

- Е. М. Фёдоров; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. А. Е. Гольдштейн. – Томск, 2010. – 155 с.: ил.
5. Принцип измерения – Текст: электронный // Электонт: [сайт]. – Запорожье, 2022. – URL: <http://www.elecont-ua.com/ru/products/diametr/solutions/> (дата обращения: 24.10.2022).

УДК 628.14

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК В ВОДОПРОВОДАХ

*Жуань Сыпэн, Мамонова Татьяна Егоровна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

E-mail: [sypen@tpu.ru](mailto:sypen@tpu.ru)

## METHODS FOR IDENTIFYING LEAKS IN WATER PIPES

*Ruan Sipeng, Mamonova Tatyana Egorovna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** представляемая работа посвящена обзору методов определения утечек в водопроводах. Проведенный анализ существующих методов и технологий позволяет утверждать, что использование совокупности методов определения утечек для трубопроводного транспорта водоснабжения представляет собой более эффективный подход для обеспечения работы системы трубопроводной сети, при этом необходимо учитывать влияние различных параметров перекачиваемой жидкости и трубопровода. Также необходимо разработать комплексный подход для определения точности местоположения утечек.

**Abstract:** the presented work is devoted to a review of methods of leakage detection in water pipelines. The analysis of existing methods and technologies suggests that the use of a combination of leak detection methods for water supply pipelines represents a more efficient approach to ensure the operation of the pipeline network system, while taking into account the influence of various parameters of the pumped liquid and the pipeline. There is also a need to develop a comprehensive approach to determine the accuracy of leak location.

**Ключевые слова:** утечка в водопроводе; контроль градиента давления; акустический метод; комплексный метод.

**Keywords:** leak in the water pipeline; pressure gradient control; acoustic method; complex method.

**Введение.** Как известно, проблема бесперебойного водоснабжения объектов городской инфраструктуры и устранения аварийных ситуаций из-за появления пробоев и утечек в трубопроводах в настоящее время одну из существенных задач [1].

Утечки происходят из-за причин различного характера, основными из них принято считать перепад давлений внутри и снаружи закрытых емкостей и трубопроводов, в процессе использования которых внутренняя среда (вода) через появившиеся дефекты может либо просачиваться (микроутечки), либо протекать с достаточно большим расходом. Так же причиной возникновения утечек в трубопроводах являются наличие разницы давлений внутри трубы, разрушение материала стенки трубы, отказ уплотнительных деталей. Кроме того, существуют и другие факторы, приводящие к появлению утечек в водопроводах, такие как халатность, несоблюдение техники безопасности, плохое качество управления, незаконная эксплуатация.

Утечки воды в водопроводах являются актуальной проблемой для сети водообеспечения почти всего мира. Представляется важным фактом, что в Южной Африке 37 % всего объема снабжаемой воды теряется из-за утечек в трубных линиях. При мониторинге этого показателя значение достигает 7 %, а в некоторых развивающихся странах этот показатель больше чем 50 % [2].

С развитием технологий в области диагностики трубопроводного транспорта для определения утечек появлялись различные методы, от простейших традиционных обследований сегментов участка трубы до более сложной комбинации компьютерного, программного и аппаратного обеспечения.

Согласно [3], существуют следующие основные факторы, затрудняющие использование известных методов обнаружения утечек в водопроводных сетях: сложная топография водопроводных труб, износ и коррозия труб водопроводной сети, разнородность материалов труб, большой разброс диаметров труб в одной трубопроводной системе.

В настоящее время для обнаружения утечек в водопроводах применяются следующие методы:

- гидравлические методы;
- акустические методы;
- корреляционный методы;
- методы телевизионной диагностики;
- газоаналитический метод;
- комплексные методы.

Применение комплексных средств позволяет, в основном, решить задачу определения местоположения утечки. Из перечисленных методов особую значимость для водопроводов имеют акустические методы и гидравлические методы, основанные на контроле градиента давления.

**Акустические методы.** Технология обнаружения акустической эмиссии направлена на определение деформации или трещины в трубе с применением излучения упругих волн. Сигнал акустической эмиссии содержит количественную информацию о месте утечки в трубопроводе, её характеристиках и расширении трещины. Далее с помощью этих данных необходимо определить место утечки и степень повреждения. Данный метод реализуется с помощью волоконно-оптического датчика на брэгговских решетках. Датчик имеет фиксированное периодическое модулированное распределение, при падающем широкополосном источнике света на одном конце датчика акустической эмиссии периодически изменяется его эффективный коэффициент преломления, и каждый небольшой участок волокна отражает только брэгговские длины волн. Длина волны волоконно-оптических решеток отражения равна:

$$\lambda_b = 2n\Lambda, \quad (1)$$

где  $\lambda_b$  – длина отраженной волны, нм;  $n$  – эффективный коэффициент преломления,  $\Lambda$  – период решетки, нм [4].

Изменение количества событий акустической эмиссии, регистрируемых волоконно-оптической решеткой Брэгга, зависит от условия утечек, в том числе от периода и эффективного коэффициента преломления. При сигнале утечек на датчике осевой эффективный коэффициент преломления равен

$$n_{eff}(s) = n_{eff0} - \Delta n \sin^2 \left( \frac{\pi s}{\Lambda_0} \right), \quad (2)$$

где  $s \in [0, L]$ ,  $L$  – эффективная длина волоконно-оптической решетки, нм;  $\Delta n$  – максимальное изменение коэффициента преломления. С целью получить точное изменение акустической эмиссии волны применяют модель поля деформации:

$$\varepsilon(s) = A \cos \left( \frac{2\pi s}{\lambda_h} - w_h s \right), \quad (3)$$

где  $A$  – амплитуда акустической эмиссии, мВ;  $\frac{2\pi}{\lambda_h}$  – количество событий акустической эмиссии;  $w_h$  – угловая частота сигнала акустической эмиссии, Гц;  $\lambda_h$  – длина волны акустической эмиссии в среде, мм.

На практике изменение центральной длины волны волоконно-оптической решеткой Брэгга зависит от двух параметров: эффективного коэффициента преломления и периода.

По окончании модуляции длина волны волоконно-оптической решетки равна

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \Delta\lambda_0 \cos(w_h t), \quad (4)$$

В итоге, полученное изменение длины волны равно

$$\Delta\lambda = \lambda_0 \varepsilon_m \left\{ 1 - \left( \frac{n_{eff}^2}{2} \right) [P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})] \right\}, \quad (5)$$

где  $P_{ij}$  – упругость материалов волоконно-оптических решеток.

Как отмечено выше, по причине акустической эмиссии от источника в точке утечки волна излучения передается вдоль трубы на датчик волоконно-оптической решетки, поэтому с помощью изменения центральной длины волны можно определить точки утечки в трубопроводе.

Недостатком данного метода является неточность определения утечек и не имеет универсальность.

**Гидравлические методы, основанные на контроле градиента давления.** Для несжимаемых жидкостей, транспортируемых по трубопроводу, справедливо следующее соотношение:

$$v_{вх} \cdot A_{вх} = v_{вых} \cdot A_{вых}, \quad (6)$$

где  $v_{вх}$  – скорость движения водной массы на входе, м/с;  $v_{вых}$  – скорость движения водной массы на выходе трубопровода, м/с;  $A_{вх} = \pi \cdot R_i^2$  – площадь поперечного сечения трубопровода на входе или выходе, м<sup>2</sup>;  $R_i$  – радиус трубы на входе или выходе, м;

Падение давления в трубе при отсутствии ответвлений происходит из-за силы трения. Коэффициент трения вычисляется по формуле:

$$f = \frac{64}{Re}, \quad (7)$$

где  $Re$  – показатель Рейнолдса, определяемый как отношение инерционных сил и сил вязкости. Для однотипных труб:

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu}, \quad (8)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – диаметр трубы, м;  $v$  – средняя скорость движения жидкости, м/с;  $\mu$  – динамическая вязкость, Па·с;

Согласно [5], в горизонтальной трубе круглого сечения длиной  $L$  диаметром  $D$  и со скоростью потока  $v$  возникает падение давления  $\Delta P$  из-за силы трения, определяемое по формуле

$$\Delta P = \frac{f \cdot L \cdot \rho v^2}{2 D g}, \quad (9)$$

В результате проведенных в [5] исследований было обнаружено, что при отсутствии утечки градиент остается неизменным.

Недостатком данного метода является при наличии утечки величина градиента значительно изменяется.

**Комплексные методы.** Данный метод для диагностики напорных труб включает в себя функции аудио- и видео-обнаружения для эффективного обнаружения небольших утечек в трубах водоотведения [6]. Данные в режиме реального времени передаются на наземную платформу управления через хвостовой кабель, с помощью системы радиопередатчика определяется точное местоположение утечек (см. рисунок).



*Рисунок – Общий вид работы системы обнаружения утечки комплексным методом*

Данный метод имеет следующие характеристики: универсальность для диаметров трубы DN 300–1000 и различных материалов трубы; прямой доступ к магистрали для проверки давления в режиме реального времени через существующие клапаны в трубопроводе, без прерывания работы водопровода; проверка на дальние расстояния (до 500 метров).

Используемое оборудование: пиксельная HD-камера 200 Вт с подсветкой для четкой видимости состояния трубопровода; высокочувствительный акустический датчик для точной локализации утечек, аккумулятор большой емкости до 6 часов работы. По требованию может быть установлен соответствующий датчик для диагностики. Детектор сделан из пищевого материала, не загрязняет воду.

Недостатком данного метода характеризуется большой сложностью в реализации и требует значительных денежных затрат.

**Заключение:** в работе представлены основные методы, подходящие для оперативного обнаружения утечек в трубопроводах, используемых для реализации водоснабжения объектов, находящихся в черте города. Для обеспечения эффективной работы системы трубопроводной сети необходимо учитывать влияние различных параметров трубопровода и перекачиваемой жидкости.

Указанные недостатки рассмотренных методов говорят о том, что нужна новая разработка с применением современных систем обработки информации с существующих установленных на трубопроводы систем аппаратных систем.

#### **Список литературы**

1. Линкевич, Н. Н. Методы выявления утечек воды и обнаружение мест повреждений водопроводной сети / Н.Н. Линкевич, В.Н. Ануфриев, А.Н. Линкевич // Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения: материалы Междунар. конф., посвященной 145-летию УП «Минскводоканал», в 2 ч (13–14 февраля 2019 г., Минск). – Минск: БГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 82–85.
2. Эминов, Р. А. Вопросы оценки и оптимизации показателей утечки с водопроводов при использовании акустического метода обнаружения / Р.А. Эминов, Э.И. Гусейнли, И.Ш. Сардарова // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2020. – № 12 (156). – С. 40–43.
3. Косыгин, А. Б. Обнаружение скрытых утечек с использованием системы мониторинга водопроводной сети / А.Б. Косыгин, В.Н. Ханин, К.И. Государев, И.В. Фомина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 4. – С. 22–26.

4. Chen Jianyu. On-line water-pipeline leak detection method [J] // Journal of Liaoning Technical University: Natural Science. – 2015. – № 34(4). – P. 496–499. doi:10.11956/j.issn.1008-0562.2015.04.013.
5. Wang, X. J. Leak detection in pipeline systems using hydraulic methods: a review / X.J. Wang, A.R. Simpson, M.F. Lambert, J.P. Vitkovsky // Conference on Hydraulics in Civil Engineering (23–30 January 2001, Hobart). – Hobart: The Institution of Engineers, 2001. – P. 391–400.
6. Booming Technology Ltd – Руководство к применению. – Текст: электронный – URL: <https://www.bwell-tec.com/product/126.html>.

УДК 614.841.42

## ИЗУЧЕНИЕ ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ

*Задорожная Татьяна Анатольевна, Сечин Александр Иванович*  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*  
E-mail: [ztata@tpu.ru](mailto:ztata@tpu.ru), [sechin@tpu.ru](mailto:sechin@tpu.ru)

## THE STUDY OF PARTICLES FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS COMBUSTION IN A HEAT FLOW

*Zadorozhnaya Tatyana Anatolyevna, Sechin Alexander Ivanovich*  
*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** в статье представлена модель горения образцов лесных горючих материалов (ЛГМ) в нагретом потоке воздуха. Определены длительность и скорость горения образцов отличающихся по своей структуре, форме и плотности. Полученные результаты позволяют прогнозировать возможность переноса горящих частиц лесного горючего материала на значительные расстояния, что может повлечь появление новых очагов горения в лесных массивах.

**Abstract:** the paper presents a model of combustion samples of forest combustible materials (FCM) in a heated air stream. The duration and rate of samples combustion differing in their structure, shape and density are determined. The results make it possible to predict the transfer of burning particles of forest combustible material to considerable distances, which will result in the appearance of new burning centers in forests.

**Ключевые слова:** лесной горючий материал; тепловой поток; скорость горения; длительность горения.

**Keywords:** forest combustible material; heat flow; the duration and rate of combustion.

Возникающий в лесу пожар вызывает возникновение локальных воздушных потоков, чем усиливает влияние преобладающего ветра на распространение огня. В результате развития гидродинамических процессов, над пожаром образуется конвекционная (тепловая) колонка. Она поднимает над лесным пологом горящие ветки, пучки хвои, которые затем опускаются на лес на удалении 200...300 м и более от основного очага горения (в зависимости от скорости ветра и наклона конвекционной колонки), что создает новые очаги горения [1]. В засушливую ветреную погоду на долю пятнистых пожаров приходится значительная доля площади, пройденной огнем [2–4], поэтому задача изучения горения частиц лесных горючих материалов (ЛГМ) в тепловом потоке имеет большое практическое значение.

Для решения данной задачи была разработана исследовательская платформа, позволяющая моделировать тепловые потоки с присутствием в них продуктов горения. В ее основу легли наработки авторов [5, 6]. Схема установки по определению времени горения образца заданной формы и размера в нагретом потоке воздуха представлена на рисунке 1. Процесс проведения опыта фиксировался на видеокамеру.