

Перспективные исследования АО «АтлантТрансГазСистема» по системам мониторинга протяженных объектов (СМПО) с обнаружением утечек

Л.И. Бернер, А.В. Заграничный, Г.П. Терехов,

А.В. Харитонов, М.В. Харитонов (АО «АтлантТрансГазСистема»)

Аварийные ситуации на магистральных трубопроводах сопровождаются потерей целостности и утечками углеводородов в окружающую среду. Рост стоимости углеводородов, а также значительные компенсации за экологический и материальный ущерб вынуждают нефтегазовые предприятия все большее внимание уделять вопросам повышения надежности и эффективности эксплуатации магистральных трубопроводов. Данная статья посвящена «Системе мониторинга протяженных объектов» с использованием распределенных и сосредоточенных волоконно-оптических датчиков - одного из перспективных направлений при создании подобных систем.

Ключевые слова: система обнаружения утечек, мониторинг протяженных объектов, целостность трубы, решетки Брега.

К настоящему моменту разработан целый ряд систем обнаружения утечек (СОУ), основанных на различных физических принципах, таких как волна давления, баланс углеводородов и т.д. Такие системы достаточно успешно выполняют свои функции на трубопроводах с жидкими углеводородами и наряду с системами телемеханики устанавливаются практически на всех строящихся трубопроводах [1]. Однако на магистральных газопроводах СОУ не нашли широкого применения. Это связано как с физическими свойствами газообразных веществ, особенностями технологии транспортировки, отсутствием нормативной базы в ПАО «Газпром» на СОУ, так и сложностью достижения приемлемой чувствительности и надежности существующих СОУ.

Эффективным решением проблемы сохранения целостности трубопровода и недопущения утечек является их предотвращение до возникновения. С этой целью необходим непрерывный мониторинг технического состояния газопровода. Особое внимание при этом следует уделять мониторингу критических участков магистральных трубопроводов, пролегающих в густонаселенных районах, в местности со сложной геологической и тектонической обстановкой, подводных и транспортных переходах, зонах террористических угроз. Системы, выполняющие функции мониторинга технического состояния магистральных газопроводов, получили в ПАО «Газпром» название «Системы мониторинга протяженных объектов (СМПО)». Одним из перспективных направлений при создании СМПО является использование распределенных и сосредоточенных волоконно-оптических датчиков (ВОД).

В 2014 г. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по поручению ПАО «Газпром» разработало технические требования [2] для обеспечения единой технической политики в области применения систем мониторинга технического состояния магистральных газопроводов. Указанные требования распространяются на элементы систем мониторинга сухопутных магистральных трубопроводов ПАО «Газпром» условным диаметром более 500 мм, построенные на базе волоконно-оптических сенсоров, и служат для контроля различных параметров.

На основе обработки результатов непосредственных измерений мониторинговая система может быть применена для:

- контроля изменения напряженно-деформированного состояния трубопровода;
- контроля подвижек грунтов;
- контроля температуры грунта и выявления зон промерзания и/или оттаивания участков;
- обнаружение утечек газа по локальному промерзанию участка грунта;
- обнаружение движения транспортных средств, ведение работ землеройной техникой и/или шанцевым инструментом.

В настоящее время на мировом рынке представлено достаточно много предложений по мониторингу трубопроводов, основанных на применении волоконно-оптических датчиков. В основном системы делятся на две большие группы:

- применение распределенных волоконно-оптических сенсоров (ВОС), устанавливаемых вдоль трубопроводов непосредственно на трубе или на некотором отдалении от нее;
- применение дискретных ВОС (в зависимости от решаемых задач устанавливаются в грунте, на трубе или внутри трубы).

Одним из перспективных направлений построения СМПО для МГ является применение дискретных ВОС на основе решеток Брега [3].

При воздействии на оптическое волокно (температура, давление, вибрация, деформация и др.) показатель преломления и расстояние между ячейками решетки изменяются и от нее отражаются волны другой длины. По изменению отраженной длины волны определяются необходимые характеристики (температура, давление, деформация и др.).

Чувствительный элемент такого датчика не содержит электронных компонент и поэтому является полностью пассивным, что означает возможность использовать его в зоне повышенной взрывоопасности, агрессивности, сильных электромагнитных помех.

Использование длины волны света в качестве информационного параметра делает датчик нечувствительным к долговременным дрейфам параметров источника и приемника излучения, а также случайным затуханиям оптической мощности в волокне.

Преимуществами волоконно-оптических ВБР-сенсоров (сенсоры на основе волоконной брегговской

решетки) являются: широкая номенклатура датчиков; широкий диапазон измерений; возможность интеграции датчика в структуру объекта; полная пожаро- и взрывобезопасность; передача сигнала на дальние расстояния; интеграция нескольких датчиков в одном оптоволоконном канале; нечувствительность к электромагнитным и радиочастотным воздействиям; отсутствие перекалибровки (устойчивость во времени при неизменных внешних условиях).

Исходя из требований, предъявляемых к СМПО для транспортировки газа, все динамические события, связанные с генерированием сигналов акустической эмиссии (утечки, воздействия третьей стороны на трубу), могут быть идентифицированы датчиками вибраций, давлений и ускорений, входящих в перечень ВОД на основе решеток Брегга.

Остальные события, связанные с деформацией трубы, коррозией, перемещением грунта, измерением температуры могут быть идентифицированы датчиками перемещений, деформации, температуры.

Немаловажным фактором выбора АО «АТГС» ВОС на основе решеток Брегга является наличие отечественных производителей ВБР-сенсоров.

Для обработки данных с ВОД созданы российские многоканальные анализаторы сигналов, позволяющие в зависимости от задач, решаемых СМПО для участка МГ, реализовать систему одним комплектом оборудования, размещаемого для удаленных участков в блок-боксе контролируемого пункта системы линейной телемеханики или диспетчерского пункта линейного производственного управления магистральных газопроводов (МГ).

В настоящее время в АО «АТГС» ведутся научно-исследовательские работы по созданию СМПО на дискретных ВОС, основанной на регистрации и распознавании сигналов акустической эмиссии для критичных участков магистральных газопроводов. СМПО может быть установлена как на новых, так и на действующих наземных, подземных и подводных трубопроводах.

Работа СМПО по обнаружению утечек и воздействий третьей стороны основана на:

- акустическом методе обнаружения с помощью специальных датчиков, установленных на трубопроводе;
- определении места разгерметизации или другого события (удары, сверление, пересечение тяжелой техникой, прохождения очистного или измерительного снаряда) на базе временного и частотного анализа измеренных сигналов;
- определении мест деформации трубы на основе датчиков деформации на тело трубы и движения грунта на основе датчиков перемещений критичных точек.

Основные преимущества разрабатываемой СМПО:

- обнаружение и определение местоположения утечки или воздействия на участок газопровода, в том числе многониточный;
- прямое определение событий;
- обнаружение и определение инцидента на больших расстояниях (в некоторых условиях до 50 км между двумя датчиками);

- достаточная точность для определения места события;
- обнаружение инцидента в реальном масштабе времени;
- обнаружение утечки маленького диаметра (минимум 5 мм);
- малая трудоемкость установки системы;
- использование сертифицированных взрывобезопасных датчиков;
- простое техническое обслуживание.

Система обнаружения может использовать следующие методы обработки полученных сигналов: взаимная корреляция в режиме реального времени; частотная фильтрация; вычитание шума (выделение частотной характеристики события); распознавание события по частотной характеристике на основе библиотеки образов события.

Точность локализации зависит от точности:

- определения скорости звука (которая может быть измерена или рассчитана);
- определения линейного расстояния между датчиками;
- "глобального" времени, выдаваемого навигационной спутниковой системой ГЛОНАСС.

Нормальная общая точность СМПО — около 1% расстояния между датчиками. Точность может быть увеличена путем определения скорости звука по трубопроводу с меньшей погрешностью.

Для исследования возможности построения СМПО, удовлетворяющей техническим требованиям, АО «АТГС» проводит исследования по математическому моделированию распространения сигналов акустической эмиссии по магистральному газопроводу и их распознаванию. Для этого была создана математическая модель [4], которая максимально точно описывает физические процессы в магистральном газопроводе. Модель строится итерационно до получения достаточной точности от максимально простой до более сложной с верификацией по экспериментальным данным.

Многокомпонентная система газ-труба-грунт достаточно сложна для моделирования в связи с неопределенностью исходных данных в первую очередь из-за свойств грунта [5]. В связи с этим в качестве первого приближения рассматривалась идеальная однокомпонентная модель, которая по мере необходимости может совершенствоваться и усложняться.

На первом этапе была рассмотрена математическая модель распространения акустической волны в стоячем идеальном газе в прямолинейном трубопроводе, не учитывающая влияние трубы. Результаты использовались с целью получения стартовых предположений для дальнейшего усложнения моделей газа и его течения.

На втором этапе в разработке модели была учтена геометрия системы: например, трубопровод с «отводом» имеет геометрию в виде буквы «Т». Такая геометрия позволяет спрогнозировать распространение



Градиент давления в газе в разные временные промежутки

акустических волн в «отвод» и возможность установки там ВОС-сенсоров.

На третьем этапе в модели было учтено ламинарное течение газа как в прямолинейном трубопроводе, так и в трубопроводе с отводом. Данное уточнение позволяет оценить влияние потока на распространение волны в трубопроводах различной геометрии.

Следующим шагом является переход к двухкомпонентной модели, включающей газ и трубу. Для моделирования предполагается, что система обладает следующими свойствами: труба принята абсолютно упругим телом, в то время как газ считается идеальным, а его течение ламинарным. Кроме того, дополнительно предполагается, что стенки трубы являются гладкими, то есть при движении газа трение между ним и трубой отсутствует, а акустические волны являются продольными.

В рамках описанных моделей проведено численное моделирование для различных газов с использованием метода конечных элементов [6]. Исходные данные: участок трубопровода — 100 м, внутренний диаметр — 1000 мм, толщина трубы — 10 мм, внутренний радиус отвода — 150 мм; источник волны находится вне рассматриваемого участка, волна равномерно распространяется по всему объему.

На рисунке видно, что фронт волны стремительно распространяется в газе с течением времени. При этом затухание почти не происходит, это вызвано выбором идеальной модели газа. Малое затухание вызвано также отсутствием влияния грунта и внешних факторов, которые будут учтены в дальнейшем. Исходя из результатов моделирования, были сделаны выводы о распространении звуковой волны с учетом сделанных допущений. Представленная модель будет дорабатываться с целью максимального приближения к реальной физической системе.

Бернер Леонид Исаакович — д-р техн. наук, проф., генеральный директор,
Заграничный Александр Васильевич — канд. техн. наук, заведующий отделом ПТО,
Терехов Георгий Павлович — старший инженер, **Харитонов Андрей Владимирович** — заведующий сектором,
Харитонов Максим Владимирович — старший инженер АО «АтлантТрансГазСистема».
 Контактный телефон +7(495) 660-08-02.
 E-mail: berner@atgs.ru zav@atgs.ru terekhov@atgs.ru akharitonov@atgs.ru mkharitonov@atgs.ru

Были проведены активные эксперименты на реальном трубопроводе, в рамках которых смоделированы два процесса: утечка газа («свищ») и проезд автотранспорта по автомагистрали. После обработки и анализа экспериментальных и модельных данных были выделены характеристики, позволившие построить систему по распознаванию моделируемых событий на базе аппарата нейронных сетей [7].

Заключение

АО «АТГС» проводит активные исследования в рамках построения СМПО. В частности, на полигоне компании создается макет системы, позволяющий моделировать и проверять сделанные предположения в реальных условиях. По результатам проведенного моделирования и натурных экспериментов разрабатываются системы, применимые на реальных газопроводах.

Список литературы

1. Бернер Л.И., Ковалев А.А., Рошин А.В. Методы и средства диспетчерского управления непрерывными технологическими процессами. Ротапринт МАДИ (ГТУ). 2009. 313с.
2. «Временные технические требования к элементам систем мониторинга геотехнического состояния магистральных трубопроводов на базе волоконно-оптических сенсоров». М: ОАО «Газпром». 2014. 13с.
3. Кульчин Ю.Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2001. 272 с.
4. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд. МГУ. 1978. 287 с.
5. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. Изд. 2-е, переработ. М.: Стройиздат, 1971. 368 с.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.
7. Терехов Г.П., Харитонов А.В., Харитонов М.В. Математические методы идентификации утечек // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 4. с. 29-33.

ПК СПУРТ-Р внесен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных

В декабре 2016 г. программно-технический комплекс СПУРТ-Р производства АО «АтлантТрансГазСистема» внесен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных.

С момента создания Реестра (1 января 2016 г.) в него было внесено более 2000 программных продуктов от более 500 правообладателей. Решение о включении в Реестр принимает Экспертный совет по российскому программному обеспечению, который создан при Министерстве связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

<https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/96487/>