

А.А.Владимирский, И.А.Владимирский,
ИПМЭ им. Г.Е.Пухова НАН Украины, Киев

СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ БЕЗ ИХ ВСКРЫТИЯ

Представлені технічні засоби активно-пасивного низькочастотного діагностування стану міських підземних трубопроводів теплопостачання з метою виявлення місць корозійного утонення.

Представлены технические средства активно-пассивного низкочастотного диагностирования состояния городских подземных трубопроводов теплоснабжения с целью выявления мест коррозионного утонения.

The article presents the technical means active-passive low-frequency diagnostics of underground heat supply pipelines. The pipelines' thinning caused by corrosion is revealed.

Ключові слова: трубопровід, корозія.

Ключевые слова: трубопровод, коррозия.

Keywords: pipelines, corrosion.

Введ ение.

Отечественное городское хозяйство характеризуется значительным объемом различных подземных трубопроводных систем, находящихся в катастрофическом состоянии.

Например, в Киеве общая длина тепловых сетей (ТС) превышает 2,2 тыс. км, при этом у 50 % трубопроводов исчерпан нормативный срок эксплуатации. Фактические темпы перекладки трубопроводов отстают по причине хронического недофинансирования, выделяемых средств хватает лишь на замену 30 км ТС в год. Как результат – ежегодное увеличение количества регистрируемых утечек на ТС, в настоящее время порядка 9,0 тыс. в год. При этом стоимость ремонта 100 м ТС приближается к 30 тыс. долларов США. Текущее положение характеризуется резким обострением ситуации с износом ТС увеличением количества аварий с тяжелыми последствиями, с несчастными случаями.

В соответствии с действующим Положением о техническом диагностировании ТС оценка состояния и продление ресурса осуществляется экспертами на основании контроля металла в шурфах (остаточная толщина стенки трубопровода измеряется с помощью ультразвуковых толщиномеров). Этот метод имеет существенные недостатки:

- В шурфе возможно не самый поврежденный участок ТС.
- Физические ограничения на количество шурфов.

Практика плановых перекладок участков ТС в Киеве (Рис.1) показывает, что наряду с фрагментами трубопроводов с остаточной толщиной 75%, 50%,

10% встречаются и практически неповрежденные плети, которые могли бы эксплуатироваться еще длительный период.

Таким образом, задача создания и внедрения в производственную практику технических средств оценки состояния металла (степени коррозионного износа) подземных трубопроводов ТС без их вскрытия является крайне актуальной. Такие технические средства должны обеспечивать:

- Получение достоверных данных о фактическом состоянии металла участков ТС с целью оценки возможности и условия дальнейшей эксплуатации.

- Определение очередности переключений участков.

- Организацию упреждающего точечного ремонта.

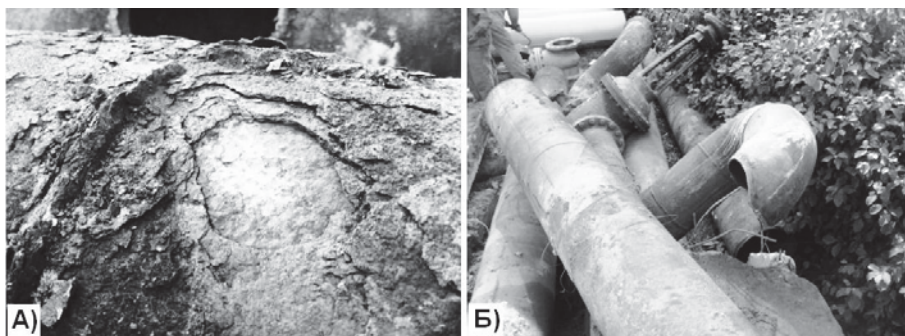


Рис.1. Трубы снятые с одного из участков ТС.

А) Коррозионное утонение 30%. Б) Коррозионное утонение 1-2%.

Из известных на настоящий момент технических решений, приборов и методик для оценки состояния металла подземных трубопроводов можно выделить следующие:

- 1) Ультразвуковая система WAVEMAKER G3, G4 [1] производства Guided Ultrasonics Ltd (Великобритания). Используется активный метод. Длина диагностируемых участков до 100 м (новые трубы без швов), до 20 м (ржавые трубы, сварные швы). Стоимость порядка 200,0 тыс. долл. США.

- 2) Акусто-эмиссионная система ИЭС им. Е.О.Патона НАН Украины. Применяется пассивный метод, необходимо менять давление в ТС.

- 3) Комплекты Каскад-2, -3, Курсор, Вектор (Российская Федерация). Применяется пассивный метод, нужен проток воды. Частотный диапазон 500 ... 5000 Гц. Имеется нормативная база в РФ. По утверждению разработчиков показывает не утонение металла, а места повышенных напряжений.

Не умаляя в целом широчайшие возможности ультразвуковых методов, применительно к данной задаче – диагностике протяженных участков отечественных подземных трубопроводов ТС, их следует признать малопригодными. Основные причины – сильный коррозионный износ,

быстрое затухание сигналов вдоль трубопроводов, наличие многочисленных конструктивных препятствий на пути распространения ультразвуковых сигналов (сальниковые компенсаторы, арматура и пр.).

Сомнительной представляется и обоснованность локализации будущих порывов ТС с местами повышенного механического напряжения. Опыт эксплуатации ТС в Киеве свидетельствует о том, что повреждения трубопроводов (разрывы, трещины) возникают практически исключительно в местах сильного коррозионного утонения. В то же время напряженные участки, не подверженные сильному коррозионному повреждению, благодаря большому запасу конструкционной прочности ТС обеспечивают многолетнюю безаварийную эксплуатацию.

Основная часть.

В ИПМЭ им. Г.Е.Пухова на базе многолетнего положительного опыта исследований, разработок и внедрения корреляционных [2, 3], акустических и термоакустических течеискателей, предназначенных для выявления утечек подземных трубопроводов, разработана экспериментальная система активно-пассивного низкочастотного диагностирования состояния трубопроводов РАСТР-1 [4, 5] с целью выявления мест коррозионного повреждения трубопроводов.

Принцип действия системы основан на регистрации сигналов вибрации, возникающих в местах коррозионного утонения стенок трубопровода при их возбуждении протоком воды, шумами арматуры или с помощью специальных акустических излучателей. Для определения местоположения мест утонения используется корреляционная обработка сигналов, регистрируемых в нескольких точках на поверхности трубопровода. Предусматривается работа в условиях многоволнового распространения сигналов в диапазоне скоростей от 300 до 6000 м/сек (для волн распространяющихся в различных средах с разными модами).

Пассивный режим применяется для оценки шумовой обстановки, регистрация мест утонения трубопроводов за счет их возбуждения внешними шумами (проток воды, утечки, бойлеры, насосы и пр.). Активный режим применяется для работы в условиях интенсивных помех, при отсутствии расхода теплоносителя по ТС. В этом случае регистрация мест утонения трубопроводов осуществляется за счет их возбуждения сигналами специального генератора и излучателя.

В состав системы РАСТР-1 (Рис.2.) входят три трехканальных регистратора. Рабочий диапазон частот - от 20 до 10000 Гц. По всем измерительным каналам имеется аналого-цифровая автоматическая регулировка усиления глубиной по 100 дБ. Обеспечение синхронности измерений осуществляется с помощью корреляционной обработки шумоподобного радиосигнала с погрешностью не более 40 мкс. В активном режиме на трубопровод устанавливается излучатель акустического сигнала, на который через усилитель мощности подается синтезированный тестовый сигнал. Для каждой комбинации позиций вибродатчиков и излучателя

проводится несколько сеансов возбуждения тестовых сигналов и формирования массивов двухминутных выборок регистрируемых вибросигналов. По каждому эксперименту производится расчет 45 взаимных и авто-корреляционных функций. Далее осуществляется вторичная обработка полученных данных с целью выявления информационных параметров.

Наличие в РАСТР-1 прецизионной системы АРУ позволяет оценивать состояние ТС по критерию сверхнормативного затухания сигналов.

Фактическое затухание акустических сигналов при распространении их вдоль ТС (см. Рис.2) , дБ:

$$K_{AB} = 20 \lg \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \text{ (схема 3)}, \quad K_{BC} = 20 \lg \frac{\sigma_B}{\sigma_C} \text{ (схема 1)},$$

а для контроля корректности измерений, можно использовать оценку:

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_C} \approx \frac{10^{0,05 \cdot K_{BC}}}{10^{0,05 \cdot K_{AB}}} \text{ (схема 2)},$$

где: σ_A , σ_B и σ_C - СКЗ сигнала излучателя, зарегистрированные в ТК "А", ТК "В" и ТК "С".

Критерий диагностирования - величина сверхнормативного затухания сигналов:

$$K_{nAB} = \kappa_{ny} \cdot L_{AB}; \quad K_{nBC} = \kappa_{ny} \cdot L_{BC};$$

$$M_{AB} = K_{AB} - K_{nAB}; \quad M_{BC} = K_{BC} - K_{nBC};$$

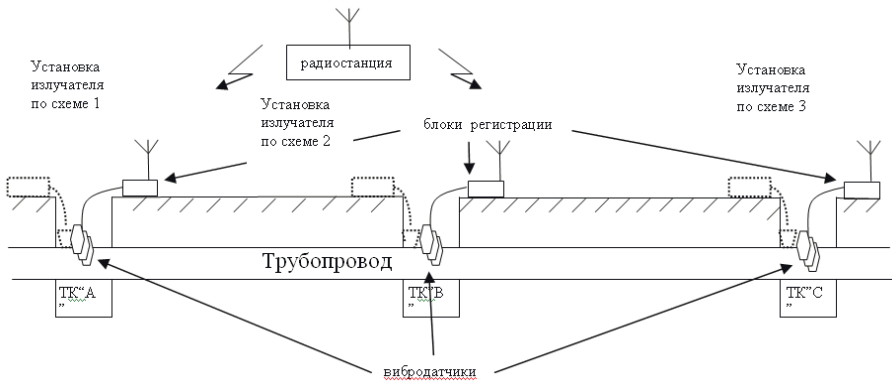


Рис.2. Схема развертывания РАСТР-1 на диагностируемом участке ТС (ТК – тепловые камеры вдоль диагностируемой ТС).

Получены следующие практические данные: в указанной выше полосе рабочих частот нормативное удельное затухание акустических сигналов вдоль ТС диаметром 200-450 мм проложенных в каналах при отсутствии

существенного заиливания канала и демпфирования труб составляет примерно 0,117 дБ/м. Наличие сверхнормативного затухания указывает на заиленность участка трубопровода и повышенную вероятность его коррозионного повреждения.

Из известной формулы Н.Е. Жуковского (1) для скорости распространения гидравлического удара вдоль трубопровода, заполненного жидкостью можно получить выражение для толщины стенки трубопровода (2), усредненную по длине участка и длине окружности трубы:

$$V = \frac{V_s}{\sqrt{1 + \frac{D \cdot \mu}{d \cdot E}}}, \quad (1); \quad d = \frac{D \cdot \mu}{E \cdot \left[\left(\frac{V_s}{V} \right)^2 - 1 \right]}, \quad (2);$$

где: V_s - скорость звука в воде; d - толщина стенки трубопровода; D – диаметр трубопровода; μ – модуль упругости жидкости; E – модуль Юнга для металла стенки трубопровода.

На практике на разных частотах различие измеренной с помощью РАСТР-1 и вычисленной по (1) скоростей для диаметра труб 200-450 мм. составляет до $\pm 8,7$ %. Введение соответствующих поправок позволяет в дальнейшем получать по измеренным скоростям фактическое среднее по обследуемому трубопроводу значение толщины его стенки (т.н. остаточную толщину).

В настоящее время в соответствии с графиком (см. Табл.1.) проводится процесс обучения системы, совершенствование алгоритмов обработки и методики.

Методические испытания – проведение измерений с помощью РАСТР-1 в пассивном и активном режимах на участках, планируемых к перекладке. При последующих перекладках трубопроводов проводится тотальная толщинометрия. Далее осуществляется отработка алгоритмов, подбор параметров обработки, при которых результат обработки коррелирует с выявленными местами фактического утонения труб.

Начато проведение производственных испытаний на участках, на которых перекладки не планировались. При обнаружении подозрительных участков должна быть выполнена шурфовка и экспертная оценка степени коррозионного повреждения вскрытого участка.

Таблица 1. График работ

Год	Вид работ		Примечание
	Методические	Производственные	
2012	6 участков	-	
2013	8 участков	-	
2014	6 участков	5 участков	Всего 1,5 км
2015	4 участка	4 км	

Пример. Результаты исследования участка обратного трубопровода между ТК209 и ТК210 вдоль ул. Щербакова в г. Киеве представлены на Рис.3. На графике А) - фактическая толщинометрия верхней и нижней стенок трубопровода, на графиках Б) и В) - результаты обработки данных РАСТР-1, полученных в активном и пассивном режимах соответственно. В активном режиме превышение информационным параметром уровня фона в три раза свидетельствует о наличии в этих местах масштабного по площади коррозионного утонения стенки трубопровода не менее чем на 50%. Возможно коррозионное утонение больше по глубине, но меньше по площади. Результаты пассивного режима существенно хуже.

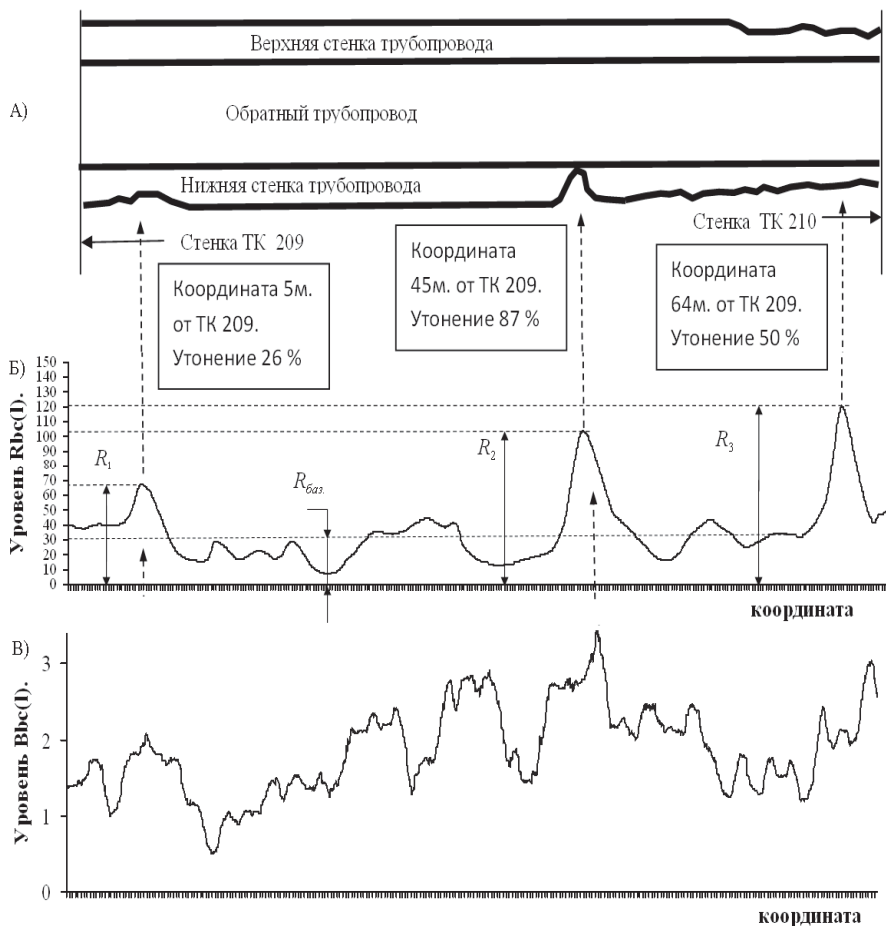


Рис.3. Пример корреляции результатов фактической толщинометрии (а) и данных РАСТР-1 в активном (б) и пассивном (в) режимах

Для рассматриваемого примера обратного трубопровода между ТК209 и ТК210 нормативное затухание $0,117 \text{ дБ/м} * 68 \text{ м} = 8 \text{ дБ}$, фактическое затухание 14 дБ, сверхнормативное затухание 6 дБ.

При вскрытии установлено, что трубопровод на 10...50%, а местами и на 90 % своего диаметра был погружен в грунт, то есть канал был значительно заилен. Это привело в негодность изоляцию, способствовало увлажнению металла и привело к сильной коррозии.

По результатам экспериментальных работ совместно с предприятием "КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА" "КИЕВЕНЕРГО" утверждена вторая редакция Методики "Моніторинг ділянок трубопроводів теплових мереж на основі застосування реєстратора акустичних сигналів трубопроводів "РАСТР-1".

Выводы.

Проведенные исследования подтверждают перспективность применения активно-пассивного низкочастотного виброакустического диагностирования состояния городских подземных трубопроводов теплоснабжения с целью выявления мест коррозионного утонения. Необходимые дистанционные характеристики обеспечиваются.

1. *Е.И. Вальшикова.* WAVEMAKER - ультразвуковая система экспресс-диагностики трубопроводов. MEGATECH - Новые технологии в промышленной диагностике. Номер 1. 2011г. –с.58-61.
2. *Владимирский А.А., Владимирский И.А., Семенюк Д.Н.* Уточнение диагностической модели трубопровода для повышения достоверности течеискания. Акустичний вісник. Інститут гідромеханіки НАН України. Том 8. Номер 3. 2005р. -с.3-16.
3. *Владимирский А.А, Владимирский И.А., Савчук Н.П., Криворот А.А., Криворучко И.П.* Разработка корреляционного течеискателя К10-3М. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 56, Київ, 2010р.-с.43-46.
4. *Владимирский А.А, Владимирский И.А.* Разработка структуры экспериментальной системы активно-пассивного низкочастотного диагностирования состояния трубопроводов. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 64, Київ, 2012р.-с.55-57.
5. *Владимирский А.А, Владимирский И.А, Криворучко И.П.* Разработка приборного комплекса для диагностирования состояния трубопроводов. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 66, Київ, 2013р.-с.38-42.

Поступила 7.10.2015р.