим образом и на дисплей выводится осциллограмма принятого сигнала, а также рассчитывается расстояние от датчика до точки отражения волны. Погрешность рассчитанной величины не превышает 0,7 м. Весь цикл повторяется через 2-25 с.

Схема территориального распределения системы, состоящей из четырех датчиков, показана на рис.3.

Расстояние между колодцами не превышает 120 м, однако точно задается при настройке системы на участке перед началом эксперимента. В активном режиме система работает только с датчиками 1 либо 3. С используемого датчика (например, 1) излучается акустический сигнал, распространяющийся по всей поверхности трубы на исследуемом участке (1-2). Достигнув препятствия (трещина, разрыв) или беспрепятственно достигнув изгибов и вентильных перемычек в следующем колодце, сигнал отражается и через некоторое время t возвращается к датчику 1. При известной скорости распространения сигнала (6 км/с) можно рассчитать расстояние до препятствия, и если оно окажется меньшим, чем расстояние между колодцами, сделать вывод о существовании повреждения трубопровода на участке 1-2. Аналогично проверяется на целостность участок 3-4.

В пассивном режиме работают одновременно все четыре датчика. При возникновении сигнал акустической эмиссии регистрируется всеми датчиками во время прохождения их фронтом акустической волны. О факте регистрации сообщается на ПК, после прихода первого такого сообщения (всего их должно быть четыре, по числу датчиков) включается отсчет времени t до момента приема второго сообщения. По завершении приема всех сообщений рассматривается

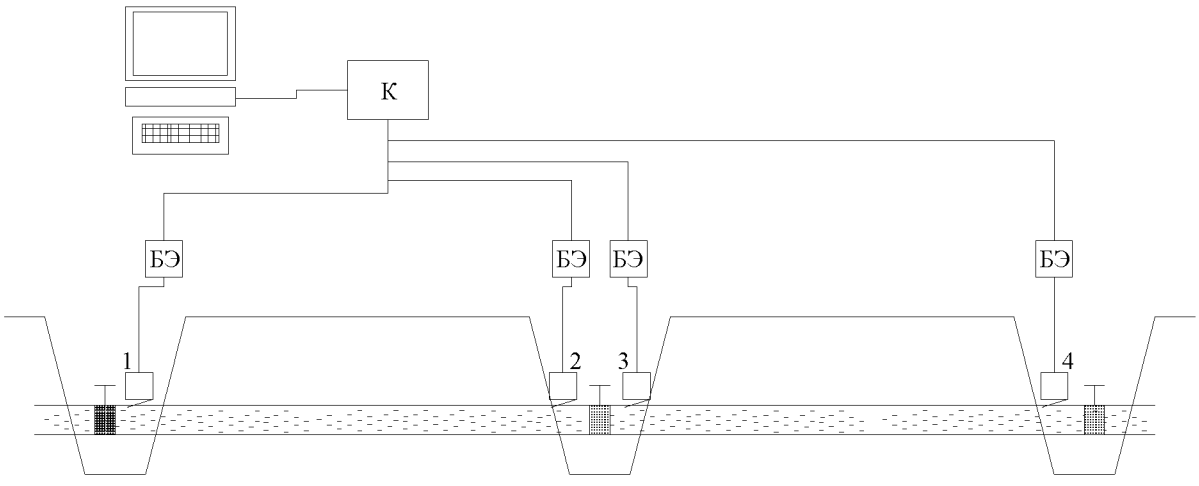


Рис.3. Схема территориального распределения системы

порядок их прихода (т.е. порядок прохождения фронтом волны датчиков) и делается заключение о местоположении источника акустической эмиссии (участки: слева от датчика 1, 1-2, 2-3, 3-4, справа от датчика 4). Затем, в зависимости от порядка, рассчитывается расстояние от источника до первого принявшего сигнал датчика. Результаты выводятся на дисплей ПК, сохраняются в специальном файле протокола, позже отчет о работе может быть распечатан на принтере.

Таким образом, в результате выполненных исследований была разработана телекоммуникационная система (рис.4), содержащая электрическую цепь пьезоэлектрических излучателей 1, электрическую цепь пьезоэлектрических приемников 2, раздельно-совмещенные пьезоэлектрические преобразователи 3, соединительные тройники 4. Позицией 5 обозначен диагностический приборный центр, а позицией 6 – блок телемеханики.

Разработанная система кроме множества пьезоэлектрических приемников содержит также множество пьезоэлектрических излучателей, каждый из которых установлен в одном корпусе с соответствующим приемником и образуют раздельно-совмещенный пьезоэлектрический преобразователь. Такая система работает в активном (непрерывном и импульсном) и пассивном режиме.

При работе системы в пассивном режиме обнаружения сигналов акустической эмиссии отключают электрические генераторы 9 и 10 (рис.4) от входа 8 усилителя мощности, включая тем самым излучатели всех раздельно-совмещенных преобразователей.

При выключенных пьезоэлектрических излучателях «опрашивают» пьезоэлектрические приемники, расположенные в разных точках трубопровода, поочередно подключая их к блоку 5 анализа сигналов акустической эмиссии. Для точного определения координат источника акустической эмиссии пьезоэлектрические приемники калибруют, используя в качестве калибровочных источников акустического сигнала пьезоэлектрические излучатели раздельно-совмещенных преобразователей 3 , расположенных в разных точках трубопровода. Для этого подключают генератор электрических импульсов 10 к пьезоэлектрическим излучателям, расположенным в разных точках трубопровода, и анализируют сигналы (время прохождения), принимаемые соответствующими приемниками.

Система контроля, таким образом, не требует наличия дополнительных калибровочных источников для работы в режиме обнаружения источников акустической эмиссии.

Координаты источника акустической эмиссии определяются по разности времени прихода акустических сигналов от источника на приемники системы.

Размещение раздельно-совмещенных преобразователей по винтовой линии как конструктивных элементов на поверхности металлической трубы позволяет определять также угловые координаты акустико-эмиссионных источников.

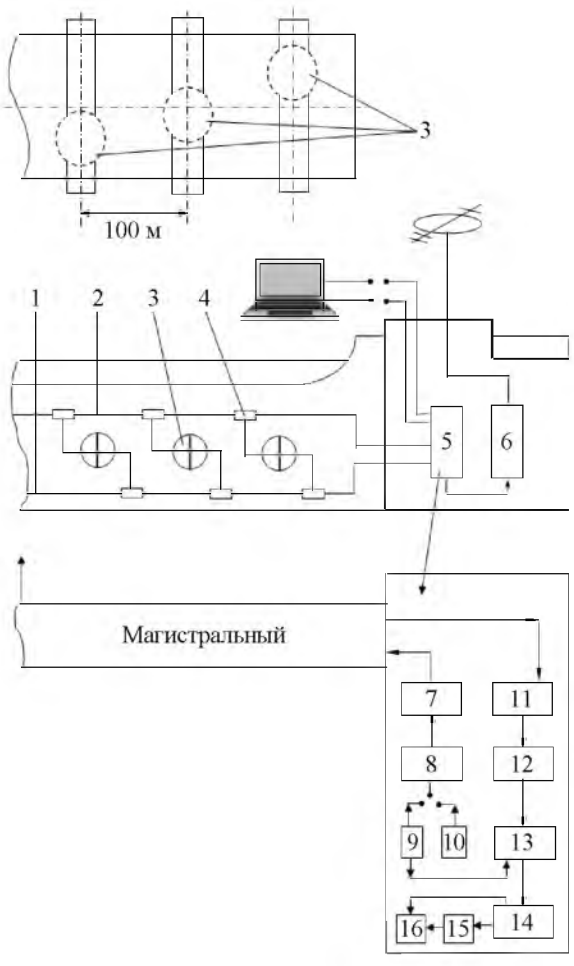


Рис.4. Функциональная схема телекоммуникационной системы контроля и диагностики трубопроводов

Диагностический приборный центр содержит: коммутатор пьезоэлектрических излучателей 7, усилитель мощности 8, генератор электрических сигналов 9, генератор электрических импульсов с управляемым спектром 10, электронный коммутатор пьезоэлектрических приемников 11, усилитель электрического напряжения 12, быстродействующий компьютер 14, высокочастотный аналого-цифровой преобразователь 13, оснащенный монитором 15 и принтером 16.

Телекоммуникационная система работает следующим образом: подключают генератор непрерывных электрических сигналов на выбранной частоте f и подают его на усилитель мощности 8, выход которого соединяют с коммутатором пьезоэлектрических излучателей 7 раздельно-совмещенного преобразователя. Например, в соответствии со схемой размещения преобразователей на металлической поверхности трубопровода коммутатором пьезоприемников 11 последовательно переключают (опрашивают) пьезоэлектрические приемники, начиная со второго раздельно-совмещенного преобразователя, расположенные на разных расстояниях от излучателя, например, первого раздельно-совмещенного пьезопреобразователя.

Электрический сигнал со второго, третьего и т.д. пьезоэлектрических приемников поступает с выхода коммутатора приемников 11 на вход высокочастотного двухканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 13, куда одновременно подается опорный сигнал с генератора непрерывных электрических сигналов 9.

Кодированные электрические сигналы с пьезоприемников и генератора непрерывных электрических сигналов подают на быстродействующую ЭВМ 14, наблюдают на мониторе 15. Полученные результаты распечатывают на принтере 16 и передают по электронной почте на удаленный диагностический центр, одновременно пользуясь средствами телемеханики 6. Используя программное обеспечение компьютера, измеряют смещения φ фазы бегущей волны, рассчитывают длину волны λ на разных частотах f, равную $\mathrm{tg}\varphi$, и фазовую скорость $U_{ph} = \lambda f$. Строят дисперсионные кривые в координатах $U_{ph} = F(\lambda/H)$, где H – толщина стенки металлических труб магистрали, и определяют толщину H по всей длине магистрали или на отдельных наиболее опасных участках. В процессе эксплуатации магистрали наблюдают во времени за относительным изменением толщины стенки трубопровода, оценивают коррозионные процессы и эффективность антикоррозионной защиты.

Затем отключают генератор непрерывных электрических сигналов 9 и подключают генератор электрических импульсов 10 с изменяющимся спектром генерации. Изменяя спектр электрического импульса, формируют необходимую протяженность фронта падающей волны $>2H\mathrm{tg}\alpha\cos\beta$ и пространственную длительность импульса $v\tau_{имп} > 2H\cos\alpha$, где H – толщина стенки трубопровода на некорродированном участке; β – угол падения продольной волны на поверхность трубопровода; α – угол распространения фронта волны; v – скорость распространения упругого импульса; $\tau_{имп}$ – длительность импульса. Сформированный таким образом импульс, излученный, например, излучателем первого раздельно-совмещенного преобразователя, регистрируют вторым, третьим т.д. пьезоприемниками второго, третьего и т.д. раздельно-совмещенных преобразователей, которые опрашивают электронным коммутатором приемников 11. Также, как и в непрерывном режиме, определяют толщину стенки в импульсном режиме трубопровода и оценивают его коррозионную стойкость, что повышает достоверность полученных результатов.

Предлагаемое техническое решение может быть использовано при работе в автономном режиме, а также в режиме автоматического управления процессом диагностики и контроля. Может быть эффективно использовано также в трубопроводах и магистралях, транспортирующих газ, нефть и другие продукты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Будадин О.Н.* Теоретические основы ультразвукового неразрушающего контроля многослойных из-

делий из композитов с резиноподобным покрытием. I. Моделирование процесса возбуждения и распространения упругих волн в цилиндрической оболочке / О.Н.Будадин, И.А.Потапов // Дефектоскопия. 2006. № 11. С.29-40.

2. *Будадин О.Н.* Теоретические основы ультразвукового неразрушающего контроля многослойных изделий из композитов с резиноподобным покрытием. II. Рассеяние упругих волн на дефектах типа «непроклей» между слоями пластика и между пластиком и резиноподобным покрытием / О.Н.Будадин, И.А.Потапов // Дефектоскопия. 2006. № 12. С.12-23.

3. *Будадин О.Н.* Теоретические основы ультразвукового неразрушающего контроля многослойных изделий из композитов с резиноподобным покрытием. III. Исследование модели и процесса ультразвукового неразрушающего контроля многослойных изделий из ПКМ с резиноподобным покрытием / О.Н.Будадин, И.А.Потапов // Дефектоскопия. 2007. № 1. С.34-39.

REFERENCE

1. *Budadin O.N., Potapov I.A.* Theoretical bases of ultrasound nondestructive testing of multilayer products from composite materials with rubberlike coating. I. Simulating of the process of elastic waves excitation and transmission in a cylindrical shell // Defectoscopy. 2006. N 11. P.29-40.

2. *Budadin O.N., Potapov I.A.* Theoretical bases of ultrasound nondestructive testing of multilayer products from composite materials with rubberlike coating. II. Elastic waves scattering on defects such as gaps between the layers of plastic or between plastic and rubberlike coating // Defectoscopy. 2006. N 12. P.12-23.

3. *Budadin O.N., Potapov I.A.* Theoretical bases of ultrasound nondestructive testing of multilayer products from composite materials with rubberlike coating. III. Study of the model and process of ultrasound nondestructive control of multilayer products from polymer composites with rubberlike coating // Defectoscopy. 2007. N 1. P.34-39.