

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/27SAVN120.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Дудин Р.В., Дербичев В.С., Роман К.С., Липатова А.В., Гулая Ю.В., Шульгин В.Е. Последние достижения в области обнаружения утечек в газопроводах // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/27SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Dudin R.V., Derbichev V.S., Roman K.S., Lipatova A.V., Gulaya Ju.V., Shulgin V.E. (2020). Recent advances in gas leak detection. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/27SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.00

ГРНТИ 05.23.03

Дудин Роман Валерьевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: dudin.rv@students.dvfu.ru

Дербичев Вячеслав Сергеевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: slavka564@mail.ru

Роман Константин Сергеевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: kpocss_god@mail.ru

Липатова Анжела Владиславовна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: lipatova.av@students.dvfu.ru

Гулая Юлия Васильевна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: gulaya.yuv@students.dvfu.ru

Шульгин Владислав Евгеньевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: shulgin.ve@students.dvfu.ru

**Последние достижения
в области обнаружения утечек в газопроводах**

Аннотация. На сегодняшний день большая часть транспортировки природного газа во всем мире приходится на компримированный пригодный газ, который транспортируется по магистральным газопроводам. Важной задачей этого процесса является обеспечение безопасной работы газопровода на протяжении всего срока службы для предотвращения возникновения опасности жизни людей и угроз для экологии. Утечки газа из газопроводов являются одной из основных опасностей в работе газопроводов. Так как газ находится под большим давлением, то даже небольшое нарушение герметичности может привести к серьезному объему утечки газа. В случае с подземной прокладкой современных газопроводов это может привести к ухудшению качества почв и возникновения возгораний вблизи газопровода, что является чрезвычайно опасной ситуацией как для жизни и здоровья людей, так и для экологии. Во избежание подобных ситуаций и поддержания безопасности и надежности работы газопроводов, значительные усилия направляются на обнаружение и локализацию утечек в газопроводах с использованием различных подходов. В представленной работе рассматриваются перспективные технологии обнаружения утечек в газопроводах и проводится сравнительный анализ современных средств мониторинга работы газопроводов. Сравнительный анализ проводился на основе определения производительности средств контроля. Были даны рекомендации по выбору того или иного метода обнаружения нарушения герметичности газопроводов в зависимости от конкретных условий эксплуатации. Кроме того, в ходе проведенного исследования были предложены дальнейшие направления для разработки более надежных систем обнаружения утечек в газопроводах.

Вклад авторов.

Дудин Роман Валерьевич – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

Дербичев Вячеслав Сергеевич – автор производил поиск информации.

Роман Константин Сергеевич – автор оказывал участие в написании статьи. Производил создание графического материала. Одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Липатова Анжела Владиславовна – автор внес главный вклад в написание статьи. Ему принадлежит идея статьи. Принимал участие в написании статьи. Производил координацию работы научного коллектива.

Гулая Юлия Васильевна – автор оказывал координацию членов коллектива по поиску информации. Производил поиск информации по вопросу, поднятому в статье, в зарубежных источниках.

Шульгин Владислав Евгеньевич – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

Ключевые слова: утечка газа; обнаружение утечек; нарушение герметичности; локализация утечек; магистральные газопроводы; методы мониторинга; акустические методы; оптоволоконные датчики

Введение

На сегодняшний день природный газ показывает самые высокие темпы роста спроса среди экономик как развивающихся стран, так и стран с высоким уровнем развития. Все говорит о том, что вскоре рынок газа можно будет с уверенностью назвать мировым рынком

наряду с рынком нефти. Сегодня мы наблюдаем уверенные тренды развития как транспортной инфраструктуры, так и инфраструктуры для хранения и перевалки природного газа, а также так называемой спотовой торговли, то есть торговли, не подразумевающей подписания длительных соглашений. В связи с этим растет роль трубопроводного транспорта природного газа, как наиболее экономичного на сегодняшний день метода. Обратной стороной этой медали является то, что с ростом объемов транспортируемого по газопроводам природного газа растет и риск возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах этого комплекса. Природный газ является горючим веществом, которое при смешении с воздухом в определенных процентных соотношениях образует взрывоопасную смесь. Кроме того, природный газ, который примерно на 99 % состоит из метана (CH_4), является сильным парниковым газом [1]. По этой причине важнейшей задачей трубопроводного транспорта является обеспечение безопасности путем предотвращения утечек природного газа. Нарушение герметичности газопроводов происходит по различным причинам. На рисунке 1 показана диаграмма, иллюстрирующая статистику по основным причинам возникновения нештатных ситуаций в работе газопроводов за 10 последних лет.

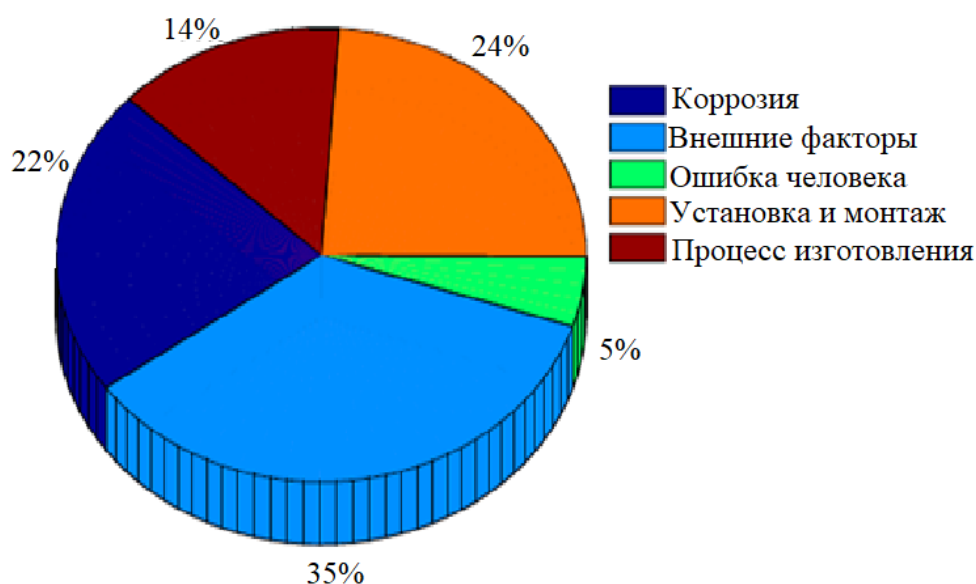


Рисунок 1. Круговая диаграмма статистики по источникам отказов газопроводов (составлено авторами)

Исходя из вышесказанного становится очевидно, что очень важным является обеспечение контроля состояния газопровода для своевременного обнаружения утечек, что позволит принять надлежащие меры с целью снижения последствий. За последние годы были предложены различные методы обнаружения утечек на газопроводах, такие как:

- Акустические методы.
- Оптоволоконные датчики.
- Радары подземного базирования.
- Волны отрицательного давления.
- Анализ давления в сечении.
- Динамическое моделирование.
- Инфракрасная термография.
- Баланс массы и объема.

Существуют различные классификации этих методов. Некоторые исследователи разделяют методы контроля на: аппаратные и программные методы [2].

В представленной работе методы контроля состояния трубопровода были разделены на: внешние, визуальные и внутренние или вычислительные методы. На рисунке 2 показана подробная классификация данных методов.

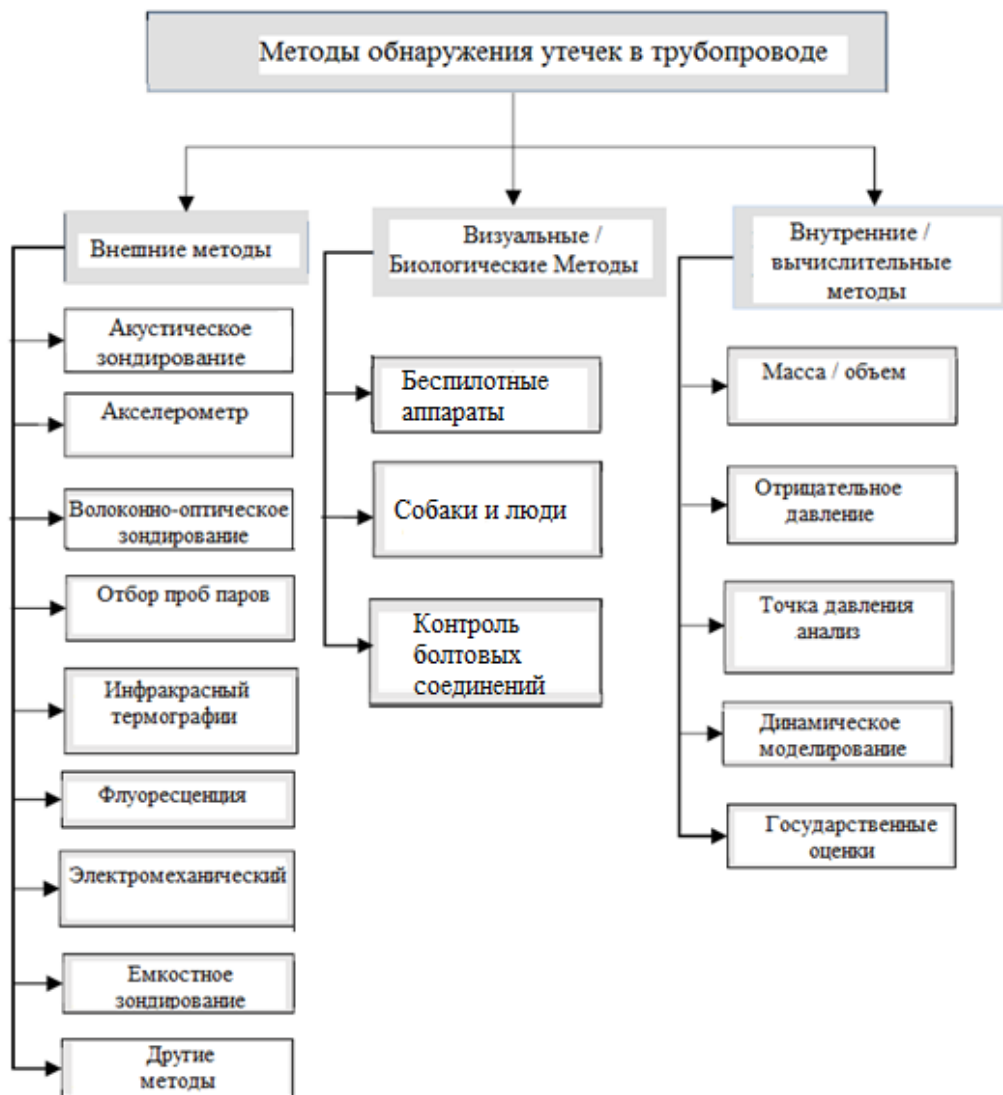


Рисунок 2. Блок-схема различных подходов обнаружения утечек в трубопроводе (составлено авторами)

Внешние методы используют различные системы обнаружения для обнаружения утечек. Кроме того, в эту категорию входят визуальный, слуховой и обонятельный контроль обученных собак или опытного персонала. В свою очередь внутренний контроль подразумевает использование стационарных датчиков с установленным программным обеспечением, использующим интеллектуальные вычислительные алгоритмы.

Цель данной работы – изучить современные достижения в области обнаружения утечек на трубопроводах, в том числе и транспортирующих нефть и жидкие продукты, и выработать концепцию мониторинга состояния современных газопроводов с устранением существующих проблем и использование практик других отраслей.

Акустические сенсоры

Акустические методы используют шум или вибрацию, возникающую в результате внезапного падения давления, чтобы обнаружить возможные утечки. Этот метод применим для газопроводов. В случае возникновения утечки в газопроводе, возникают упругие волны в диапазоне частот до 1 МГц из-за выхода газа под высоким давлением. Обнаружение таких волн может позволить зафиксировать возникновение утечки на участке. Разница во времени между фиксацией акустического сигнала двумя соседними на участке датчиками может позволить вычислить местонахождение источника сигнала, то есть утечки. Использование акустических методов мониторинга является основным направлением в области контроля за состоянием газопроводов ведущих компаний отрасли, так как этот метод не требует выведения системы из работы для установки и наладки датчиков. Существуют следующие основные виды акустических датчиков: аквафоны и геофоны. Аквафоны подразумевают непосредственный контакт со стенкой газопровода, таким образом они подходят для установки на участках наземной или подводной прокладки газопровода. Геофоны могут располагаться на поверхности земли, закрепленные непосредственно над газопроводом. Амплитуда сигналов давления измеряется как уровень звукового давления [3].

$$SPL = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

где P_0 – это эталонная амплитуда звукового давления, которая чаще всего принимается равно 20 Па [4].

В исследованиях посвященных акустическим методам контроля [5; 6], был установлен эталонный стандарт для настройки и оценки эффективности датчиков. Исследование показало, что доминирующая частота шума окружающей среды составляет менее 2 кГц, в то время как доминирующие частоты акустических сигналов, возникающих при возникновении утечек, сосредоточены в диапазоне от 0 до 10 кГц.

В представленной работе предлагается использовать полученный набор функций для обучения нейронной сети, задачей которой будет выявление среди всего набора данных тех сигналов, которые соответствуют выбранному диапазону, а также проводить проверку выбранных сигналов на соответствие ряду критериев. Точность работы такой системы в будущем может составить 99 %, что примерно на 10 % выше точности существующих промышленных программных комплексов по обработке акустических сигналов, не только на газопроводах, но и на других объектах. Кроме того, важной особенностью акустических методов контроля является то, что сигналы могут быть зафиксированы на большом расстоянии. Благодаря этой особенности, предлагается внести в алгоритм обнаружения данные, полученные также с датчиков, расположенных на соседних участках. На сегодняшний день это нецелесообразно, так как с увеличением расстояния увеличивается также и объем шумовых сигналов, препятствующих детектированию сигнала утечки. Однако с помощью обучения нейронной сети, возможно добиться детектирования таких сигналов датчиками соседних участков, что позволит еще больше улучшить точность обнаружения утечки, устранив дополнительные локальные факторы, препятствующие точному обнаружению утечки.

Одним из перспективных направлений работы в этой области является обнаружение низкочастотных сигналов. В работах [7; 8] было обнаружено, что акустические волны, возникающие в результате утечки, распространяются вдоль газопровода со скоростью транспортировки газа. Однако также было замечено, что высокочастотные компоненты акустического сигнала угасают значительно быстрее чем низкочастотные компоненты.

Исходя из этого предлагается производить дополнительную настройку датчиков для фиксирования низкочастотных сигналов высокой амплитуды, а также введение в программное обеспечение существующих комплексов новых алгоритмов для обработки таких сигналов. Благодаря этому станет возможным определение не только точного местонахождения утечки, но и также оценка геометрических размеров и формы отверстия в газопроводе, что может позволить сделать предположение о причине возникновения утечки, а также предусмотреть более эффективные методы срочного устранения этого происшествия.

Главной проблемой в этой области контроля на сегодняшний день остается влияние фонового шума, который может замаскировать сигнал утечки [9]. Чтобы преодолеть эту проблему предлагается использовать не только уже обозначенные самообучающиеся системы, но и комбинации различных методов фиксирования утечек, таких, как например магнитные методы. Это позволит решить проблему по фиксации множественных утечек, расположенных на одном участке. Существующие системы могут сталкиваться с тем, что наложение сигналов от нескольких утечек может приводить к неверному вычислению местонахождения и величины утечки. Для решения этой проблемы предлагается использование метода взаимной корреляции магнитных и акустических датчиков. Слабые сигналы могут быть выявлены с помощью нелинейной адаптивной фильтрации в соответствии с различными характеристиками сигнала утечки и шума.

Оптоволоконные сенсоры

Одним из наиболее перспективных методов, выбранных в представленной работе для рассмотрения, является метод использования оптоволоконных датчиков. Датчики устанавливаются вдоль внешней части трубопровода. Главным преимуществом таких систем является непрерывность контроля выбранного параметра или нескольких параметров на протяжении всего выбранного участка [10]. Большинство других систем предусматривает установку датчиков, которые фиксируют те или иные параметры в определенной точке, то есть локально, вследствие чего они неизбежно подвержены эффекту извинения сигнала от точки утечки до датчика. Оптоволокно может фиксировать температуру на протяжении всего участка трубопровода.

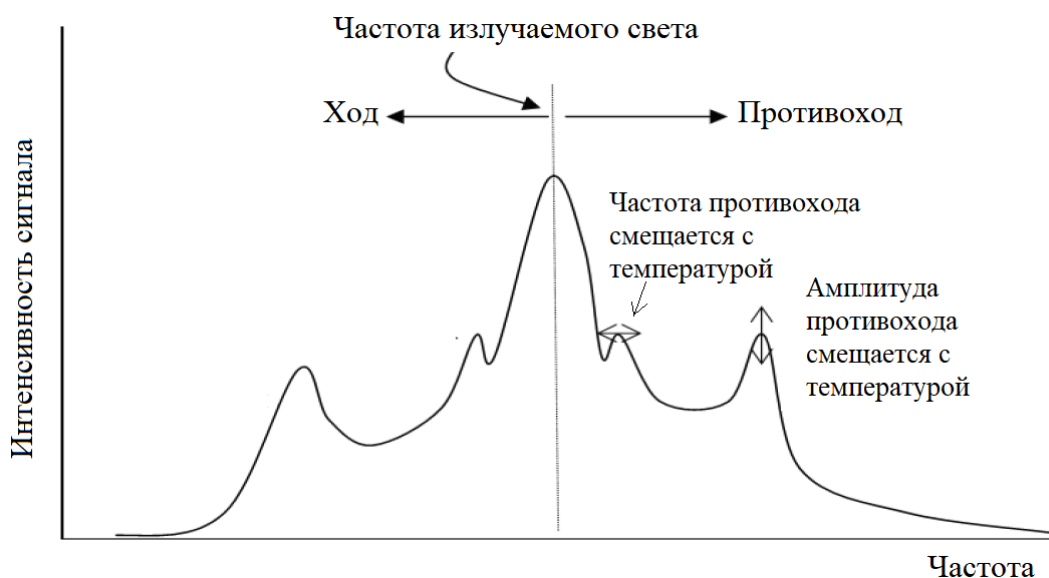


Рисунок 3. Изменение частоты и амплитуды оптического сигнала с изменением температуры (составлено авторами)

В случае возникновения утечки температура внутри потока газа изменится, а следовательно, изменится и температура оптоволоконного кабеля, так как газ, транспортируемый по газопроводу, имеет температуру, отличную от температуры окружающей среды. Таким образом любая температурная аномалия может быть зафиксирована на участке с высокой точностью. Измерения основываются на трех классах данных, разделенных по частоте оптического сигнала. На рисунке 3 показаны эти частоты относительно друг друга.

Комбинированное рассеивание чувствительно только к температуре, что позволяет достичь большей точности измерения температуры с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$.

В представленной работе предлагается применение оптоволоконных датчиков на участках, подверженных более высокому риску, таких как, например, подводные переходы через водные преграды. В таких условиях особенно важна точность определения местонахождения утечки для максимально эффективной локализации утечки, а также устранения последствий. Предлагается установка таких систем на подводных участках современных магистральных газопроводов, для которых наиболее важно обеспечение надежной и бесперебойной поставки.

Заключение

В заключении важно отметить, что формирование комплекса мер по контролю за состояние магистрального или другого газопровода не может быть полным без рассмотрения всего спектра доступных решений. По этой причине основными направлениями дальнейшей работы были выбраны экономическое обоснование предложенного решения, а также сравнение других конфигураций оборудования по мониторингу утечек на системах транспортировки природного газа. Важным акцентом в проводимой работе планируется сделать сотрудничество с ведущими компаниями российского рынка, работающими в области транспорта и хранения природного газа, с целью подтверждения работоспособности предлагаемых методик, а также сходимости данных, получаемых в ходе экспериментальных исследований с данными промышленной эксплуатации действующих систем и установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xiao, Q.; Li, J.; Sun, J.; Feng, H.; Jin, S. Natural-gas pipeline leak location using variational mode decomposition analysis and cross-time – frequency spectrum. *Measurement* 2018, 124, 163–172.
2. Варшицкий, В.М. Методология определения интервала повторных испытаний участка нефтепровода с трещиноподобными дефектами / В.М. Варшицкий, М.И. Валиев, О.А. Козырев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – №3(11). – С. 42–46.
3. Manekiya, M.H.; Arulmozhivarman, P. Leakage detection and estimation using IR thermography. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Melmaruvathur, India, 6–8 April 2016; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016; pp. 1516–1519.
4. Delgado, M.R.; Mendoza, O.B. A comparison between leak location methods based on the negative pressure wave. In *Proceedings of the 14th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, Mexico City, Mexico, 20–22 October 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; pp. 1–6.
5. Jia, Z.; Wang, Z.; Sun, W.; Li, Z. Pipeline leakage localization based on distributed FBG hoop strain measurements and support vector machine. *Optik* 2019, 176, 1–13.
6. Rehman, K.; Nawaz, F. Remote pipeline monitoring using Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE)*, Islamabad, Pakistan, 8–9 March 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017.
7. Коршунов С.А., Чионов А.М., Казак К.А., 2012. Метод расчета неустановившихся режимов транспортировки газа по ЛЧ МГ при возникновении утечки. М., Газовая промышленность, 44–47 с.
8. White, B.; Kreuz, T.; Simons, S. Midstream. In *Compression Machinery for Oil and Gas*; Klaus, B., Rainer, K., Eds.; Gulf Professional Publishing: Houston, TX, USA, 2019; pp. 387–400.
9. Mokhtab, S.; Poe, W.A.; Mak, J.Y. Raw Gas Transmission. In *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*, 2nd ed.; Gulf Professional Publishing: Waltham, MA, USA, 2012; pp. 103–176.
10. Чупин В.Р., Майзель Д.И. Обнаружение утечек газа из магистрального газопровода // Известия вузов: Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Изд-во ИрГТУ, 2011. №1 (1). С. 142–148.

Dudin Roman Valerievich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: dudin.rv@students.dvfu.ru

Derbichev Vyacheslav Sergeevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: slavka564@mail.ru

Roman Konstantin Sergeevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: kpocc_god@mail.ru

Lipatova Angela Vladivslavovna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: lipatova.av@students.dvfu.ru

Gulaya Julia Vasilievna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: gulaya.yuv@students.dvfu.ru

Shulgin Vladislav Evgenievich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: shulgin.ve@students.dvfu.ru

Recent advances in gas leak detection

Abstract. Today, most of the natural gas transportation in the world comes from compressed usable gas, which is transported through main gas pipelines. An important objective of this process is to ensure the safe operation of the gas pipeline throughout the entire service life to prevent the occurrence of danger to human life and environmental threats. Gas leaks from gas pipelines are one of the main dangers in the operation of gas pipelines. Since the gas is under high pressure, even a slight leakage can lead to a serious amount of gas leakage. In the case of the underground laying of modern gas pipelines, this can lead to deterioration of soil quality and the occurrence of fires near the gas pipeline, which is an extremely dangerous situation both for human life and health, and for the environment. In order to avoid such situations and maintain the safety and reliability of gas pipelines, considerable efforts are directed to the detection and localization of leaks in gas pipelines using various approaches. In this work, we consider promising technologies for detecting leaks in gas pipelines and conduct a comparative analysis of modern means of monitoring the operation of gas pipelines. A comparative analysis was carried out on the basis of determining the performance of controls. Recommendations were given on the choice of a particular method for detecting a leak in gas pipelines, depending on specific operating conditions. In addition, in the course of the study, further directions were proposed for the development of more reliable leak detection systems in gas pipelines.

Keywords: gas leak; leak detection; leakage; leak localization; gas pipelines; monitoring methods; acoustic methods; fiber optic sensors