

## **ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

**А.О. Малахов, Ю.В. Ваньков**

*Казанский государственный энергетический университет,  
Россия, Казань, aleks19bass@yandex.ru*

*Аннотация.* В данной статье представлена обзорная информация об основных дефектах труб в теплоснабжении и методах обнаружения данных дефектов современными приборами. Особое внимание уделено акустическим методам, как одному из перспективных направлений контроля состояния трубопроводов.

*Ключевые слова:* трубопровод, повреждения, прибор, акустический, надёжность, теплоснабжение.

## **DIAGNOSTIC METHODS AND CONTROL DEVICES FOR PIPELINES OF HEAT NETWORKS**

**O. A. Malakhov, Yu. V. Vanykov**

*Kazan state power engineering university,  
Russia, Kazan, aleks19bass@yandex.ru*

*Abstract.* This article presents an overview of the main defects of pipes in district heating and methods for the detection of these defects in modern devices. Special attention is paid to acoustic methods as one of the perspective directions of diagnostics of pipes.

*Keywords:* pipeline, damaged, appliance, acoustic, reliability, supply.

### **Введение**

Бесперебойная подача тепла и воды населению - главная задача всех организаций, занимающихся эксплуатацией тепло- и водопроводов.

Удельная повреждаемость по регионам России колеблется от 0,5 до 10 повреждений на 1 км трубопровода ежегодно. Наиболее частой причиной повреждения трубопроводов тепловых сетей (до 80%) является наружная коррозия, вызванная в основном контактом металла труб с водой при периодическом или постоянном затоплении каналов грунтовыми или поверхностными водами из-за отсутствия попутного дренажа, недостаточной высоты и прочности подвижных опор, применения малоэффективных антикоррозионных покрытий и теплоизоляции, отличающейся высоким водопоглощением, низкого качества герметизации каналов, отсутствия вентиляции каналов и тепловых камер. Наружная коррозия труб вызывается также блуждающими токами (утечки от городского и железнодорожного транспорта, работающего на постоянном токе, и т.д.).

Кризисное состояние экономики, снижение объемов финансирования, ставит перед руководством теплоснабжающего предприятия вопрос, обеспечения гарантированной доставки тепла потребителю, снизив при этом затраты на поддержание работоспособности трубопровода.

Поддержание работоспособности трубопроводов производится путем своевременной замены изношенных участков трубы и проведением профилактических работ с инженерным оборудованием трубопровода. Основными источниками разрушения труб и образования течей являются зоны механических напряжений, в которых процессы коррозии, ползучести и усталости протекают наиболее интенсивно.

Как показывает практика, выводимые в перекладку участки трубопровода в значительном числе случаев имеют высокий остаточный рабочий ресурс и могут эксплуатироваться далее. Причем даже на одном участке, коррозионный износ стенок

трубы не одинаков. Поэтому в точном определении остаточного рабочего ресурса участков трубы и проведении локальных ремонтных работ с целью продления ресурса, кроется значительная экономия денежных средств.

На данный момент существует множество способов диагностирования состояния тепловых сетей. Для упрощения задачи выбора метода диагностирования трубопровода, требуется провести анализ повреждений труб, приборов и методов их обнаружения.

### **Виды повреждений наружной поверхности труб**

Атмосферная коррозия – это коррозия в воздушной среде. Различают три вида атмосферной коррозии: мокрая, влажная, сухая.

Мокрая – коррозия при влажности среды около 100 %, а также при нахождении трубы в воде. Характерный признак разрушения – наличие на трубе слоев продуктов коррозии. При высокой влажности наружная поверхность шероховатая, сильно изъеденная большим количеством коррозионных язвин, при низкой влажности поверхность шероховатая, язвины практически отсутствуют.

Пароводяная коррозия – наблюдается, когда периодически попадает влага на участки трубопроводов между изоляцией и поверхностью трубы при этом, из-за колебания температуры наружной поверхности в пределах 70°, в местах попеременного контакта металла с водой имеет место утонение стенок трубы с наружной поверхности из-за воздействия пароводяной коррозии, как правило утонению подвержен район 3-х и 9-ти часов по периметру трубы, по внешнему виду пароводяная коррозия – мелкие язвины равномерно расположенные по поверхности.

Коррозионный износ – это утонение стенки под действием капель влаги падающих на трубу. Этот процесс связан с коррозионным и эрозионным воздействием влаги на металл трубы. Коррозионный износ характеризуется обесцвечиванием поверхности, образованием язвин с гладким следом. Участки на трубах располагаются на верхней точке трубы (12 часов) и как правило незначительные по размерам.

Коррозию блуждающими токами связывают с электро-химическим воздействием на металл. Блуждающие токи – это токи утечки из электрической цепи или любые токи, попадающие в землю от внешних источников. Попадая в металлическую конструкцию они вызывают коррозию в местах выхода из металла.

Коррозия разрушения в результате попадания на трубы коррозионно-активных элементов.

В ряде случаев с грунтовой водой в почву попадают коррозионно-активные элементы, которые растворяются в воде. Активность воды при растворении в ней кислоты или щелочных элементов приводит в первом случае к понижению pH до 3-6, во втором случае к повышению pH 7,5-9,5. По внешнему виду – паукообразное растрескивание поверхности, толщина стенки при этом не изменяется. Растрескивание происходит по границам зерен.

### **Виды повреждений внутренней поверхности труб**

Кислородная язвенная коррозия.

Отличительной особенностью язвенной коррозии является массовый характер повреждений, имеющий вид мелких, густо расположенных язвин покрытых рыхлым слоем бугорчатых отложений окислов железа. Размер язвин от 2 до 6 мм.

В трубопроводах тепловых сетей имеет место два вида кислородной коррозии:

- общая поражает трубу с внутренней стороны по всему периметру. Такая коррозия связана с низким качеством воды (в тракт попадает недеаэрированная вода).
- стояночная наблюдается только на нижней части трубы. Стояночная коррозия связана с неполным опорожнением трубопроводов при их простое.

Углекислотная коррозия.

Углекислотная коррозия происходит под действием растворов угольной кислоты. Растворы угольной кислоты образуются при термическом и химическом разложении карбонатов и бикарбонатов.

Коррозионное воздействие растворов угольной кислоты связано с нарушением подготовки подпиточной воды.

По внешнему виду это бугорчатые отложения под которыми имеют место язвы диаметром от 5 до 20 мм. Язвы наблюдаются по всему периметру трубы

Подшлаковая коррозия.

Коррозия протекает в местах скопления железного шлама из тракта воды. Для подшлаковой коррозии характерны отдельные раковины, расположенные под отложениями. Размеры раковин достигают нескольких сантиметров. Металлографический анализ показывает межкристаллические трещины с признаками обезуглероживания.

Щелевая коррозия.

Возникает в тех случаях, если конструкция содержит узкие щели, застойные места, технологические дефекты. В трубопроводах таким местом являются сварные соединения, выполненные с непроваром в корне шва. В указанных местах возникают застойные зоны, в которых с течением времени изменяется кислотность, среда становится более кислой и концентрированной.

Коррозионное разрушение прямошовных сварных труб.

В процессе длительной эксплуатации наблюдается коррозионное разрушение прямошовных сварных труб большого диаметра. Разрушение идет по линии сплавления с внутренней поверхности, особенно на трубах, где при монтаже сварное соединение расположено в нижней части трубы. Коррозионный процесс в этом районе связан с изготовлением труб, а именно с автоматической сваркой без последующей термообработки и экспонирования труб, что приводит к повышенным остаточным напряжениям в данном районе и, как следствие, к коррозионному разрушению.

### **Критерии «ветхого» состояния труб**

Для обеспечения безаварийной эксплуатации тепловых сетей организации должны иметь достоверную и удобную для понимания и использования информацию о фактическом техническом состоянии труб, на основании которой следует своевременно осуществлять замену «ветхих» участков.

Параметрами оценки «ветхого» состояния труб являются:

- статистика аварий за минувшие 2-3-и года;
- время эксплуатации трубопровода;
- обследование трубопровода в местах контрольных шурфовок.

Статистика аварий и прогноз образования течей являются основными факторами для принятия решения о замене труб (перекладка) или возможности дальнейшей эксплуатации. Когда время эксплуатации трубопровода приближается к проектному сроку, возникает вопрос о допустимости дальнейшей, сверхнормативной его эксплуатации.

Для определения фактического технического состояния трубопровода, нормативными документами предусмотрено проведение обследования труб в местах контрольных шурфовок. Для этого используются различные методы диагностики, перед рассмотрением которых следует указать на локальный характер этого подхода – уровень повреждения трубы в месте шурфа считается аналогичным для всей длины трубопровода на участке.

В точках вскрытия теплотрассы осуществляются:

- визуальный контроль, который дает информацию о состоянии теплоизоляции, антикоррозионного покрытия, качественно об уровне и характере коррозионных повреждений наружной поверхности трубы.
- инструментальный контроль толщины стенки трубы (ультразвуковая толщинометрия) – информация для оценки «ветхого» состояния на основании критериев нормативных документов.

В местах шурфовок из материала трубы вырезаются образцы для проведения дефектоскопического анализа. В местах вырезки также визуально оценивается уровень и тип внутренней коррозии.

### **Оборудование для диагностики трубопроводов**

На сегодняшний день применяется следующее оборудование для определения местоположения течи и диагностики коррозионного повреждения труб и разрушения тепло- и гидроизоляции:

1. Приборы контроля состояния металла стенок трубопровода:

- акустические приборы для диагностики коррозионного состояния металла труб («Вектор-2001» – НПК «Вектор», Россия, «Теаккорп-4000» - НПФ «Электроника ЛТД», Украина);
- аппаратура с электронно-акустическим принципом действия («А-LINE» фирма «Интерюникс», «Локус» фирма «ЛТЕСТ», «AMSY-4», «Panatest»);
- внутритрубные дефектоскопы (магнитный энтроскоп ЗАО «Энтроско», «Рокот-1м» – НПО «Тарис», Россия, «ЭТГ, ЭТЖ» – ЗАО «Омтех», Россия);
- ультразвуковые толщиномеры ("УТ-80" – "Техно-АС", Россия, "Взлет УТ" ЗАО "Взлет", "Sonagage II" – ЗАО «Энерготест», Россия, "26DL Plus", "26 MG" – "Panametric", США, "Sonatest" – Англия);

2. Приборы для измерения температурных полей (измерение температур поверхности грунта над эксплуатируемыми теплопроводами):

- контактного действия ("ПТ-13Д" - МНПО "Спектр", "Питон" – Институт физики металлов РАН, "Termohydrolux HL-2000T" – "Seba dynatronik", Германия);
- дистанционного действия («Диелтест» - ВНИИОФИ, Россия, «С-7» – «Интекс», Россия, «Кельвин 200ЛЦ» – «Диполь», Россия, "Thermopoint TRT2-4, TRT20-50, TRT80" - "Agema Infrared System", Швеция);

3. Акустические приборы для поиска течи:

- акустические течеискатели – шумофоны («ИСТД» – АО «Ленэнерго», «ПТ-13ДМ» – МНПО «Спектр», «Пеленг – 1» - ООО «Абигар», «Hydrolux HL2000 – «Seba dynatronik», Германия, «FD-7», «FSB-7», «HG-10» - Fuji Tecom Inc, Япония);
- течеискатели корреляционного действия («Коршун» – Украина, «А-КОР» – Россия, «Кондор АТК-5» - Россия);

### **Акустические методы контроля**

К акустическим методам контроля относят обширную область испытания

материалов и изделий, основанную на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых или возникающих в объекте контроля.

Различают пассивные и активные методы неразрушающего контроля. Активные методы основаны на излучении и приеме упругих волн, пассивные - только на приеме волн, источником которых служит сам объект контроля (ОК). В обоих случаях чаще всего используются упругие волны ультразвукового диапазона, параметры которых тесно связаны с такими свойствами материалов, как упругость, плотность, анизотропия (неравномерность упругих свойств материала вдоль пространственных осей) и другими. В результате чего, эти методы контроля зачастую называют ультразвуковыми. Основное отличие акустических методов определяется характером взаимодействия волн с объектом контроля.

Пассивные акустические методы основаны на анализе упругих волн, возникающих в самом контролируемом объекте.

Наиболее характерным пассивным методом является акустико-эмиссионный метод. Пассивными акустическими методами являются также вибрационно-диагностический и шумо-диагностический. При первом анализируют параметры вибраций какой-либо отдельной детали или узла с помощью приемников контактного типа, при втором – изучают спектр шумов работающего механизма, обычно с помощью микрофонных приемников.

Важным преимуществом метода акустической эмиссии перед другими методами контроля является то, что он реагирует только на развивающиеся, действительно опасные дефекты, а также возможность проверки больших участков, или даже всего изделия, без сканирования его преобразователем.

Активные методы делят на методы прохождения, отражения, комбинированные (использующие как прохождение, так и отражение), импедансные и методы собственных частот.

Методы прохождения используют излучающие и приемные преобразователи, расположенные по разные или по одну сторону контролируемого изделия.

К методам прохождения относят:

- амплитудный теневой метод, основанный на регистрации уменьшения амплитуды волны, прошедшей через контролируемый объект, вследствие наличия в нем дефекта;
- временной теневой метод, базирующийся на регистрации запаздывания импульса, вызванного увеличением его пути в изделии при огибании дефекта; тип волны при этом не меняется.

В методах отражения используют как один, так и два преобразователя; применяют импульсное излучение. К этой подгруппе относят следующие методы дефектоскопии:

Эхо-метод – основан на регистрации эхо-сигналов от дефекта. Около 90% объектов, контролируемых акустическими методами, проверяют эхо-методом. Применяя различные типы волн, с его помощью решают задачи дефектоскопии поковок, отливок, сварных соединений, неметаллических материалов и используют для измерения размеров изделий.

Эхо-зеркальный метод – основан на анализе сигналов, испытавших зеркальное отражение от донной поверхности изделия и дефекта.

Ревербационный метод – использует влияние дефекта на время затухания многократно отраженных ультразвуковых импульсов в контролируемом объекте.

В комбинированных методах используют принципы как прохождения, так и

отражения акустических волн. К ним относят:

Зеркально-теневой метод – основан на измерении амплитуды донного сигнала.

Эхо-теневой метод – основан на анализе как прошедших, так и отраженных волн.

Акустические методы широко применяют в неразрушимом контроле ( НК) благодаря ряду их преимуществ перед другими видами НК:

- волны легко вводятся в объект контроля, хорошо распространяются в металлах, бетоне и других материалах;

- эффективны при выявлении дефектов с малым раскрытием, чувствительны к изменению структуры и физико-механических свойств материалов;

- не представляют опасности для персонала;

- использование различных типов волн (продольных, поперечных, поверхностных, нормальных и других) расширяет возможности акустических методов контроля;

- имеют низкую трудоемкость подготовительных работ и контроля, в десятки (сотни) раз меньше, чем для других методов НК: методы не требуют сплошного сканирования поверхности, т.е. позволяет устанавливать датчики на исследуемом объекте локально, что значительно снижает производственные затраты (минимальная экскавация, минимальная зачистка поверхности);

- позволяют диагностировать объект в целом, не выводя его из существующего режима эксплуатации или выводя на минимальное время, что дает очевидные экономические преимущества по сравнению с традиционными методами НК, требующими прекращения эксплуатации объекта для проведения контроля;

- обладают высокой оперативностью: временные затраты на проведение подготовительных работ и работ по техническому диагностированию существенно ниже по сравнению с традиционными методами НК.

### **Классификация акустических приборов, используемых для диагностики труб**

На данный момент большим спросом пользуются акустические приборы.

На сегодняшний день применяется следующее оборудование для определения местоположения течи и диагностики коррозионного повреждения труб:

- акустические приборы для диагностики коррозионного состояния металла труб («Вектор-2001» – НПК «Вектор», Россия, «Теаккорр-4000» - НПФ «Электроника ЛТД», Украина);

- акустические течеискатели – шумофоны («ИСТД» – АО «Ленэнерго», «ПТ-13ДМ» – МНПО «Спектр», «Пеленг – 1» - ООО «Абигар», «Hydrolux HL 2000" – «Seba dynatronic», Германия, «FD-7», «FSB-7», «HG-10» - Fuji Tecom inc, Япония, «QUARTEX Model ALD 9301» - МИФИ, «ДИССО 1,5 ИС», прибор указания течи «УТ-2»);

- течеискатели корреляционного действия («Коршун» – Украина, «А-КОР» – Россия, «Кондор АТК-5» - Россия, «Eureka2», «ОМІКRON», «Т-2001» ООО "ИНКОТЕС", «ZetaCorr»).

Приборы, использующие акустический метод, можно разделить на три группы.

К первой относится контроль с использованием приборов без фильтрации (типа «Альтернатива», «Успех АТГ-5»). Работая с данными приборами, оператор задействует для анализа и выделения полезного сигнала из шума только свой мозг и интуицию. Работа приборов такого класса определяется только чувствительностью

датчика, которая может изменяться от 80 мВ/г (течеискатель «Поиск») до 500 мВ/г (течеискатель «Альтернатива-21»).

Вторая группа приборов наиболее массовая. Это приборы с электронной (цифровой или аналоговой) фильтрацией входного сигнала. Основное назначение фильтров – выделение полезного сигнала при его сильном зашумлении в городских условиях. Датчики данной группы приборов обычно более чувствительны, и их чувствительность изменяется от 0,5 В/г («Альтернатива-21») до 5 В/г («Успех АТГ-209»).

В третью группу входят течеискатели с функцией псевдокоррелятора. Это приборы, позволяющие определять расстояние до утечки по разности интенсивности шума в зависимости от расстояния до места утечки. Чаще всего для работы третьим методом используются течеискатели с индикацией шума и специальным типом датчика («Успех АТ-207»).

### **Заключение**

Приборы акустического контроля надёжности трубопроводов заняли устойчивое положение на рынке диагностического оборудования. Все современные акустические течеискатели являются компактными переносными приборами, питаемыми от встроенных аккумуляторов. Акустические средства течеискания занимают особое место среди течеискателей других типов, поскольку они просты и надежны в эксплуатации, не требуют каких-либо сложных специальных приспособлений, не нарушают основных технологических процессов, безопасны для здоровья обслуживающего персонала. Наиболее совершенными являются акустические корреляционные течеискатели, датчики которых устанавливаются на концах контролируемого участка трубы. Акустические колебания, возникающие при истечении технологической среды и регистрируемые датчиками, усиливаются и по кабелю или радиоканалу передаются на программируемый процессор, где вычисляется их взаимная корреляционная функция.

### **Библиографический список**

1. Гофман Ю.М. Атлас – справочник по характерным повреждениям и дефектам трубопроводов тепловых сетей, 2012 .
2. ГОСТ 23829-85 Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. Официальное издание. М.: Издательство стандартов, 1986 .
3. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 243 с.
4. Метод НПК «ВЕКТОР». Прибор «ВЕКТОР 2001». Источник: <http://www.rosteplo.ru>.
5. О методе. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://www.meganet.md/nercont/Html/acust.html>.
6. РД 153-34.0-20.673-2005 «Методические рекомендации по техническому диагностированию трубопроводов тепловых сетей с использованием акустического метода» .
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 472 с.
8. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения: Справочное пособие. Серия 28. Выпуск 4/ Колл. авт. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно–технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003.
9. Новости теплоснабжения. № 3, март, 2009. Источник: <http://www.ntsni.ru/>.