

2. Skutina A.V., Terentev G.I. *Gosudarstvennyj pervichnyj étalon edinits massovoj (moliarnoj) doli i massovoj (moliarnoj) kontsentratsii komponenta v zhidkikh i tverdykh veshchestvakh i materialakh na osnove kulonometricheskogo titrovaniia* [The State Primary Standard of units of mass (molar) fraction and mass (molar) concentration of component in liquid and solid substances and materials based on coulometric titration]. *Izmeritelnaia tekhnika – Measurement Techniques*, 2011, No. 9, pp. 4–8. (In Russian).
3. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2010. *Rev. Mod. Phys.*, 2012, vol. 84, No. 4, pp. 1527–1605.
4. Mogilevskiy A.N., Gusev V.N., Fabelinskiy I.I., Zyskin V.M., Terentev G.I., *Kulonometricheskaja ustanovka s kontroliruемым potentsialom* [Coulometric installation with controlled potential]. Patent RF, No. 2545318, 2015. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/254/2545318.html>. (In Russian).
5. GOST R 54500.3–2011 Neopredelennost izmereniia. Chast 3. Rukovodstvo po vyrazheniiu neopredelennosti izmereniia [Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995))]. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 107 p. (In Russian).
6. GOST R 8.735.1–2014 Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenij. Gosudarstvennaia poverochnaia skhema dlia sredstv izmerenij sodержaniia komponentov v zhidkikh i tverdykh veshchestvakh i materialakh. Peredacha edinits ot gosudarstvennogo pervichnogo étalona na osnove kulonometrii [State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for instruments measuring the content of components in liquid and solid substances and materials. Transfer of the units from the State Primary Standard based on coulometry]. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 15 p. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 28.06.2016
Доработана 11.07.2016

DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-2-54-61
УДК 621.6, 624.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Сумкин П.С., Моисеев Ю.Н., Усачёв И.И., Арефьев А.Е.

В настоящей статье проводится анализ метрологического обеспечения технологий контроля герметичности с учетом правил безопасности на опасных производственных объектах. Рассматриваются научные и методические аспекты оценки пороговой чувствительности систем контроля герметичности с использованием контрольных течей, содержащих в своем составе стандартные образцы воспроизведения единиц объемного и массового расходов газа, что расширяет сферу их применимости.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, контроль герметичности, контрольные течи, пороговая чувствительность систем контроля, стандартные образцы воспроизведения единиц объемного и массового расходов газа, критическое микросопло.

- ✓ **Ссылка при цитировании:** Совершенствование научно-методических подходов в области метрологического обеспечения технологий контроля герметичности на опасных производственных объектах / П.С. Сумкин [и др.] // Стандартные образцы. 2016. № 2. С. 54–61. DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-2-54-61.

Авторы:**СУМКИН П.С.**

Главный инженер ООО «РЕСУРС И СЕРВИС»,
канд. техн. наук, докторант Московского
технологического университета
Российская Федерация, 125993,
Москва, ул. Паршина, д. 25-1-137
Тел.: 8 (917) 537-72-97
E-mail: pavelsumkin@rambler.ru

МОИСЕЕВ Ю.Н.

Начальник отдела по надзору за объектами
газораспределения и газопотребления
Центрального управления Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору, аспирант Московского

технологического университета
Российская Федерация, 125993,
Москва, Газетный пер., д. 3-5, стр. 1

УСАЧЁВ И.И.

Генеральный директор ООО «Мега-И»
Российская Федерация, 241519,
Брянская область, Брянский район, пос. Путевка,
ул. Центральная, д. 14, кв. 5

АРЕФЬЕВ А.Е.

Генеральный директор ООО «НОРЭКС»
Российская Федерация, 119034,
Москва, Зубовский бул., 29, помещ. IX

Используемые сокращения:

ОПО – опасные производственные объекты;
ОК – объект контроля;
НК – неразрушающий контроль;

НАГМ – неконтактный акустический газовый метод контроля герметичности;
СО – стандартные образцы.

Проведение контроля герметичности технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах (ОПО), является важным этапом при диагностировании целостности на всех стадиях жизненного цикла объектов контроля (ОК). В связи с этим нельзя переоценить значение метрологического обеспечения средств неразрушающего контроля, применяемых при проведении контроля герметичности ОПО, для дальнейшей безаварийной работы всех составляющих узлов и оборудования, работающего под избыточным давлением. Сложившаяся техника течеисследования включает в себя порядок подготовки к проведению контроля, порядок проведения контроля и систему калибровки средств контроля герметичности. Указанные операции неразрывно связаны с соблюдением правил безопасности при работе на ОПО. Необходимо отметить, что поверке (калибровке) подвергаются только контрольные течи – средства контроля, обеспечивающие определение нижнего порога чувствительности течеискательного оборудования и систем контроля герметичности, при этом сами течеискатели являются индикаторными устройствами.

Одними из наиболее распространенных методов (способов) проведения контроля герметичности являются пневмо- и гидроиспытания, которые зачастую совмещаются с прочностными испытаниями. Однако эти испытания не обеспечивают локализацию мест сквозных дефектов (что необходимо для дальнейшего ремонта), и по результатам их проведения можно судить лишь об общей негерметичности ОК. Сложности в локализации мест дефектов связаны с тем, что процедура локализации мест течей при проведении пневмоиспытаний связана с соблюдением правил безопасности при работе с оборудованием, находящимся под давлением, что зачастую делает невозможным нахождение специалистов неразрушающего контроля (НК) в непосредственной близости от ОК [1–3]. Таким образом, для надежной локализации (максимального уровня показателей эффективности поиска) мест сквозных дефектов, в технологии контроля требуется калибровка средств контроля (течеискателей) на удаленном безопасном расстоянии при соблюдении всех условий проведения контроля.

Руководствуясь нормативными документами, анализ которых был проведен в [1–2] и т.д., были определены

параметры контроля герметичности для указанных выше условий. При этом перспективным методом из ряда других, оценка которых была произведена в [2], был выбран неконтактный акустический газовый метод контроля герметичности (НАГМ), пробный газ – сжатый воздух. Суть НАГМ заключается в том, что локализация мест течей осуществляется с использованием высокочастотной направленной микрофонной системы (неконтактного преобразователя или их системы), которая фиксирует место сквозного дефекта по упругим колебаниям (акустическому полю), создаваемого струей пробного газа в объекте контроля избыточного давления. При этом учитывается [3], что турбулентная струя пробного газа формирует акустическое поле в ультразвуковом (неслышимом) частотном диапазоне 38–45 кГц. Выбор метода контроля герметичности и выбор схемы применения течеискательного оборудования для локализации мест течей на удаленном безопасном расстоянии определяет требования к конструкции контрольного образца, который может включать в свой состав стандартные образцы (СО) для воспроизведения единиц объемного и массового расходов газа, что расширяет сферу их применимости. Однако применение указанных СО в качестве контрольных течей напрямую невозможно. Это связано с тем, что характер формирования информационного сигнала течеискателя от струй пробного газа связан не только с параметрами сопел материала СО [4, 5], но в первую очередь с принципиальными основами метода контроля герметичности. Так, должно учитываться затухание ультразвукового информативного сигнала в зависимости от расстояния (безопасного) между специалистом и объектом контроля (обусловлено радиусом

разлета осколков в случае аварийной ситуации в процессе проведения пневмоиспытаний), которое в процессе набора давления в ОК может достигать 40 метров (для производственных зданий, величина давления в которых по требованиям производства – 1,2 МПа). Кроме того, конструкция контрольной течи должна обеспечивать возможность имитации отражения акустической волны от какой-либо преграды, то есть изменения пространственного направления струи пробного газа, тем самым исключая возможность ложной индикации в процессе проведения испытаний.

При разработке контрольного образца для НАГМ, опираясь на решение [6], в качестве средств проверки нижнего порога чувствительности систем контроля были выбраны комбинированные капиллярные течи, содержащие в своем составе поверяемые критические микросопла, входящие в состав первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа – установки «ЭУ-1» для воспроизведения единиц объемного и массового расходов газа в диапазоне $3 \cdot 10^{-3} \div 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($3,6 \cdot 10^{-3} \div 120 \text{ кг/ч}$) при абсолютном давлении рабочей среды от 96 до 104 кПа, обеспечивающие потоки пробного газа (воздуха, гелия и т.д.) в широком диапазоне расходов (рис. 1).

Применение данных микросопел не только расширило сферу их применимости, но и позволило (опираясь на современный мировой опыт) реализовать новый подход в метрологическом обеспечении контроля герметичности [3]. Так, для крупных течей мерой потока определена не только системная единица $\text{м}^3\text{Па/с}$, учитывающая давление по обе стороны объекта контроля, но также величина течи или суммарного натекания,

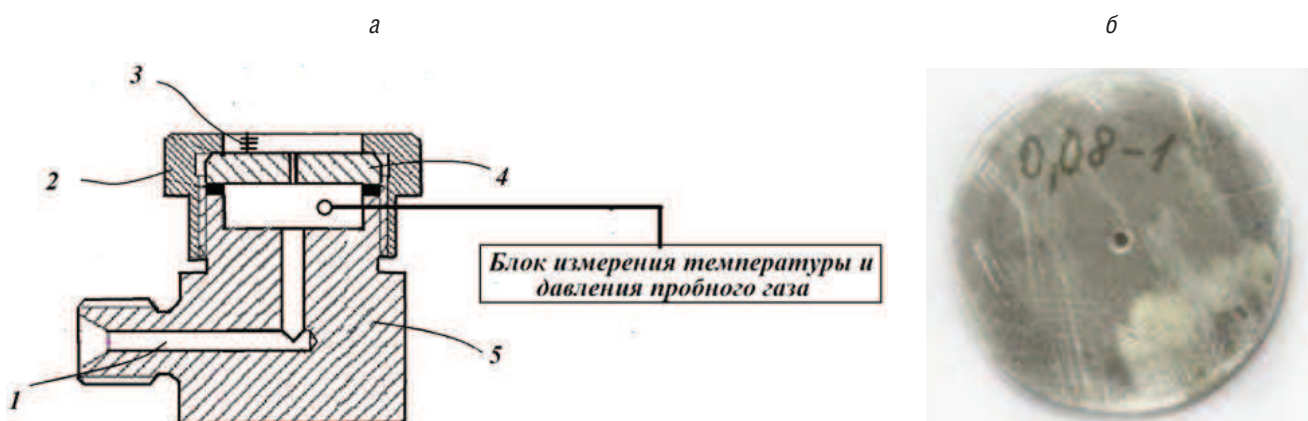


Рис. 1. Контрольная течь «КТ2-Акустика» в разрезе (а)

(1 – входной канал пробного газа; 2 – уплотнительная гайка, выполняющая функции измерительной емкости – 3;

4 – СО поверяемое критическое микросопло)

и поверяемое критическое микросопло, входящее в состав первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа – установки «ЭУ-1» для воспроизведения единиц объемного и массового расходов газа, как составная часть контрольной течи «КТ2-Акустика» (б)

оцениваемая массовым расходом воздуха (аттестованное значение CO – расходно-массовая характеристика, рассчитываемая по формуле 1) через течь или все течи, имеющиеся в ОК. При этом звуковое давление акустического поля, образованное струей пробного газа и сопоставленное с зависимостью, выраженной в единицах массового расхода пробного вещества, прошедшего через критическое микросопло контрольной течи в единицу времени относительно давления пробной среды в объекте контроля и условий пневмоиспытаний, является тарировочной характеристикой НАГМ контроля герметичности.

$$Q = K_1 \frac{P}{\sqrt{T}}, \quad (1)$$

$$P = \sqrt{T} \frac{Q}{K_1},$$

где Q_{min} – пороговая чувствительность течеискателя с учетом реальных условий контроля, кг/ч;

K_1 – коэффициент, определяемый и поверяемый для конкретного микросопла с внутренним диаметром D_u ;

P_{min} – пороговое значение давления в объекте контроля, кПа;

$T = 273,1 + t$ – абсолютная температура газа перед микросоплом, °К.

Исходя из оценки применимости НАГМ на удаленном безопасном расстоянии, была осуществлена разработка технических и методических документов, устанавливающих требования к изготовлению и определению метрологических характеристик контрольного образца, браковочным признаком которого являются параметры акустического поля дефекта (течи пробного газа воз-

духа) с частотным диапазоном 38–45 кГц. Поверяемые критические микросопла, входящие в состав первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118–2013, обеспечивают требуемое соответствие спектральной характеристики акустического поля со спектральной характеристикой акустического поля, создаваемого струей пробного газа реальных сквозных дефектов при условии проведения испытаний (рис. 2).

Оцениваемым критерием при контроле герметичности НАГМ был установлен [3] сопоставленный с расходно-массовой характеристикой критического поверяемого микросопла уровень звукового давления акустического поля дефекта L_p (дБ) (англ. dB SPL Sound Pressure Level – «уровень звукового давления») относительно опорного уровня звукового давления $pSPL = 20$ мкПа. При этом локализация места дефекта (норма герметичности которого устанавливает разработчик объекта контроля) осуществляется не только за счет регистрации ультразвука воздушного (интенсивности или акустического давления) как информационного параметра контроля неконтактными акустическими преобразователями, но также за счет использования дополнительных средств усиления акустического поля дефектов, входящих в систему контроля герметичности НАГМ [7]. Данное обстоятельство отражается в конструктивных особенностях контрольного образца с входящим в его состав CO . Следует отметить также, что проверка нижнего порога чувствительности с использованием контрольного образца «КТ2-Акустика», включающего CO (меру расхода) в качестве средства метрологического обеспечения измерений, представляет собой сложную научно-техническую проблему, решение которой связано с обработкой результатов

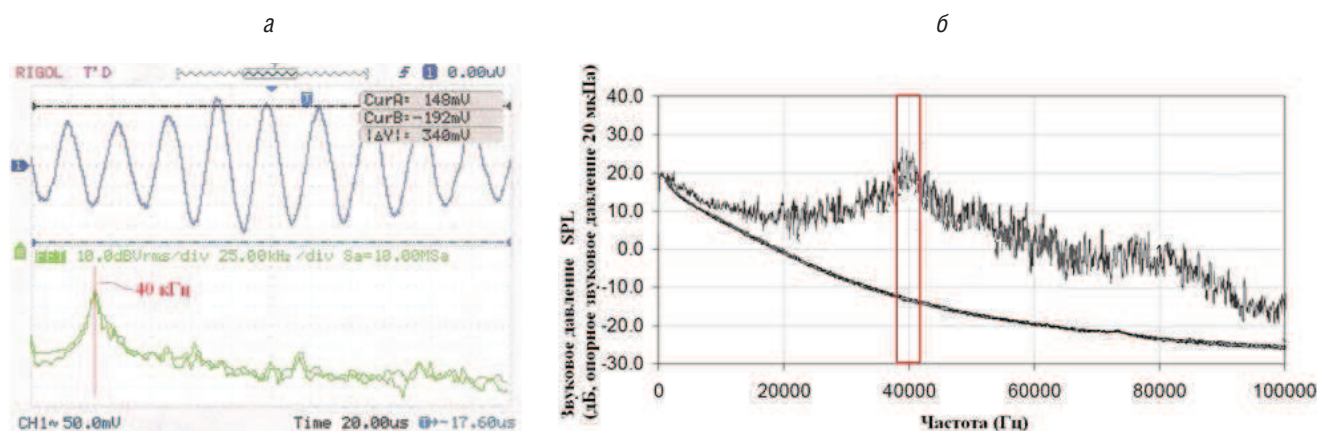


Рис. 2. Спектр звукового давления:

а) акустического поля дефекта (SPL, дБ относительно опорного 20 мкПа); контрольный образец «КТ2-Акустика», площадь микросопла – 0,2 мм²; б) реального акустического поля дефекта (толщина основного материала 5 мм, раскрытие дефекта 0,2 мм²)

измерений, так как акустическое поле дефекта имеет неравномерную форму (рис. 3).

Сопоставление с массово-расходной характеристикой СО уровня звукового давления акустического поля дефекта связано с разработкой и аттестацией новой методики измерений [3], обеспечивающей надежность проведения измерений при калибровке при сканировании щупом акустического течеискателя поверхности ОК в непосредственной близости от ОК (расстояние до ОК ≤ 5 мм) и на удаленном безопасном расстоянии (расстояние до ОК ≤ 40 м) при использовании контрольной течи «КТ2-Акустика». При этом обеспечивается точное натурное моделирование формы фронта акустического поля дефекта и пространственное расположение дефекта при применении поверхностно-активных веществ и других (контактных и неконтактных поверхности ОК) средств усиления акустического поля струи пробного газа [3, 7, 8]. Эти факторы позволяют расширить применимость неконтактного акустического газового метода и ввести метрологическую оценку, являющуюся результатом

обработки измерений параметров акустического поля дефекта при проверке пороговой чувствительности НАГМ контроля герметичности. В результате теоретического и экспериментального моделирования были выбраны методики измерений для оценивания пороговой чувствительности системы контроля герметичности НАГМ «методом чистого тона» и методика измерений для оценивания пороговой чувствительности методом «удвоения расстояния» [3], в процессе реализации которых проводилась оценка затухания информационного сигнала акустического поля, формируемого струей пробного газа контрольной течи в воздухе рабочей зоны. При применении методики для оценивания пороговой чувствительности «методом чистого тона» (по ГОСТ Р МЭК 61094–3–2001) выбирали значение коэффициента затухания звукового давления α_1 для условий проведения контроля герметичности НАГМ в дБ/м и устанавливали оценку акустического давления контрольной течи U_0 для среднего значения \bar{U}_1 сигнала течеискателя на измерительной поверхности $I_1 = 1$ по формулам (2) и (3).

$$U_0 = \bar{U}_1 \cdot \sqrt[20]{10^{\alpha_1 \cdot I_1}} = \bar{U}_1 10^{(0,05 \cdot \alpha_1 \cdot I_1)}. \quad (2)$$

После этого производили оценивание снижения уровня звукового давления δL_1 (дБ) вследствие звукопоглощения атмосферой «методом чистого тона» для минимального рабочего расстояния I_1 (в зависимости от испытательного давления $P_{исп}$ в объекте контроля), вычисленного для значения U_0 выходной шкалы течеискателя от контрольной течи:

$$\delta L_1(f = 40 \text{ кГц}) = \alpha_1 \cdot I_1(P_{исп}), \quad (3)$$

$$U(I_1(P_{исп})) = \frac{U_0}{\sqrt[20]{10^{\delta L_1}}}.$$

Таким образом, может быть произведено сопоставление характеристики СО расхода газа воздуха и регистрируемого значения акустического поля дефекта в единицах выходной шкалы течеискателя на удаленном безопасном расстоянии. Это позволяет произвести сравнительную оценку максимально регистрируемого значения акустического поля дефекта и значения нормы герметичности (установленной разработчиком ОК) с учетом затухания акустического сигнала в воздухе рабочей зоны. Для надежного проведения контроля НАГМ регистрируемый уровень сигнала от контрольной течи $U(I_1(P_{исп}))$ на минимальном рабочем расстоянии $I_1(P_{исп})$ должен обеспечивать превышение уровня нижнего порога чувствительности (установленного разработчиком ОК) и измеренного акустического

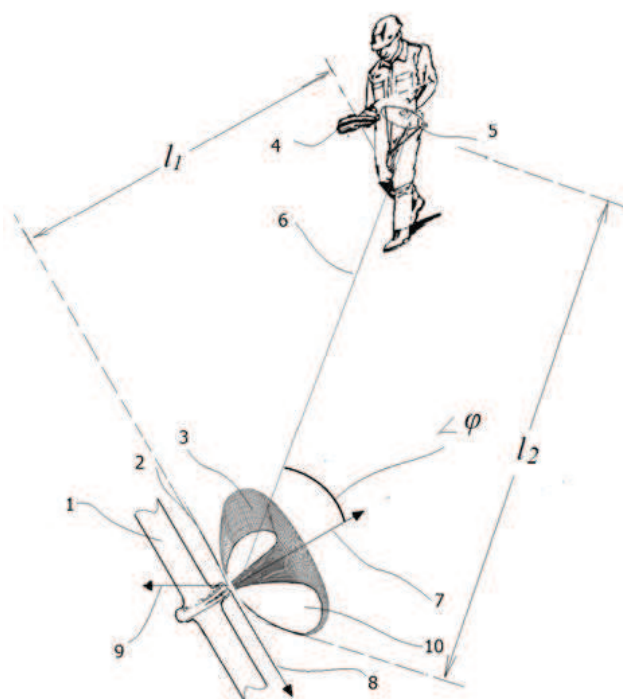


Рис. 3. Технологическая схема проведения контроля герметичности НАГМ на минимальном рабочем расстоянии: 1 – объект контроля; 2 – течь пробного газа; 3 – акустическое поле дефекта; 4 – специалист с акустическим течеискателем; 5 – параболитический усилитель акустического поля дефектов; 6 – лазерный целеуказатель; 7 – направление потока пробного газа; 8, 9 – оси координат; 10 – неравномерная форма фронта акустической волны без применения акустических турбулизаторов (сетчатых конструкций); I_1 – минимальное рабочее расстояние НАГМ

шума в рабочей зоне ≥ 6 дБ. В случае если указанное условие не выполняется, производят операции по усилению уровня акустического поля калиброванного дефекта (с последующими аналогичными операциями на объекте контроля) с использованием контактных и неконтактных усилителей акустического поля. Значение пороговой чувствительности в единицах расхода пробного газа указывается в протоколе по результатам контроля герметичности НАГМ.

Выводы

Отсутствие до недавнего времени контрольных образцов для калибровки систем контроля герметичности НАГМ и течеискательной аппаратуры ставило под сомнение надежность и результативность этого метода контроля герметичности на ОПО [1, 2]. Разработка контрольной течи «КТ2-Акустика» с входящим в состав поверяемым критическим микросоплом (СО, входящий в состав первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа) и нормативных методических документов [3] не только обеспечивает повышение

показателей эффективности контроля герметичности НАГМ, но также обеспечивает расширение применимости критических микросопел. Применение указанных СО позволяет оценить влияние таких факторов, как форма фронта акустического поля дефекта (течи пробного газа воздуха) с частотным диапазоном 38–45 кГц, а также самых современных методов усиления информативного сигнала течи [7, 8] и т.д. Таким образом, обеспечивается надежность калибровки средств контроля НАГМ в составе систем контроля герметичности при диагностировании целостности на всех стадиях жизненного цикла объектов контроля для дальнейшей безаварийной работы.

Благодарность

Коллектив авторов выражает благодарность и глубокую признательность заслуженному деятелю науки РФ, д-ру техн. наук, проф. С.Г. Сажину за помощь в реализации данной работы. Выражаем глубокое соболезнование в связи с его уходом из жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сумкин П.С., Моисеев Ю.Н. Анализ способов контроля герметичности на объектах газораспределения и пути повышения их эффективности // Газовая промышленность. 2013. № 6. С. 68–71.
2. Совершенствование методики контроля герметичности на объектах газового надзора / Н.Н. Коновалов [и др.] // Газовая промышленность. 2015. Спецвыпуск 720. С. 99–103.
3. СДОС–09–2014 Методические рекомендации о порядке проведения контроля герметичности неконтактным акустическим газовым методом сосудов, аппаратов, котлов и трубопроводов [Электронный ресурс] // ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность» [сайт]. URL://www.oaontc.ru/SDOS (дата обращения: 22.06.2016).
4. Сумкин П.С., Моисеев Ю.Н. Контрольные образцы, применяемые в процессе течеискания на опасных производственных объектах и анализ их использования для калибровки акустического метода контроля герметичности // Стандартные образцы в измерениях и технологиях: Сб. трудов I Междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 10–14 сент. 2013 г.). Ч. 2. Екатеринбург, 2013. 254 с. С. 156–161.
5. Моисеев Ю.Н. Совершенствование метрологического обеспечения на объектах газового надзора // Стандартные образцы в измерениях и технологиях: Сб. трудов II Междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 14–18 сент. 2015 г.). Часть «Ru». Екатеринбург, 2015. 280 с. С. 83–87.
6. Повышение эффективности контроля герметичности на объектах газораспределения (газопотребления) / С.Г. Сажин [и др.] // XX Всерос. науч.-техн. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике (Москва, 3–6 марта 2014 г.). М., 2014. 512 с. С. 105–109.
7. Устройство для повышения уровня чувствительности при контроле герметичности неконтактным акустическим газовым методом и калибровки нижнего порога срабатывания течеискательной аппаратуры: пат. 159781 РФ; заявл. 22.09.2014; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.
8. Способ контроля герметичности и устройство для проверки нижнего порога чувствительности акустического газового метода: пат. 2014138151 РФ; заявл. 22.09.2014; опубл. 20.09.2015, Бюл. № 26.

THE IMPROVEMENT OF METHODOLOGICAL APPROACHES IN THE FIELD OF METROLOGICAL PROVISION OF TECHNOLOGY LEAKAGE CONTROL AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

P.S. Sumkin¹, U. N. Moiseev², I.I. Usachyov³, A.E. Aref'ev⁴

¹ООО «RESOURCE AND SERVICES»
е 25-1-137, ulitsa Parshina, Moscow,
107996, Russian Federation
E-mail: pavelsumkin@rambler.ru

³ООО «Mega-II» (Bryansk)
14 – 5, ul. Tsentralnaia, Brianskaia oblast,
poselok Putevka, 241519, Russian Federation

²Central Directorate of the Federal service for
ecological, technological and nuclear supervision
3-5/1, pereulok Gazetnyj, Moscow,
125993, Russian Federation

⁴ООО NORECS
29, pomeshchenie IX, Zubovskij bulvar, Moscow,
119034, Russian Federation

In this article the analysis of metrological assurance of control technologies integrity subject to the rules of safety at hazardous production facilities. Deals with the scientific and methodological aspects of the evaluation of threshold sensitivity of control systems integrity using controlled leaks, containing in its composition of standard samples for reproduction of units of volumetric and mass flow of gas, which expands the scope of their applicability.

Key words: nondestructive testing, leakage control, control leakage, and threshold sensitivity control, reference materials for reproduction of units of volumetric and mass flow of gas, the critical micro nozzle.

✓ **When quoting reference:** Sumkin P.S., Moiseev U. N., Usachyov I.I., Aref'ev A.E. Sovershenstvovanie nauchno-metodicheskikh podkhodov v oblasti metrologicheskogo obespecheniia tekhnologii kontrolya germetichnosti na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh [The improvement of methodological approaches in the field of metrological provision of technology leakage control at hazardous production facilities]. *Standartnye obrazcy – Reference materials*, 2016, No. 2, pp. 54–61. (In Russian). DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-2-54-61.

REFERENCE:

1. Sumkin P.S., Moiseev U. N. Analiz sposobov kontrolya germetichnosti na ob'ektakh gazoraspredeleniia i puti povysheniia ikh effektivnosti [Gas distribution line tightness control and improvement paths]. *Gazovaya promyshlennost' – Английское название ??*, 2013, No. 06, pp. 68–71. (In Russian).
2. Konovalov N.N., Sumkin P.S., Moiseyev Yu.N., Greben'kov P.M. Sovershenstvovanie metodiki kontrolya germetichnosti na ob'ektakh gazovogo nadzora [Gas tightness monitoring methodology improvements]. *Gazovaya promyshlennost' – Английское название ??*, 2015, No. 6, pp. 99–103. (In Russian).
3. SDOS–09–2014 Metodicheskie rekomendatsii o poriadke provedeniia kontrolya germetichnosti nekontaktnym akusticheskim gazovym metodom sudosov, apparatov, kotlov i truboprovodov [Methodical recommendations for leak detection and tightness testing of

- noncontact acoustic method of gas vessels, apparatuses, boilers and pipelines]. «NTTs «Promyshlennaia bezopasnost». Available at: www.oaontc.ru/SDOS [accessed 20 June 2015]. (In Russian).
4. Sumkin P., Moiseev U. Kontrolnye obraztsy, primeniaemye v prozesse techeiskaniia na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh I analiz ikh ispolzovaniia dlia kalibrovki akusticheskogo metoda kontroliia germetichnosti [Control leaks applied in the process of leak detection on dangerous industrial objects and analysis of their use for the calibration of the ultrasound techniques for leak detection]. *Trudy Ith Mezhdunar. nauch. konf. "Standartnye obraztsy v izmereniiakh i tekhnologiiakh" – Proc. Ith International Scientific Conference "Reference Materials in Measurement and Technology"*. Ekaterinburg, 10–14 September 2013. FGUP «Ural Scientific Research Institute of Metrology», 2013, vol. 2, pp. 156–161. (In Russian).
 5. Moiseev U. Sovershenstvovanie metrologicheskogo obespecheniia na ob'ektakh gazovogo nadzora [Improvement of metrological on the objects of gas oversight]. *Trudy IIth Mezhdunar. nauch. konf. "Standartnye obraztsy v izmereniiakh i tekhnologiiakh" – Proc. IIth International Scientific Conference "Reference Materials in Measurement and Technology"*. Ekaterinburg, 14–18 September 2015. FGUP «Ural Scientific Research Institute of Metrology», 2015, Part En., pp. 83–87. (In Russian).
 6. Sazhin S.G., Sumkin P.S., Moiseyev Yu.N., Greben'kov P.M. Povyshenie éffektivnosti kontroliia germetichnosti na ob'ektakh gazoraspredeleniia (gazopotrebleniia) [Improving the efficiency of leak testing on the gas distribution facilities (gas consumption)]. *Doklady XX Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po nerazrushaiushchemu kontroliu i tekhnicheskoi diagnostike – Proc. 20th National Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics*. Moscow, 3–6 March, 2014, pp. 105–109. (In Russian).
 7. Sumkin P.S., Moiseev U.N., *Ustrojstvo dlia povysheniia urovnia chuvstvitel'nosti pri kontrole germetichnosti nekontaktnym akusticheskim gazovym metodom i kalibrovki nizhnego poroga sratyvaniia techeiskatel'noj apparatury* [Leak detection and tightness testing device for increasing the sensitivity level of of gas noncontact acoustic method and the calibration lower threshold technically equipment]. Patent RF, No. 159781, 2016. (In Russian).
 8. Sumkin P.S., Moiseev U.N., *Sposob kontroliia germetichnosti i ustrojstvo dlia proverki nizhnego poroga chuvstvitel'nosti akusticheskogo gazovogo metoda* [Method of leak detection and tightness testing and device for checking the lower threshold of sensitivity of the acoustic method gas]. Patent RF, No. 2014138151, 2014. (In Russian).