

УДК 004:658.011.56

С.Г. Фролов, А.М. Кориков

Обнаружение и локализация дефектов в трубопроводных сетях

Обнаружение дефектов в трубопроводных сетях является актуальной научно-практической задачей, так как от своевременного и точного обнаружения места порыва трубопровода и оперативной ликвидации этого дефекта зависит качество предоставляемой услуги потребителю. На примере теплосети рассматриваются некоторые методы обнаружения и локализации утечки в системе трубопроводов и возможности их практического применения. Предпочтение отдается корреляционному методу обнаружения утечки теплоносителя. Проведен анализ корреляционного метода обнаружения утечки и разработаны рекомендации по использованию.

Ключевые слова: трубопроводные сети, теплоснабжение, локализация утечки, методы локализации утечки, корреляционный метод.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-3-23-28

Обнаружение и локализация дефектов в трубопроводных сетях, например места утечки в системе теплоснабжения, является актуальной научно-практической задачей, так как от своевременного и точного обнаружения места порыва трубопровода и его оперативной ликвидации зависит качество предоставляемой услуги потребителю. Для своевременного обнаружения мест утечки теплоносителя и оперативного устранения неисправностей в системе теплоснабжения применяются различные методы, позволяющие как обнаруживать утечку теплоносителя на раннем этапе ее появления, так и достаточно точно локализовать место, в котором произошел порыв. Известны следующие две группы методов обнаружения утечки (повреждений трубопровода):

1) методы, основанные на постоянном мониторинге технологических параметров теплоносителя в системе теплоснабжения;

2) методы, основанные на контроле протекания переходных процессов в системе теплоснабжения.

Проведем краткий анализ методов обнаружения утечки и оценим возможность их практического применения в автоматизированной системе обнаружения утечки теплоносителя в системе теплоснабжения г. Томска.

Методы, основанные на мониторинге параметров теплоносителя

Методы этой группы обеспечивают своевременное обнаружение дефекта на раннем этапе его появления, но не могут с достаточной точностью локализовать конкретное место утечки, так как для этого необходимо густое покрытие системы теплоснабжения датчиками, контроллерами и сетевыми модемами [1, 2]. Одним из таких методов является автоматизированный анализ текущих параметров теплоносителя. Этот метод применяется в первой линии обнаружения утечки, так как использует в качестве источника данных непрерывно отслеживаемые технологические параметры теплоносителя (давление, массорасход, температуру теплоносителя до и после потребителя). Данные показатели постоянно отслеживаются диспетчером, который в свою очередь проводит анализ соответствия полученных данных с данными, которые присущи текущему

температурному графику и конфигурации сети. Технологические данные в системе теплоснабжения собираются постоянно в любых условиях, поэтому этот метод не требует особых затрат по проведению автоматизированного анализа данных на предмет выявления дефектов в системе. Также этот метод позволяет выявить утечку на участке теплоснабжения в период наименьшей активности потребителей. К такому периоду относится, например, временной интервал с 2 до 3 часов ночи. Если в этот промежуток времени расход воды на отслеживаемом участке превышает разумные пределы, то на контролируемом участке сети имеется дефект. Однако данный метод имеет большой недостаток: зависимость погрешности измерения расхода и давления от диаметра трубопровода. Чем больше диаметр отслеживаемого трубопровода, тем больший разброс показаний датчиков можно трактовать как погрешность [3].

В случае малых отверстий расход в поврежденной трубе увеличивается на величину, рассчитываемую по закону истечения жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре [4]. Также при возникновении порыва в трубопроводе происходит изменение давления воды в поврежденном участке трубы [5]. В случае ламинарного потока (в идеальном случае, так как в реальности в трубопроводах протекает турбулентный поток из-за шероховатостей внутренней поверхности трубопровода) и расхода на утечку 15 м³/ч графики давления и расхода будут выглядеть как на рис. 1.

При возникновении утечки теплоносителя в трубопроводе, ведущего к потребителю, давление временно уменьшается, но за счет компенсации давления оборудованием через некоторое время приходит в норму; расход на прямом участке трубопровода до места разрыва возрастает на расход воды через отверстие, а на участке после порыва, наоборот, уменьшается.

Анализ графиков на рис. 1 позволяет определить временные интервалы, в которых технологические параметры отклоняются от нормы, что указывает на возможное наличие дефекта в трубопроводе.

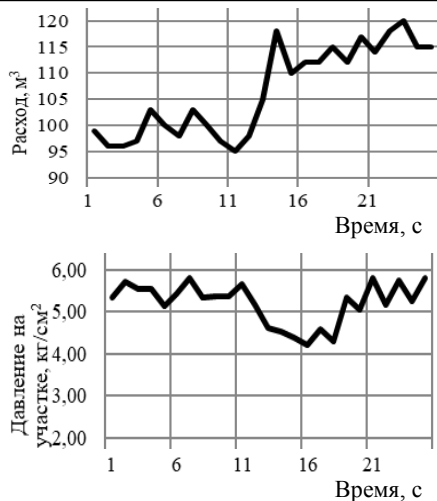


Рис. 1. Графики расхода воды и её давления на поврежденном участке трубы

Методы, основанные на контроле протекания переходных процессов в системе теплоснабжения

Методы, относящиеся ко второй группе, обеспечивают не только обнаружение, но и локализацию места утечки с достаточной точностью. Данные методы требуют дорогостоящего оборудования для получения необходимых данных, так как для реализации метода необходимо осуществить некоторые присущие конкретному методу манипуляции на наблюдаемом участке сети (например, направить сигнал в трубопровод или снять сигнал специальным устройством с участка трубопровода и произвести его обработку). К таким методам относится метод обнаружения и локализации утечки, основанный на разности стоячих волн, а также корреляционный метод.

Метод обнаружения и локализации утечки, основанный на разности стоячих волн, основан на принципах, используемых в электротехнике и технике связи для определения места разрыва кабельной линии. Используется синусоидальное возбуждение кабеля генератором на одном конце и одновременное измерение напряжения и тока. При разрыве кабеля изменяется его сопротивление, т.е. изменяется отношение между напряжением и током, отражаются поступающие волны и создаются остаточные стоячие волны. Расстояние от места генерирования сигнала до разрыва кабеля определяется из анализа соответствующих резонансных частот.

Для реализации метода разности стоячих волн в системе трубопроводов индуцируется установившийся колебательный поток с помощью движения задвижки с малой амплитудой и анализируется частотная характеристика максимального изменения давления на участке возмущения для определенного диапазона частот.

Каждая особенность системы теплоснабжения порождает вторичные волны, которые вносят изменения в амплитуду давления на участке возмущения [6]. Исследуя данные изменения и определив частоту резонансных колебаний, можно получить рассто-

яние от генератора сигнала до места порыва трубопровода. Данный метод применим для поиска дефекта трубопровода, однако у него есть существенный недостаток – необходимость в источнике сигнала. Для осуществления локализации утечки методом разности стоячих волн в трубопроводе необходим достаточно мощный сигнал, который может быть сгенерирован микродвижением запорной арматуры сети. Однако в системе трубопроводов имеются протяженные участки сети, на которых отсутствует запорная арматура. Кроме отмеченного недостатка, возникают трудности автоматизации этого метода, которые обусловлены необходимостью получения специальных разрешений от государственных структур на удаленное управление технологическими объектами критической инфраструктуры [7, 8].

Корреляционный метод обнаружения утечки теплоносителя является к настоящему времени достаточно распространенным методом. Корреляционный метод применяется для нахождения дефектов участка трубопровода с применением промышленных корреляционных течеискателей [9–11]. Данные приборы являются надежным средством поиска утечки на участке сети с погрешностью до 5 м. Однако применение этих приборов в автоматизированной системе обнаружения утечки теплоносителя не представляется возможным ввиду отсутствия режима их автономной работы (приборы требуют присутствия оператора), а также их дороговизны. Еще одним узким местом данного метода являются внешние помехи, так как в качестве снимаемого сигнала применяется звуковой сигнал с частотой до 2000 Гц. Близкорасположенные объекты инфраструктуры города (автомобильные дороги с интенсивным движением, промышленная зона с шумным производством, строительные работы) могут вносить помехи в снимаемый сигнал, так как все они производят шум в используемом частотном диапазоне.

Корреляционный метод основан на перекрестном корреляционном анализе двух сигналов, снятых с источника одновременно на известном расстоянии друг от друга. Применение алгоритма перекрестной корреляции к полученным данным позволяет получить кривую корреляции. Анализируя кривую, можно понять, существует ли статистически значимая зависимость между сигналами (в таком случае на кривой будут присутствовать пики, соответствующие отсчетам времени, в которые сигналы имеют зависимость друг от друга) или же такая зависимость отсутствует.

Применение корреляционного метода в качестве метода обнаружения и локализации места утечки теплоносителя путем нахождения зависимости между снятыми сигналами (пикового значения на кривой корреляции) означает, что на участке трубы между датчиками, с которых снимается сигнал, присутствует дефект, порождающий искажение или генерирующий собственный сигнал (такой, как вытекающая из места повреждения вода под давлением).

Кривая корреляции при перекрестной корреляции двух сигналов есть зависимость коэффициента

корреляции от времени смещения одного сигнала относительно другого [12]. Зная расстояние между датчиками, с которых был снят сигнал, а также технологические параметры теплоносителя, влияющие на скорость распространения звука в жидкой среде (такие, как давление и температура), можно вычислить расстояние от датчиков, на котором был обнаружен дефект. На рис. 2 представлен результат перекрестной корреляции двух сигналов.

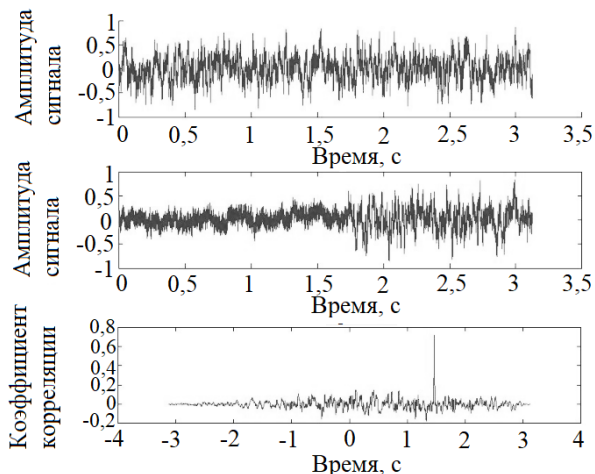


Рис. 2. Результат применения алгоритма перекрестной корреляции к двум сгенерированным сигналам

Уравнение для скорости распространения звука в жидкой среде известно:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{\chi\rho}}, \quad (1)$$

где c – скорость звука в жидкости (м/с), $K=1/\chi$ – модуль всестороннего сжатия (Н/м^2), χ – коэффициент сжимаемости жидкости ($\text{м}^2/\text{Н}$), ρ – плотность жидкости (кг/м^3) [13].

На основе известных уравнений и алгоритмов перекрестной корреляции возможно создание автоматизированной системы обнаружения утечки теплоносителя.

Разработка автоматизированной системы обнаружения утечки теплоносителя (АСОУТ)

В качестве устройства для снятия сигналов с участка трубопровода в АСОУТ предлагается использовать прототипы устройств, выполненных на базе микроконтроллера ATMEL ATMEGA328P с пьезоэлементом в качестве датчика для непосредственного снятия сигнала с трубопровода. Конфигурация участка теплосети, на которой был поставлен пробный эксперимент в АСОУТ, представлена на рис. 3. Данная конфигурация представляет собой участок трубопровода длиной 200 м, на концах которой установлены датчики, а в центральной части установлен ручной клапан сброса теплоносителя, используемый в эксперименте в качестве искусственного места утечки (для имитации утечки теплоносителя).

На рис. 4 представлены результаты эксперимента. Диаграмма на рис. 4, *а* представляет результат применения корреляции к двум сигналам, снятым с участка трубопровода без имитации утечки; диаграмма на рис. 4, *б* – с имитацией утечки в точке $M=100$ м.

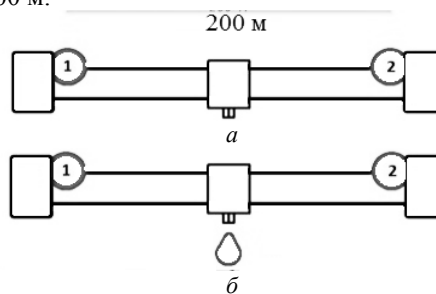


Рис. 3. Конфигурация участка системы теплоснабжения. Цифрами 1 и 2 обозначены датчики: *а* – конфигурация системы для эксперимента без имитации утечки; *б* – конфигурация системы для эксперимента с имитацией утечки в средней точке $M=100$ м

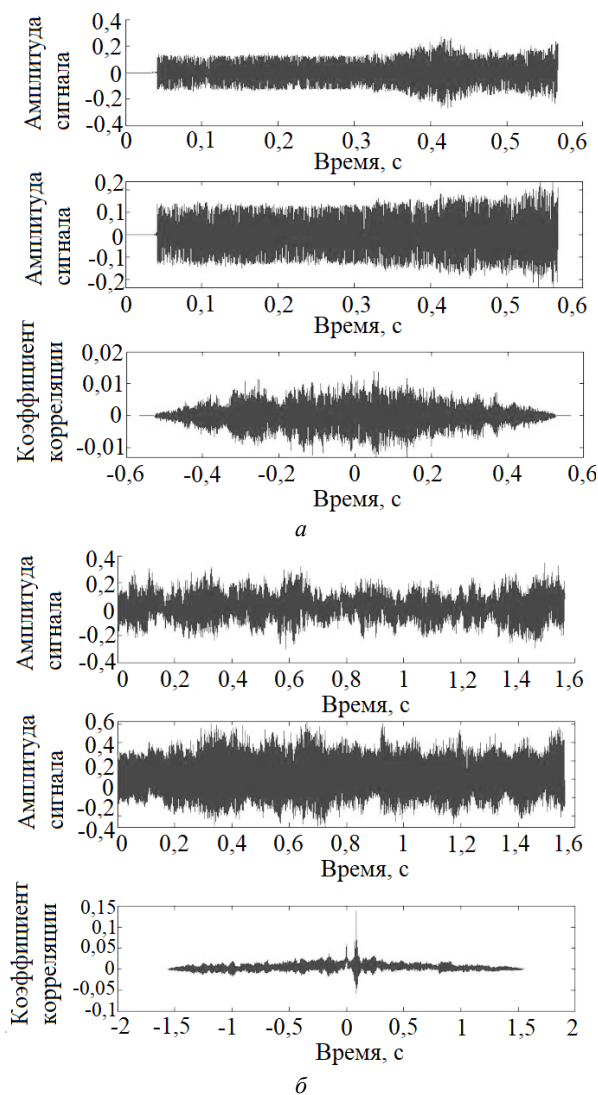


Рис. 4. Результаты применения алгоритма перекрестной корреляции к двум снятым с датчиков аудиосигналам без имитацией утечки (*а*) и с имитацией утечки в точке $M=100$ м (*б*)

Из результатов эксперимента следует, что при наличии утечки теплоносителя кривая корреляции имеет пик в момент времени 0,078 с. Для температуры воды $t = 86$ °С и давления в системе $P = 5,2$ бар скорость звука в системе по формуле (1) равна 1483 м/с (модуль всестороннего сжатия воды $K = 2,12766 \times 10^9$ Н/м², плотность воды при $t = 86$ °С равна 967,8 кг/м³). Исходя из полученных данных, местоположению утечки соответствует точка с координатой 115,7 м. Погрешность определения местоположения утечки обусловлена использованием при расчете параметров дистиллированной воды, а также ошибками измерения датчиков.

Для обнаружения утечки на участке системы теплоснабжения необходимо применить корреляционный метод к двум сигналам, снятым с приборов, установленных на двух разных концах участка, на котором предположительно имеется дефект. Датчики не имеют возможности анализировать состояние участка теплоснабжения, они лишь посылают сигнал на удаленную систему по запросу [14], которая в свою очередь производит обработку и анализ полученных данных.

Технологическая система обработки и последующего вывода результатов (АСОУТ) в понятной для человека форме представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из нескольких крупных модулей:

- 1) первичного мониторинга параметров сети;
- 2) связи с датчиками;
- 3) обработки и анализа данных;
- 4) отображения состояния сети.

Модуль первичного мониторинга параметров сети основан на уже существующей SCADA-системе [15], которая непрерывно отслеживает необходимые технологические параметры системы теплоснабжения. При отклонении их от нормы модуль отправляет запрос на получение данных с потенциально дефектного участка теплоснабжения, используя модуль связи с датчиками.

Модуль связи с датчиками включает в себя оборудование связи, посредством которого технологическая система в необходимый момент времени посылает запрос на получение данных с датчика и получает данные, и программную составляющую, выполняющую первичную обработку полученного сигнала (преобразование в необходимый формат данных для последующей обработки).

Модуль обработки и анализа данных использует полученные данные для определения наличия повреждения в участке, с которого были сняты сигналы, корреляционным методом, анализирует полученные результаты и на основе анализа выводит необходимое сообщение диспетчеру (присутствует дефект на участке системы или нет).

Модуль отображения состояния сети показывает диспетчеру состояние системы теплоснабжения в режиме реального времени (отображение текущих технологических параметров системы), а также последние результаты применения второй ступени мониторинга (дефектные участки сети). В качестве

данного модуля возможно использование уже существующей SCADA-системы.

Совокупность сети датчиков, установленных на участках системы теплоснабжения, и технологической системы, способной получать данные и обрабатывать их по необходимости, образует программно-аппаратный комплекс, который реализует автоматизированную систему обнаружения и локализации утечек в системе теплоснабжения.

Заключение

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что корреляционный метод обеспечивает достаточную точность локализации дефектов в трубопроводных сетях и, в частности, места утечки в системах теплоснабжения, поэтому может быть применен на практике в качестве метода локализации места утечки. Для автоматизации локализации места утечки отмеченные выше методы первой и второй группы должны применяться в совокупности друг с другом, а также с технологическими системами, уже существующими на предприятии. Непрерывный мониторинг параметров теплоносителя применяется в качестве метода обнаружения дефекта в теплосети, а корреляционный метод после обнаружения дефектного участка применяется в качестве метода локализации конкретного места утечки. Автоматизированная система, базирующаяся на этих методах, способна осуществлять текущий мониторинг дефектов теплосети и уведомлять диспетчера о возникновении каких-либо нестандартных ситуаций для принятия решения о дальнейших действиях персонала.

Литература

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.e-reading.club/bookreader.php/129367/Pravila_tehnicheskoi_ekspluatacii_teplovyh_energoustanovok.html, свободный (дата обращения: 23.06.2019).
2. Своды правил по проектированию и строительству: СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов: нормативно-технический материал. – М., 1997. – 100 с.
3. РД 153-34.0-11.339-97. Методика выполнения измерений расхода воды в трубопроводах больших диаметров. Введ. 1999-02-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 35 с.
4. Истечение жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://firing-hydra.ru/index.php?request=full&id=356>, свободный (дата обращения: 28.06.2019).
5. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. – Т. 1: Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1985. – 606 с.
6. Didia Covas, Helena Ramos. Standing wave difference method for leak detection in pipeline systems // Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.civil.ist.utl.pt/~didia/Publications/RI_05%20\(2005\)%20Covas%20et%20al.%20\(JHE_ASCE\).pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~didia/Publications/RI_05%20(2005)%20Covas%20et%20al.%20(JHE_ASCE).pdf), свободный (дата обращения: 03.07.2019).
7. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/obespechenie-bezopasnosti-kriticheskoy>

informatsonnoj-infrastruktury/285-zakony/1610-federalnyj-zakon-ot-26-iyulya-2017-g-n-187-fz, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

8. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О безопасности критической инфраструктуры Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2088>, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

9. Корреляционные течеискатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.z-tec.ru/product-category/categories/teleinspektsiya-techeiskateli-trassoiskateli/techeiskateli/korrelyatsionnye/>, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

10. Поиск утечек в СПб. Корреляционный течеискатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.leakfinder.ru/oborudovanie/correlator/>, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

11. Методы обнаружения протечек в трубопроводах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.centert.ru/projects/acoustic/>, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

12. Корреляция сигналов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bourabai.ru/signals/ts08.htm>, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

13. Скорость звука в жидкостях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fxuz.ru/формулы_по_физике/акустика/распространение_звука/скорость_звука/скорость_звука_в_жидкостях/, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

14. NB-IoT: как он работает? – Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ru-mts/blog/430496/>, свободный (дата обращения: 23.07.2019).

15. Системы автоматизированного контроля и сбора информации (SCADA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bourabai.ru/dbt/scada.htm>, свободный (дата обращения: 24.07.2019).

Фролов Сергей Геннадьевич

Аспирант каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-408-83-52
Эл. почта: sgf2@tpu.ru

Кориков Анатолий Михайлович

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. АСУ ТУСУРА
вед. науч. сотр. Томского ф-ла
Института вычислительных технологий СО РАН
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-42-79
Эл. почта: korikov@asu.tusur.ru

Frolov S.G., Korikov A.M.

Discovery and localization of defects in pipeline networks

Detection of defects in the pipeline networks of heat supply is an urgent scientific and practical task, since the quality of the service provided to the consumer depends on the timely and accurate detection of the place of the pipeline burst and the

prompt elimination of this defect. The article discusses some methods of detection and localization of leakage in the system of pipelines of the heating system and the possibility of their practical application. Preference is given to the correlation method of detection of coolant leakage. The analysis of the correlation method of leak detection and developed recommendations for use.

Keywords: pipeline network, heat, localization of leaks, methods of locating leaks, correlation method.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-3-23-28

References

1. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii teplovykh energoustanovok* [Technical operation rules of thermal power plants]. Available at: https://www.e-reading.club/bookreader.php/129367/Pravila_tekhnicheskoi_ekspluatatsii_teplovykh_energoustanovok.html (Accessed: June 23, 2019) (in Russ.).

2. *Svody pravil po proektirovaniyu i stroitelstvu: SP 41-101-95. Proektirovanie teplovykh punktov.* [The rules of design and construction: SP 41-101-95. Design of heat points]. M., 1997. 100 p. (in Russ.).

3. *RD 153-34.0-11.339-97. Metodika vypolneniya izmereniy raskhoda vody v tryboprovodakh bolshikh diametrov* [RD 153-34.0-11.339-97 Methods of measurement of water flow in large diameter pipelines]. M.: Standarts Publishing, 1999. 35 p. (in Russ.).

4. *Istechenie zhidkosti cherez maloe otverstie v tonkoy stenke pri postoyannom napore* [Fluid flow through a small hole in a thin wall with constant pressure]. Available at: <https://firing-hydra.ru/index.php?request=full&id=356> (Accessed: June 23, 2019) (in Russ.).

5. Landsberg, G.S. *Elementarnyy uchebnik fiziki. T.1. Mekhanika. Teplota. Molekulyarnaya fizika.* [Elementary physics. Vol. 1. Mechanics. Heat. Molecular physics.]. M., 1985. 606 p. (in Russ.).

6. Didia Covas, Helena Ramos. Standing wave difference method for leak detection in pipeline systems. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 2005.* Available at: [http://www.civil.ist.utl.pt/~didia/Publications/RI_05%20\(2005\)%20Covas%20et%20al.%20\(JHE_ASCE\).pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~didia/Publications/RI_05%20(2005)%20Covas%20et%20al.%20(JHE_ASCE).pdf) (Accessed: June 03, 2019).

7. *O bezopasnosti kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury Rossiyskoy Federatsii. Feder. zakon ot 26.07.2017 № 187-FZ* [On security of the critical information infrastructure of the Russian Federation. Feder. Law of 26.07.2017 No. 187-FZ] Available at: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/obespechenie-bezopasnosti-kriticheskoy-informatsionnoj-infrastruktury/285-zakony/1610-federalnyj-zakon-ot-26-iyulya-2017-g-n-187-fz>. (Accessed: July 15, 2019) (in Russ.).

8. *O vnesenii izmeneniy v ot-del'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii v svyazi s prinyatiem Federal'nogo zakona «O bezopasnosti kriticheskoy infrastruktury Rossiyskoy Federatsii».* Feder. zakon ot 26.07.2017 № 193-FZ [On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in connection with the adoption of the Federal Law «On the Safety of Critical Infrastructure of the Russian Federation». Feder. Law of 07.07.2017. No. 193-FZ]. Available at: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2088> (Accessed: July 15, 2019). (in Russ.).

9. *Korrelyatsionnye techeiskateli* [Correlation leak detectors]. Available at: <https://www.z-tec.ru/product-category/categories/teleinspektsiya-techeiskateli-trassoiskateli/techeiskateli/korrelyatsionnye/> (Accessed: July 15, 2019). (in Russ.).

10. *Poisk utechek v SPb. Korrelyatsionnyy techeiskatel'* [Search for leaks in St. Petersburg. Correlation Leak Detec-

tor]. Available at: <https://www.leakfinder.ru/oborudovanie/correlator/> (Accessed: July 15, 2019) (in Russ.).

11. *Metody obnaruzheniya protechek v truboprovodakh* [Methods for detecting leaks in pipelines]. Available at: <http://www.centert.ru/projects/acoustic/> (Accessed: July 15, 2019) (in Russ.).

12. *Korrelyatsiya signalov* [Correlation of signals]. Available at: <http://bourabai.ru/signals/ts08.htm> (Accessed: July 15, 2019) (in Russ.).

13. *Skorost' zvuka v zhidkostyakh* [The speed of sound in liquids]. Available at: https://www.fxyz.ru/формулы_по_физике/акустика/распространение_звука/скорость_звука/скорость_звука_в_жидкостях/ (Accessed: July 15, 2019) (in Russ.).

14. *NB-IoT: kak on rabotaet? Chast' 1* [NB-IoT: how does it work? Part 1]. Available at: https://habr.com/ru/company/ru_mts/blog/430496/ (Accessed: July 23, 2019) (in Russ.).

15. *Sistemy avtomatizirovannogo kontrolya i sbora informatsii* (SCADA) [Systems of automated control and information collection (SCADA)]. Available at: <http://bourabai.ru/dbt/scada.htm> (Accessed: July 24, 2019) (in Russ.).

Sergey G. Frolov

PhD student, Department of Automated Control Systems
Tomsk State University of Control Systems
and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-923-408-83-52
Email: sgf2@tpu.ru

Anatoly M. Korikov

Doctor of Engineering Science, Assistant Professor, Head
of the Department of Automated Control Systems, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Leading researcher at Tomsk Branch of the Institute
of Computing Technologies SB RAS
Phone: +7 (382-2) 41-42-79
Email: korikov@asu.tusur.ru