

КОМПЛЕКСНЫЙ ДИСТАНЦИОННО-КОНТАКТНЫЙ МЕТОД КАЧЕСТВЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОПРОВОДОВ

Э.И. Гусейнли

НИИ Водных проблем, г.Баку, Республика Азербайджан

Статья посвящена предлагаемому комплексному дистанционно-контактному методу качественной диагностики аварийного состояния водопроводов. Разработан комплексный дистанционно-контактный метод качественной диагностики аварийного состояния водопроводов и соответствующий алгоритм реализации. Получена формула для вычисления длины водопровода от точки измерения исходного давления в трубопроводе до места дистанционного определения утечки воды по предложенному методу. Также получена формула для вычисления площади отверстия свища на стенке корродированного трубопровода.

Ключевые слова: диагностика, трубопровод, свищ, дистанционное зондирование, давление воды, измерения.

COMPREHENSIVE REMOTE-CONTACT METHOD OF QUALITATIVE DIAGNOSTICS OF THE EMERGENCY STATE OF WATER PIPELINES

E.I. Huseynli

Research Institute of Water Problems, Baku, Republic of Azerbaijan

The article is devoted to the proposed integrated remote-contact method for high-quality diagnostics of the emergency state of water pipelines. A comprehensive remote contact method for qualitative diagnostics of the emergency state of water pipelines and a corresponding implementation algorithm have been developed. A formula is obtained for calculating the length of the water supply system from the point of measuring the initial pressure in the pipeline to the place of remote determination of water leakage according to the proposed method. Also, a formula was obtained to calculate the area of the lead hole on the wall of a corroded pipeline.

Key words: diagnostics, pipeline, fistula, remote sensing, water pressure, measurements.

Хорошо известно, что аварийное состояние водопроводных сетей является одним из важных проблем коммунального хозяйства больших и малых населенных пунктов. Оперативное определение мест утечек и желание быстрого восстановления водопроводной сети могут оказать эффективными при наличии максимально возможной информации о характере и масштабе повреждения водопровода.

Как отмечается в работе [1], утечки и неучтенный расход воды в системах водоснабжения достигают 60% процентов поданной в сеть воды, что приводит к дефициту качественной питьевой воды. В свою очередь, аварии на линиях канализационных стоков является одним из причин загрязнения окружающей среды. Вышесказанное указывает на важность проведения плано-предупредительных (диагностических) работ по ремонту водопроводов взамен дорогостоящих аварийно-восстановительных работ, затраты на проведение которых в три раза превышают стоимость строительства новых трубопроводов.

Согласно [2], статистика эксплуатации водопроводных сетей показывает, что в стальных трубах значительное количество повреждений обуславливается коррозией металла, приводящей к образованию свищей на стенке трубы.

Оперативное определение размеров свищей на стенках трубопроводов позволяет оценить тяжесть аварии, своевременно подготовить аварийно-восстановительные бригады к скорейшему устранению аварии. В настоящей статье предлагается комплексный дистанционно-контактный метод проведения качественной диагностики аварийного состояния водопровода с

образовавшейся утечкой воды, предусматривающий дистанционное определение места утечки воды по признаку повышенной степени увлажненности почвы и контактных измерений давления воды в трубопроводе в контрольных точках замера с использованием манометров.

Предлагаемый метод диагностики неисправного состояния водопроводов основывается на известном положении о том, что если значения расчетных и фактических давлений существенно не совпадают, то это означает наличие на расчетном участке свища, разлома или порыва.

Алгоритм реализации предлагаемого метода достаточно простой и предполагает проведения следующих операций:

1) расчетное определение длины трубы l_1 от точки замера исходного давления до расчетного места утечка;

2) дистанционное определение места появления утечки по акустическому или тепловизиальному методу;

3) вычисление длины трубы l_2 от точки замера исходного давления до дистанционно определенному месту утечки используя для этого схему закладки трубопровода (трассировки трубопровода);

4) замена l_1 на l_2 и проведение дальнейших вычислений по определению площади отверстия свища используя результаты измерений давления в исходной точки трубопровода и в зоне аварии.

Несколько подробно распишем результаты реализации первого пункта вышеизложенного алгоритма с использованием результатов, полученных в [2].

Рассмотрим аварийный участок водопровода, схема которого приведена на рис. 1. [2].

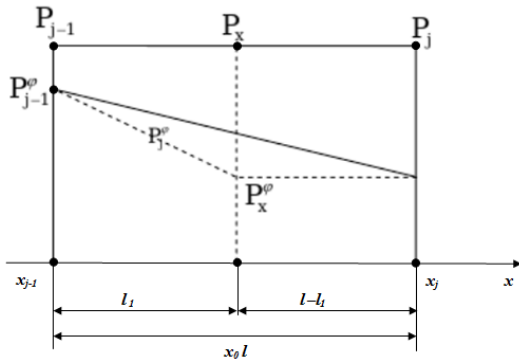


Рис. 1. Схема аварийного участка водопровода с указанием изменения пьезометрического давления в трубе с утечкой в точке x_0 .

Расход воды x_i при отсутствии утечки определим из выражения

$$P_{j-1} - P_j = S \cdot l \cdot x_i. \quad (1)$$

Из (1) получим

$$x_i = \sqrt{\frac{P_{j-1} - P_j}{S \cdot l}}, \quad (2)$$

где $P_{j-1} - P_j$ – расчетные значения давления в начале и в конце расчетного участка без утечки воды; S – удельное сопротивление трубопровода; l – длина участка трубопровода

Утечку Δq определим как разницу расходов в точках x_{j-1} и x_j .

В этом случае для участка трубопровода длиной l_1 запишем:

$$P_{j-1} - P_x = S \cdot l_1 (x_1 + \Delta q)^2 \quad (3)$$

Также для участка трубопровода длиной $l - l_x$ запишем:

$$P_x - P_j = S \cdot (l - l_1) \cdot x_i^2. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) составляют систему уравнений, с неизвестными P_x и l_1 . Для вычисления этих неизвестных из (4) получим

$$P_x = P_j + S(l - l_1) \cdot x_i^2. \quad (5)$$

Из (3) и (5) получим

$$P_{j-1} = P_j + S(l - l_1) \cdot x_i^2 + S \cdot l_1 (x_1 + \Delta q)^2. \quad (6)$$

Из выражения (6) находим

$$l_1 [-S \cdot x_i^2 + S \cdot (x_1 + \Delta q)^2] = P_{j-1} - P_j - S \cdot l \cdot x_i^2. \quad (7)$$

Из выражения (7) окончательно получим:

$$l_1 = \frac{P_{j-1} - P_j - S \cdot l \cdot x_i^2}{-S \cdot x_i^2 + S \cdot (x_1 + \Delta q)^2}. \quad (8)$$

Таким образом, показано, что для реализации первого пункта алгоритма диагностики аварийного состояния водопровода длина трубы до места утечки может быть вычислена по формуле (8).

Рассмотрим вопрос о дистанционном определении места утечки с водопровода. Отметим, что наиболее реальными методами дистанционного определения места утечки воды являются

метод электромагнитного дистанционного зондирования и метод акустического дистанционного зондирования.

Прежде всего отметим, что акустическое зондирование согласно [3] основывается на том, что вытекание воды через сквозной дефект сопровождается акустическими сигналами, которые можно зафиксировать на самом трубопроводе или над ним. При работе акустическими течейскаателями шумы протекания воды регистрируются с помощью датчика вибрации на грунте, над трубопроводом, последовательно вдоль диагностируемого участка. При этом оптимальная полоса частот зависит от типа трубопровода и условий прокладки. Основным недостатком акустического метода заключается в ограниченности дистанции с которого можно зафиксировать указанные акустические сигналы. Максимальное расстояние функционирования акустических обнаружителей не превышает нескольких десятков метров и ограничивается существенным затуханием ультразвука в воздухе. Поэтому, наиболее реальным оказывается применение дистанционных устройств зондирования влажности почвы.

При этом, влажность почвы может быть прозондирован как спутниковыми средствами, так и с использованием БПЛА, вертолетов и др. летательных средств.

Как отмечается в работе [4], с этой целью могут быть использованы пассивные микроволновые радиометры, работающие в диапазонах X, C, и L, позволяющие исследовать глубину земляного слоя вплоть до 0,6 м. На длине волны 2,0–21 см.

Что касается третьего пункта вышеизложенного алгоритма, то длина трубопровода, простирающегося с пункта исходного замера до точки утечки, обнаружено дистанционно, то здесь можно применить математический аппарат для вычисления дуги заданной определенной функцией.

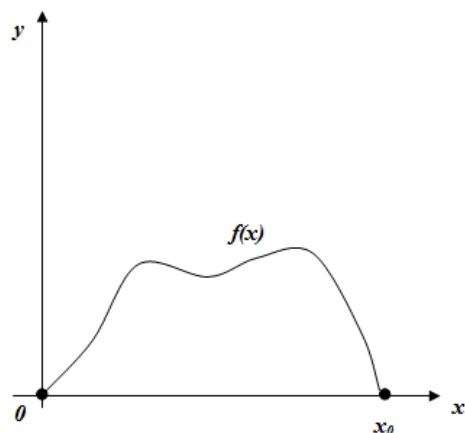


Рис. 2. Вычисление периметра кривой, заданной функцией $f(x)$

Так, например, если исходная точка замера давления в трубе находится в позиции «0» (рис. 2) а ме-

сто утечки, обнаруженное дистанционно соответствует точке x_0 , то длина l трубопровода с маршрутом прокладки, соответствующей функции $f(x)$ определится по формуле (9) [5].

$$l_2 = \int_0^{x_2} \sqrt{1 + f'(x)} dx, \quad (9)$$

где

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx} \quad (10).$$

Таким образом, используя карту прокладки трубопровода, зная точки «0» и « x_0 », определив функцию $f(x)$ можно будет вычислить значение l_2 по формуле (9).

Рассмотрим вопросы реализации четвертого пункта вышеизложенного алгоритма. Согласно этому пункту l_1 заменяется на l_2 , и далее, чтобы вычислить площадь ω отверстия (свища на стенке трубы) можно воспользоваться следующей формулой [2]:

$$\omega = \frac{\Delta q}{9600 \cdot \sqrt{P_x}}, \quad (11)$$

где для нахождения Δq можно воспользоваться формулой (8), а P_x вычислить по формуле [5]. Так, из формулы (8) нетрудно получить следующее выражение

$$\Delta q = \sqrt{\frac{P_{j-1} - P_j - S \cdot l \cdot x_i^2}{S \cdot l_1} + x_j^2} - x_i. \quad (12)$$

С учетом (5), (11), (12) получим

$$\omega = \frac{\sqrt{\frac{P_{j-1} - P_j - S \cdot l \cdot x_i^2}{S \cdot l_1} + x_i^2}}{9600 \cdot \sqrt{P_j + S(l - l_1) \cdot x_i^2}}. \quad (13)$$

Формула (13) позволяет вычислить площадь свища на стенке водопровода при наличии данных о таких показателях как $P_{j-1}; P_j; S; l; l_1; x_i$.

Таким образом, предлагаемый комплексный дистанционно – контактный метод оценки степени аварийности корродированных стальных водопроводов позволяет, используя результаты манометрических измерений, некоторого объема вычислительных работ и дистанционного зондирования влажности почвы дать заключение о степени коррозионности трубопровода, руководствуясь при этом полученной расчетной величиной площади отверстия свища на стенке корродированного трубопровода.

В заключение сформулируем основные выводы проведенного исследования.

1. Предложен комплексный дистанционно – контактный метод качественной диагностики аварийного состояния водопроводов и соответствующий алгоритм реализации.

2. Получена формула для вычисления длины водопровода от точки измерения исходного давления в трубопроводе до места дистанционного определения утечки воды по предложенному методу.

3. Получена формула для вычисления площади отверстия свища на стенке корродированного трубопровода.

Список литературы

1. А.М. Героева, И.Ю. Зильберова. Прогнозирование и диагностика технического состояния объектов коммунальной инфраструктуры. Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/109.pdf_1074/p.
2. В.Р. Чупин, А.С. Душин, Р.В. Чупин/ Определение мест повреждений, утечек и несанкционированных отборов воды из системы водоснабжения // вестник иргту № 5 (64), 2012, стр. 89–96.
3. Акустические методы поиска утечки воды. Режим доступа: <https://dtruba.jimdo.com/%D0>.
4. R.B. Haarbrink, A.M. Shutko, New Airborne sensor for soil moisture mapping. Режим доступа: https://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/1-w44/papers/haarbrink_pmr_full.pdf.
5. Вычисление длины дуги, заданной в декартовой системе координат. Режим доступа: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=21&index=33.

© Э. И. Гусейнли

Ссылка для цитирования:

Э.И. Гусейнли. Комплексный дистанционно-контактный метод качественной диагностики аварийного состояния водопроводов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 4 (34). С. 13–15.