



УДК 622.691.48
doi: 10.21685/2587-7704-2025-10-1-9



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Применение метода акустико-эмиссионного контроля для технической диагностики запорно-регулирующей арматуры магистральных газопроводов и газораспределительных станций

Дмитрий Сергеевич Бояркин

Научно-производственное предприятие «Рубин», Россия, г. Пенза
boyarkyndmytry@gmail.com

Александр Сергеевич Макаров

Научно-производственное предприятие «Рубин», Россия, г. Пенза
makarow.as@yandex.ru

Ильдар Ринатович Абузьяров

Научно-производственное предприятие «Рубин», Россия, г. Пенза
0400@npp-rubin.ru

Виктор Дмитриевич Ежижанский

Научно-производственное предприятие «Рубин», Россия, г. Пенза
vityastalkerxdxd@gmail.com

Алексей Владимирович Лысенко

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
lysenko_av@bk.ru

Аннотация. Поиск методов для выявления дефектов запорно-регулирующей арматуры обусловлен необходимостью обеспечения надежности и безопасности эксплуатации газотранспортных систем, где ее состояние играет ключевую роль в предотвращении аварийных ситуаций. Было рассмотрено применение акустико-эмиссионного метода для контроля состояния запорно-регулирующей арматуры линейных участков магистральных газопроводов, компрессорных и газораспределительных станций. Описан принцип работы акустико-эмиссионного метода, его преимущества по сравнению с традиционными методами диагностики в контексте применения для контроля герметичности запорно-регулирующей арматуры, приведена типовая структурная схема акустико-эмиссионной системы.

Ключевые слова: запорно-регулирующая арматура, переток, утечка газа, диагностика, акустико-эмиссионный контроль, акустическая эмиссия, неразрушающий контроль

Для цитирования: Бояркин Д. С., Макаров А. С., Абузьяров И. Р., Ежижанский В. Д., Лысенко А. В. Применение метода акустико-эмиссионного контроля для технической диагностики запорно-регулирующей арматуры магистральных газопроводов и газораспределительных станций // Инжиниринг и технологии. 2025. Т. 10 (1). С. 1–6. doi: 10.21685/2587-7704-2025-10-1-9

Application of the method of acoustic emission testing for technical diagnostics of shut-off and control valves of main gas pipelines and gas distribution stations

Dmitry S. Boyarkin

Research and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia
boyarkyndmytry@gmail.com

Alexander S. Makarov

Research and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia
makarow.as@yandex.ru



Ildar R. Abuzyarov

Research and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia
0400@npp-rubin.ru

Viktor D. Ezhizhansky

Research and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia
vityastalkerxdxd@gmail.com

Aleksey V. Lysenko

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
lysenko_av@bk.ru

Abstract. The search for methods for detecting defects in shut-off and control valves is due to the need to ensure the reliability and safety of operation of gas transmission systems, where its condition plays a key role in preventing emergency situations. The application of the acoustic emission method for monitoring the condition of shut-off and control valves of linear sections of main gas pipelines, compressor and gas distribution stations was considered. The operating principle of the acoustic emission method, its advantages over traditional diagnostic methods in the context of application for monitoring the tightness of shut-off and control valves are described, a typical structural diagram of the acoustic emission system is given.

Keywords: shut-off and control valves, overflow, gas leak, diagnostics, acoustic emission testing, acoustic emission, non-destructive testing

For citation: Boyarkin D.S., Makarov A.S., Abuzyarov I.R., Ezhizhansky V.D., Lysenko A.V. Application of the method of acoustic emission testing for technical diagnostics of shut-off and control valves of main gas pipelines and gas distribution stations = *Engineering and Technology*. 2025;10(1):1–6. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2025-10-1-9

Введение

Контроль технического состояния запорно-регулирующей арматуры (шаровых кранов, задвижек, вентилей и др.) является важной частью обеспечения надежной, безопасной и эффективной работы газопроводов [1]. Эксплуатация запорно-регулирующей арматуры (ЗРА) линейных частей магистральных газопроводов, компрессорных и газораспределительных станций приводит к постепенному износу уплотнительных элементов, эрозионному повреждению запорного органа, снижению работоспособности уплотнительных паст и смазок, изменению уплотнительных зазоров и возникновению дефектов в структуре материала под воздействием монтажных и эксплуатационных нагрузок [2–5]. Как следствие, это служит причинами нарушения герметичности ЗРА и возникновению утечек природного газа. В ходе эксплуатации подвижные элементы механизмов приводов шаровых кранов могут терять предусмотренную конструкцией плавность, амплитуду и траекторию перемещения, что при очередной перестановке затвора может вызвать механическое повреждение привода, «недозаккрытие» или «перезаккрытие» затвора и потерю герметичности ЗРА.

Своевременный контроль состояния и техническое обслуживание ЗРА позволяет на ранней стадии выявить дефекты, связанные с потерей герметичности запорного органа, сохранить оборудование в рабочем состоянии, продлить срок его службы, уменьшить расход дорогостоящей герметизирующей пасты и избежать незапланированных остановок работы газопровода и аварий, связанных с утечками природного газа. Поэтому периодическая техническая диагностика – важнейший процесс, который позволяет повысить эффективность работы оборудования, минимизировать риски финансовых потерь и экологического ущерба, вызванных авариями на объектах нефтегазовой промышленности, и сделать эксплуатацию запорно-регулирующей арматуры более предсказуемой и эффективной [6–8].

Основными методами неразрушающего контроля, которые применимы для оценки состояния запорно-регулирующей арматуры, являются следующие методы контроля:

- 1) органолептический;
- 2) ультразвуковая дефектоскопия;
- 3) вибрационный контроль;
- 4) акустико-эмиссионный контроль;
- 5) магнитопорошковый контроль;
- 6) тепловой контроль;
- 7) радиографические методы.



Визуальная диагностика является наиболее простым методом контроля и не требует привлечения высококвалифицированных специалистов [9, 10]. Визуально возможно обнаружить механические повреждения корпуса, трещины, пробои и т.п. Используя мыльный раствор или другую подходящую жидкость можно обнаружить нарушение герметичности корпуса ЗРА – так называемый капиллярный метод контроля.

Тем не менее органолептический контроль не обладает достаточной точностью и объективностью для поиска утечек газа и оценки степени герметичности ЗРА и не позволяет обнаруживать развивающиеся дефекты в структуре металла, поэтому для выполнения вышеобозначенных задач наиболее подходящим является метод акустико-эмиссионного контроля с применением специальных программно-аппаратных средств.

Акустико-эмиссионный контроль герметичности запорно-регулирующей арматуры

При нарушении герметичности запорного органа ЗРА транспортируемый газ продолжает перетекать из одной отсекаемой части газопровода в другую – данное явление обозначается термином «переток». Утечка газа также может происходить через уплотнения шпинделя привода управления затвором – в этом случае имеет место утечка газа в окружающую среду.

Переток газа через запорный орган или утечка газа в окружающую среду через корпус ЗРА вызывает акустическую эмиссию утечки (АЭУ). В соответствии с ГОСТ Р 55045-2012 акустическая эмиссия утечки – это акустическая эмиссия (АЭ), вызванная гидродинамическими или аэродинамическими явлениями при протекании жидкости или газа через сквозную несплошность объекта [11].

Акустические волны возникают по причине увеличения скорости истечения воздушного потока через щель утечки в запорном органе ЗРА. Из-за перепада давления между внутренней средой газопровода и его отсекаемой частью (либо окружающей средой) при движении газа по каналу утечки многократно увеличивается скорость потока, что в свою очередь вызывает изменение характера движения струи газа с ламинарного на турбулентный. Турбулентное движение газа сопровождается образованием вихрей и пульсаций потока, которые вызывают вибрацию (акустический сигнал) в широком частотном диапазоне (1–100 кГц), распространяющуюся по корпусу ЗРА и прилегающим к ней частям трубопровода [12].

Акустическая эмиссия (АЭ) как физическая величина может быть зарегистрирована и преобразована в электрический сигнал для дальнейшей обработки и получения информации об объеме утечки газа. Принцип реализации акустико-эмиссионного метода контроля герметичности ЗРА состоит в регистрации и анализе сигнала АЭУ, производимого потоком газа, истекающим через негерметичный запорный орган ЗРА.

Преобразование виброакустического сигнала (сигнала АЭУ) осуществляется специальными датчиками акустической эмиссии, которые обычно представляют собой пьезоэлектрический преобразователь. Внешний вид датчика акустической эмиссии представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид датчика акустической эмиссии

В типичной структурной схеме любой акустико-эмиссионной системы датчик АЭ через предварительный усилитель и полосовые фильтры подключается к аналогово-цифровому преобразователю (АЦП), который в свою очередь преобразовывает аналоговый сигнал АЭ в цифровую последовательность, которая далее обрабатывается микропроцессором. В результате цифровой обработки результаты анализа и параметры сигнала могут выводиться на дисплей прибора либо передаваться для



визуализации и дальнейшей обработки на ПЭВМ. Одна из вариаций структурной схемы акустико-эмиссионной системы представлена на рис. 2.

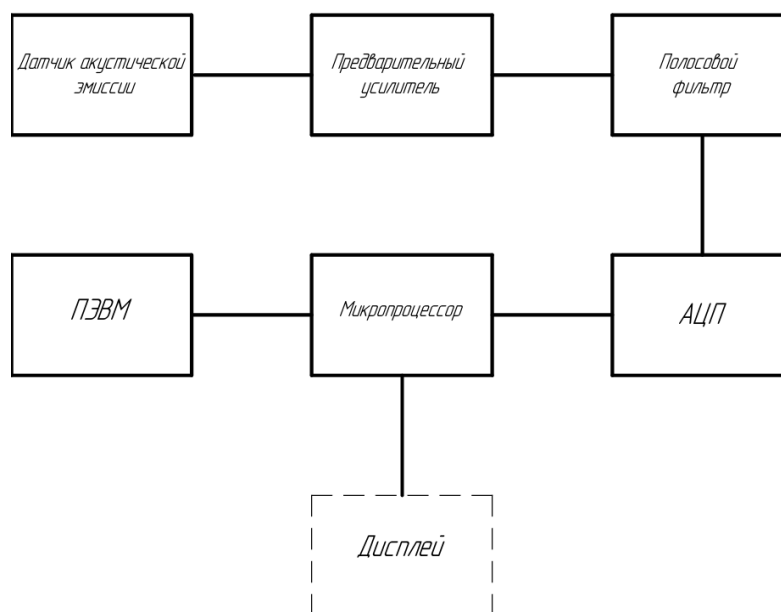


Рис. 2. Структурная схема акустико-эмиссионной системы

Таким образом, количественная оценка утечки газа через негерметичный запорный орган ЗРА может быть проведена путем измерения величины расхода газа с помощью метода акустико-эмиссионного контроля, реализация которого осуществляется с помощью диагностических акустико-эмиссионных систем и комплексов.

Оценивать объем утечки необходимо по той причине, что критерии оценки герметичности ЗРА регламентируются стандартом для трубопроводной арматуры ГОСТ 9544-2015 [2]. Если при диагностике ЗРА делается вывод о том, что для данного типа арматуры измеренный объем утечки не превышает установленный предел по герметичности, то меры по устранению течи принимать не требуется.

Заключение

Таким образом, акустико-эмиссионный контроль является наиболее точным и объективным методом для обнаружения нарушения герметичности запорного органа или корпуса ЗРА и оценки объема потерь газа в случае обнаружения утечки.

Главным требованием, предъявляемым к запорной арматуре, является обеспечение герметичности. Герметичность по отношению к внешней среде обеспечивает защиту от попадания природного газа в атмосферу. В то же время, внутренняя герметичность арматуры гарантирует точное соблюдение технологического процесса и позволяет избежать потерь при транспортировке газа потребителю. Поэтому проведение правильной диагностики, использование подходящих средств контроля технического состояния ЗРА и своевременное принятие мер по устранению дефектов способствует продлению сроков ее службы, делает ее эксплуатацию более предсказуемой и эффективной и способствует предупреждению аварий на газопроводах, компрессорных и газораспределительных станциях.

Список литературы

1. ГОСТ 5542-2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия: Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 октября 2014 г. № 1289-ст: дата введения 2015-01-07. М. : Стандартинформ, 2015. 10 с.
2. ГОСТ 9544-2015. Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов: Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2015 г. № 440-ст: дата введения 2016-01-04. М. : Стандартинформ, 2015. 54 с.



3. Надырбеков Г. Ж., Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Лысенко А. В., Стрельцов Н. А. Структурное описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2017. Т. 2. С. 11–13. EDN ZDGSFH
4. Затылкин А. В., Лысенко А. В., Таньков Г. В. Алгоритм и программа расчета статически неопределимых систем амортизации бортовых РЭС с кинематическим возбуждением // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2013. № 1. С. 223–225. EDN RBKJCZ
5. Yurkov N. K., Yurkov N. K., Trusov V. A., Lysenko A. V. Methods of Providing Reliability of Avionics and Aerospace Equipment at the Design Stage // 13th international scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE – 2016) : Proceedings: in 12 volumes. Novosibirsk, 03–06 октября 2016 года. Vol. 1, Part 2. Novosibirsk : Новосибирский государственный технический университет, 2016. P. 123–127. doi: 10.1109/APEIE.2016.7806427 EDN WZWMUD
6. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Полесский С. Н., Иванов И. А., Лысенко А. В. Методы повышения точности прогнозирования показателей надежности наукоемких сложных электронных систем // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 183–187. EDN SLSGFL
7. Белов А. Г., Баннов В. Я., Трусов В. А., Кочегаров И. И., Лысенко А. В., Юрков Н. К. Влагозащитное покрытие печатных узлов в датчике утечки воды // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 265–272. EDN SLSGMT.
8. Лысенко А. Методика моделирования влияния внешних механических воздействий на динамические параметры РЭА в среде MATHCAD // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 68–69. EDN SAJGBP.
9. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Lysenko A. V. [et al.] Determination of Electromagnetic Field Strength Taking into Account the Influence of Reflections // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 Proceedings, Moscow, 11–13 марта 2020 года. Moscow, 2020. P. 9067494. doi: 10.1109/MWENT47943.2020.9067494 EDN AYBROC
10. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Полесский С. Н., Иванов И. А., Лысенко А. В. Особенности разработки макромоделей надежности сложных электронных систем // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2014. Т. 1. С. 101–102. EDN SPDHZB.
11. ГОСТ Р 55045-2012. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. Национальный стандарт РФ: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2012 г. № 700-ст: дата введения 2014-01-01. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.
12. Короленок А. М., Тухбатуллин Ф. Г., Колотилов Ю. В. Обеспечение промышленной безопасности компрессорных станций путем диагностики негерметичности запорной арматуры // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 5. С. 68–71.

References

1. GOST 5542-2014. *Gazy gorjuchie prirodnye promyshlennogo i kommunalno-bytovogo naznachenija. Tehnicheskie uslovija: Mezghosudarstvennyj standart: izdanie ofitsialnoe: utverzhden i vveden v dejstvie Priказом Federalnogo agentstva po tehničeskому регулированию i metrologii ot 9 oktjabrja 2014 g. № 1289-st: data vvedenija 2015-01-07 = Natural combustible gases for industrial and municipal purposes. Technical conditions: Interstate Standard: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated October 9, 2014 No. 1289-st: date of introduction 2015-01-07.* Moscow: Standartinform, 2015:10. (In Russ.)
2. GOST 9544-2015. *Armatura truboprovodnaja. Normy germetichnosti zatvorov: Mezghosudarstvennyj standart: izdanie ofitsialnoe: utverzhden i vveden v dejstvie Priказом Federalnogo agentstva po tehničeskому регулированию i metrologii ot 26 maja 2015 g. № 440-st: data vvedenija 2016-01-04 = Pipeline fittings. Standards of tightness of closures: Interstate standard: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated May 26, 2015 No. 440-st: date of introduction 2016-01-04.* Moscow: Standartinform, 2015:54. (In Russ.)
3. Nadyrbekov G.Zh., Grigorev A.V., Kochegarov I.I., Lysenko A.V., Streltsov N.A. A structural description of the blurring of the image of a circular mark during the reciprocating vibrational movement of the material point under study. *Trudy Mezhduнародного simpoziuma «Nadezhnost i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2017;2:11–13. (In Russ.). EDN: ZDGSFH
4. Zatytkin A.V., Lysenko A.V., Tankov G.V. Algorithm and program for calculating statically indeterminate damping systems for onboard thermal power plants with kinetic excitation. *Innovatsii na osnove informatsionnyh i kommunikatsionnyh tehnologii = Innovations based on information and communication technologies*. 2013;(1):223–225. (In Russ.). EDN: RBKJCZ
5. Yurkov N.K., Trusov V.A., Lysenko A.V. Methods of Providing Reliability of Avionics and Aerospace Equipment at the Design Stage. *13th international scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument*



- engineering (APEIE – 2016): Proceedings: in 12 volumes. (Novosibirsk, 03–06 oktjabrja 2016 g.). Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2016;1(part 2):123–127. doi: 10.1109/APEIE.2016.7806427 EDN: WZWMUD
6. Yurkov N.K., Zatylnik A.V., Polesskij S.N., Ivanov I.A., Lysenko A.V. Methods for improving the accuracy of forecasting reliability indicators of high-tech complex electronic systems. *Sovremennye informacionnye tehnologii = Modern information technologies*. 2014;(19):183–187. (In Russ.). EDN: SLSGFL
 7. Belov A.G., Bannov V.Ja., Trusov V.A., Kochegarov I.I., Lysenko A.V., Yurkov N.K. Moisture-proof coating of the printed components in the water leak sensor. *Sovremennye informacionnye tehnologii = Modern information technologies*. 2014;(19):265–272. (In Russ.). EDN: SLSGMT
 8. Lysenko A. A technique for modeling the influence of external mechanical influences on the dynamic parameters of REA in the MATHCAD environment. *Sovremennye naukoemkie tehnologii = Modern high-tech technologies*. 2014;(5-1):68–69. (In Russ.). EDN: SAJGBP
 9. Grishko A.K., Kochegarov I.I., Lysenko A.V. et al. Determination of Electromagnetic Field Strength Taking into Account the Influence of Reflections. Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 Proceedings (Moscow, 11–13 marta 2020 g.) Moscow, 2020:9067494. doi: 10.1109/MWENT47943.2020.9067494 EDN: AYBROC
 10. Jurkov N.K., Zatylnik A.V., Polesskij S.N., Ivanov I.A., Lysenko A.V. Features of the development of macro models of reliability of complex electronic systems. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and the quality"*. 2014;1:101–102. (In Russ.). EDN: SPDHQB
 11. GOST R 55045-2012. *Akustiko-emissionnaja diagnostika. Terminy, opredelenija i oboznachenija. Natsionalnyj standart RF: izdanie ofitsialnoe: utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federalnogo agentstva po tehničeskemu regulirovaniju i metrologii ot 8 nojabrja 2012 g. № 700-st: data vvedenija 2014-01-01 = Acoustic emission diagnostics. Terms, definitions, and designations. The National Standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by Order No. 700-st of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 8, 2012: date of introduction 2014-01-01*. Moscow: Standartinform, 2019:16. (In Russ.)
 12. Korolenok A.M., Tuhbatullin F.G., Kolotilov Ju.V. Ensuring industrial safety of compressor stations by diagnosing leakage of shut-off valves. *Territorija «NEFTE-GAZ» = The territory of NEFTEGAZ*. 2015;(5):68–71. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 18.03.2025

Принята к публикации / Accepted 12.04.2025