

**КРИТЕРИИ СРАВНЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПОСТОВ НАБЛЮДЕНИЯ
ЗА КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА****М.В. Волкодаева¹, А.А. Кольцов², С.Д. Тимин¹**

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»,
РФ, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21, линия 2

²ООО «Институт проектирования, экологии и гигиены»,
РФ, г. Санкт-Петербург, пр. Медиков, 9, лит. Б, пом. 17Н
E-mail: m.volkodaeva@yandex.ru

Предлагаются критерии сравнения малогабаритных постов контроля загрязнения атмосферы с учетом особенностей выполнения таких измерений и сенсоров. Необходимы высокая чувствительность и селективность средства измерения. Предлагаются следующие критерии: наличие оборудования в государственном реестре средств измерений, соответствие средств измерений требованиям базовых нормативных документов, работоспособность и надежность, гарантии корректности результатов измерений, возможность корректировки базовой линии, возможность удаленного мониторинга и управления, опыт и репутация производителя, цена технического средства и возможность технического обслуживания оборудования.

Ключевые слова: наблюдения за качеством атмосферного воздуха, малогабаритные датчики, средства измерения, загрязняющие вещества, государственный реестр средств измерений.

Поступила в редакцию: 08.04.2023.

Введение. Развитие и расширение систем мониторинга атмосферного воздуха – актуальная задача настоящего времени. В качестве средств измерения (СИ) в последнее время все чаще используются, так называемые «малогабаритные датчики» [1], однако в законодательно-нормативных документах РФ отсутствует какие-либо требования к этим СИ.

Измерение концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе имеет ряд особенностей и сопряжено со сложностями, в первую очередь к которым относится необходимость обнаружить низкие концентрации ЗВ, что требует использование высокочувствительных устройств мониторинга. В атмосферном воздухе, кроме измеряемых ЗВ, присутствует большое количество, так называемых неизмеряемых компонентов, некоторые из которых могут обладать схожим строением, физическими и химическими свойствами с измеряе-

мыми ЗВ, что требует от методов и средств измерения высокой селективности. Погодные условия (температура, влажность, атмосферное давление, осадки и др.) существенно влияют на качество измерений и эксплуатационные характеристики средств измерений. Чувствительные элементы анализаторов имеют ограниченный срок жизни, например, для электрохимических сенсоров он составляет не более 2-х лет. Потеря чувствительности таких сенсоров может составлять до 20 процентов в год, что может сказываться на результатах измерений, особенно низких концентраций. С течением времени эксплуатации СИ происходит смещение выходного сигнала, что приводит к существенной ошибке измерений.

Все эти особенности говорят о необходимости разработки критериев и подходов сравнения малогабаритных постов контроля загрязнения атмосферы, что и является целью данной работы.

Материалы и методы. Для корректного сравнения различных малогабаритных датчиков предлагаем использовать 4 критерия: в первую очередь необходимо соблюдение нормативных требований (наличие оборудования в государственном реестре средств измерений, соответствие средств измерений требованиям базовых нормативных документов). Во-вторых, соблюдение общих технических требований (перечень контролируемых загрязняющих веществ (ЗВ), работоспособность и надежность, гарантии корректности результатов измерений, возможность корректировки базовой линии, возможность удаленного мониторинга и управления). Далее, конечно же следует изучить опыт и репутацию производителя. Немаловажную роль играет цена технического средства и возможность технического обслуживания оборудования.

Ход и результаты исследования. Для проведения объективного сравнения оборудования данного класса авторы предлагают провести сравнение, позволяющее заинтересованным специалистам значительно снизить риски выбора некачественного решения.

Рассмотрим каждый из предложенных выше критериев и выделим в них ключевые моменты.

1. Соответствие нормативным требованиям.

1.1. Наличие оборудования в государственном реестре средств измерений (госреестре СИ).

В госреестре СИ регистрируются типы средств измерений (СИ), для которых установлены официальные технические нормативы и правила метрологической поверки. Наличие средства измерений в госреестре подтверждает возможность его применения в Российской Федерации.

Для внесения СИ в госреестр производителю необходимо пройти процедуру утверждения типа СИ, по результатам которой устанавливаются метрологические характеристики и методика проведения поверки. Утверждение типа СИ (в нашем случае оборудования для измерения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе) осу-

ществляется Росстандартом на основании испытаний аккредитованной лаборатории.

Внесено ли СИ в госреестр, можно проверить на сайте ФГИС «Аршин», где также будет опубликована следующая информация о СИ [2]:

- номер в госреестре СИ;
- наименование и обозначение СИ;
- страна и предприятие-изготовитель;
- срок действия свидетельства об утверждении СИ;
- межповерочный интервал;
- документы для глубокого изучения – описание типа СИ, методика поверки.

1.2. Соответствие СИ требованиям базовых нормативных документов.

Чтобы проверить соответствие устройства нормативным требованиям, в описании типа устройства должен быть раздел по нормативно-технической документации. Среди перечня документов должны быть:

1) ГОСТ Р 50760-95 Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха. Общие технические условия [3].

2) Постановление Правительства Российской Федерации от «16» ноября 2020 г. № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» [4].

ГОСТ Р 50760-95 распространяется на анализаторы газов и аэрозолей, предназначенные для измерения содержания загрязняющих веществ в атмосфере в диапазоне 0,5ПДК_{сс}-10ПДК_{мр}. Именно ссылка на указанный документ свидетельствует, что испытания оборудования проведены с учетом специфических требований к устройствам контроля качества атмосферного воздуха, и оно соответствует назначению.

В п. 3.1.2 Постановлении Правительства РФ № 1847 указаны обязательные метрологические требования при измерении массовой концентрации органических и неорганических веществ в атмо-

сферном воздухе. В частности, диапазон допускаемой погрешности измерений определен как 10–25%.

Для устройств, используемых вне помещений, температура и влажность окружающей среды, присутствие неизмеряемых компонентов вносят дополнительные погрешности в результаты измерений. Согласно п. 5.2.1 ГОСТ Р 50760-95 они должны быть определены в ходе испытаний для установления типа СИ. Чтобы понять проводились ли такие испытания, необходимо проанализировать в описании типа раздел (таблицу) с названием “Дополнительные метрологические характеристики” (или схожий по содержанию раздел).

Если в описании типа нет данных о пределах дополнительной погрешности от влияния неизмеряемых компонентов, температуры и влажности в заявленных условиях эксплуатации, то, скорее всего, они не проводились. В случае использования такого оборудования могут быть неприятные “сюрпризы” при эксплуатации. Имеет большое значение, какие именно решения и как позволяют нивелировать влияние внешних факторов и неизмеряемых компонентов. Ответственные производители уделяют большое внимание вопросам пробоотбора и подготовки проб, создают стабильные условия для работы всех компонентов и узлов оборудования, эксплуатируемого вне помещений. Именно это гарантирует получение точных данных на протяжении всего срока службы оборудования в любых погодных условиях.

2. Общие технические требования к средству измерений. Рассматриваемый класс оборудования, несмотря на компактные размеры, является сложным и характеризуется десятками параметров. В рамках данной публикации мы рассмотрим лишь некоторые из них.

2.1. Перечень контролируемых загрязняющих веществ (ЗВ).

Перечень веществ для контроля загрязнения атмосферного воздуха устанавливается на основе сведений о составе и характере выбросов от источников загрязнения. В перечень обычно включаются наиболее распространенные за-

грязнители атмосферного воздуха: диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы, озон, твердые частицы, а также специфические актуальные для конкретного места вещества, связанные с выбросами производственных предприятий. Например, при организации наблюдений в районе полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО), мусороперерабатывающих заводов и других объектов, выбрасывающих в атмосферу дурнопахнущие вещества, в перечень контролируемых веществ входит сероводород.

В настоящее время в отношении возможностей малогабаритных постов по точному измерению концентраций некоторых специфических ЗВ (формальдегид, фтороводород и т.д.) авторы публикации выражают определенное сомнение.

2.2. Работоспособность и надежность.

В описании типа или технической документации производителей следует обращать внимание на срок службы оборудования и среднюю наработку на отказ. Они характеризуют работоспособность и надежность оборудования. Естественно, все заинтересованы в успешной долгосрочной эксплуатации оборудования с минимальными (в идеальном варианте – с нулевыми) авариями.

Также не стоит забывать о рисках повреждения корпуса оборудования при эксплуатации. Учитывая, что предельная высота размещения поста согласно РД 52.04.186-89 “Руководство по контролю загрязнения атмосферы” [5] составляет 3,5 метра, целесообразно, чтобы его корпус был изготовлен из прочного материала, что позволит нивелировать внешнее воздействие.

2.3. Гарантии корректности результатов измерений.

Для получения корректных результатов измерений концентраций ЗВ важно получать данные в информационную систему (базу данных) непосредственно от эксплуатируемых постов.

В последнее время в мире и России появляется все больше производителей малогабаритных постов, имеющих основные компетенции в IT-индустрии. В их решениях используются специальные

алгоритмы обработки данных, что вносит искажения в реальные результаты измерений. Авторы придерживаются мнения, что непрозрачные манипуляции с данными недопустимы.

2.4. Возможность корректировки базовой линии.

Для газоаналитического оборудования характерно смещение величины выходного сигнала с течением времени эксплуатации. Это приводит к отклонению от заявленных метрологических характеристик. Поэтому важно иметь возможность удаленной подстройки базовой линии в автоматическом и/или ручном режиме

2.5. Возможность удаленного мониторинга и управления.

Помимо подстройки базовой линии важно иметь возможность удаленно контролировать техническое состояние оборудования, при необходимости осуществлять его перезагрузку, обновлять программное обеспечение. Эти возможности позволяют существенно снизить операционную нагрузку на эксплуатационный персонал и сопутствующие расходы, что является обязательным требованием, учитывая бюджетные ограничения.

3. Опыт и репутация производителя.

3.1. Опыт реализации проектов, отзывы заказчиков.

Если говорить о мировой практике, то малогабаритные посты начали активно применяться для контроля качества атмосферного воздуха более 20 лет назад. В настоящее время можно найти много информации о подобных проектах [6–10]. На территории России опыт применения такого оборудования скромнее, но в последние годы оно также набирает популярность [1].

Поэтому рекомендуем запросить у производителей оборудования референс-лист реализованных проектов с кратким описанием и контактными данными представителей заказчиков. Пообщайтесь с ними детально с использованием, в том числе, вопросов нашей публикации и получите прямую обратную связь. Самым лучшим способом получить всю

необходимую информацию является личный визит эксперта заказчика в организацию, имеющую опыт эксплуатации малогабаритных постов. Также целесообразно запланировать визит на производственные площадки (в сервисные центры) производителей и на месте оценить, что скрывается за красивыми рекламными буклетами.

3.2. Проведение независимых референсных полевых испытаний.

Дополнительным источником информации о качестве работы оборудования являются отчеты о проведенных референсных испытаниях. В них можно найти информацию о погрешности измерений, сходимости и воспроизводимости результатов измерений между тестируемым и референсным оборудованием. Высокая сходимость отражает высокую близость друг к другу результатов измерений, осуществляемых в одинаковых условиях. Высокая воспроизводимость характеризует качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях. Следует обратить внимание на результаты корреляционно-регрессионного анализа данных, значения полученных коэффициентов. Необходимо сравнить полученную относительную погрешность с нормативными требованиями.

Важно, чтобы в референсных испытаниях участвовали лаборатории (организации), являющиеся независимыми, имеющие практический опыт работы в области контроля качества атмосферного воздуха с квалифицированными кадрами и поверженным оборудованием.

4. Цена оборудования и его технического обслуживания. По результатам анализа информации по первым трем критериям можно получить целостную картину основных характеристик рассматриваемого оборудования разных производителей. Варианты, не отвечающие установленным требованиям, необходимо исключить из рассмотрения. Оставшиеся варианты оцениваются по соотношению качества оборудования и совокупных затрат на владение им.

Совокупные затраты обычно складываются из:

- единовременных затрат на приобретение оборудования, первичную поверку, проведение монтажных, пусконаладочных и других сопутствующих работ;
- постоянных затрат на обслуживание оборудования.

Последние в свою очередь состоят из:

- затрат на текущее сервисное обслуживание (в зависимости от требований по уровню сервиса);
- затрат на проведение регламентного технического обслуживания в сервисном центре производителя;
- периодическую поверку после регламентного обслуживания.

Сводная информация о предлагаемых критериях сравнения малогабаритных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха различных производителей представлена в табл. 1.

Полученные результаты. В ходе проведенного анализа авторы предлагают подходы и критерии сравнения малогабаритных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха, использование которых позволит выбрать наиболее корректное СИ, а значит получать качественную информацию о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: диоксида азота, оксида углерода, диоксида серы, озона, твердых частиц, сероводорода. Использование малогабаритных постов для контроля

других ЗВ на настоящем этапе по мнению авторов – весьма проблематично.

К основным критериям следует отнести: наличие оборудования в государственном реестре средств измерений, соответствие средств измерений требованиям базовых нормативных документов, работоспособность и надежность, гарантии корректности результатов измерений, возможность корректировки базовой линии, возможность удаленного мониторинга и управления, опыт и репутация производителя, цена технического средства и возможность технического обслуживания оборудования.

Заключение. Автоматизация и цифровизация в различных областях профессиональной деятельности затронули и мониторинг атмосферного воздуха. Малогабаритные посты мониторинга предоставляют возможность пользователям существенно увеличить объем данных о состоянии атмосферного воздуха. Это, в свою очередь, повышает возможности их аналитической обработки, улучшает качество прогнозов, положительно влияет на эффективность принимаемых решений.

В рамках небольшой публикации невозможно раскрыть все нюансы, связанные с выбором малогабаритных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха. Однако надеемся, что предложенный практический подход позволит сделать правильный выбор решения и обеспечит получение достоверной информации о качестве атмосферного воздуха.

Таблица 1. Критерии сравнения малогабаритных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха

№	Критерий / требование	Производители малогабаритного оборудования		
		№ 1	№ 2	...
1	2	3	4	...
1.	Нормативные требования			
1.1.	Наличие оборудования в государственном реестре средств измерений			
1.2.	Соответствие средства измерения требованиям базовых нормативных документов			
1.2.1.	наличие в описании типа указания на ГОСТ Р 50760-95			

Monitoring systems of environment No 2 (52) 2023

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
1.2.2.	наличие в описании типа указания на Постановление Правительства Российской Федерации от «16» ноября 2020 г. №1847			
1.2.3.	наличие в описании типа сведений о пределах дополнительной погрешности от влияния неизмеряемых компонентов, температуры и влажности			
1.2.4.	механизмы обеспечения качества и стабильности данных при эксплуатации вне помещений			
2.	Общие технические требования к средству измерений			
2.1.	Перечень контролируемых загрязняющих веществ			
2.2.	Работоспособность и надежность			
2.2.1.	срок службы оборудования			
2.2.2.	средняя наработка на отказ			
2.2.3.	корпус в антивандальном исполнении			
2.3.	Гарантии корректности результатов измерений			
2.3.1.	обеспечение прямой передачи исходных данных с постов наблюдений на сервер заказчика, минуя промежуточные сервера			
2.4.	Возможность корректировки базовой линии			
2.5.	Возможность удаленного мониторинга и управления			
2.5.1.	контроль технического состояния оборудования			
2.5.2.	перезагрузка оборудования			
2.5.3.	обновление программного обеспечения			
3.	Опыт и репутация производителя			
3.1.	Опыт реализации проектов, отзывы заказчиков			
3.1.1.	наличие реализованных проектов и их характеристики (референс-лист)			
3.1.2.	оценка удовлетворенности заказчиков			
3.2.	Проведение независимых референсных полевых испытаний			
4.	Цена и технического обслуживания оборудования			
4.1.	единовременные расходы			
4.1.1.	приобретение оборудования			
4.1.2.	первичная проверка			

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
4.1.3.	работы: монтаж, пусконаладка, другие работы			
4.2.	Постоянные расходы			
4.2.1.	текущее сервисное обслуживание			
4.2.2.	регламентное сервисное обслуживание			
4.2.3.	поверка оборудования после регламентного обслуживания			
4.2.4.	работы: демонтаж, монтаж, пусконаладка			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкодаева М.В., Кольцов А.А., Тимин С.Д. Об использовании малогабаритных датчиков для оценки загрязнения атмосферного воздуха // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 1 (51). С. 64–69.

2. <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4> / [Электронный ресурс] / (дата обращения: 07.04.2023).

3. ГОСТ Р 50760-95 – Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха. Общие технические условия: дата введения: 1996-07-01. М.: Изд-во стандартов. 1995. 23 с.

4. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: постановление Правительства Российской Федерации от 16.07.2020 г. № 1847 (ред. 07.02.2023). URL: base.garant.ru/74943857.

5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 693 с.

6. Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза N 2008/50/EC от 21 мая 2008 г. о качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки в Европе. [Текст]. <https://goo.su/WGIBwbf>.

7. Air pollution with low-cost sensors. URL: <https://www.bcs.org/media/4698/low-cost-pm-sensors-florentin-bulot.pdf>.

8. Haleh N., Aashish J., Jaewoo P., Arezoo E. Advanced Micro- and Nano-Gas Sensor Technology: A Review // Sensors. March 2019. V. 19. No. 6. P. 1285–1308.

9. Ashfaque M., Khan M., Rao M., Li Q. Recent Advances in Electrochemical Sensors for Detecting Toxic Gases: NO₂, SO₂ and H₂S // Sensors. February 2019. V. 19. No. 4. P. 905–944.

10. Peterson P., Aujla A., Grant K., Brundle A., Thompson Martin., Vande H.J., Leigh R. Practical Use of Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors for Measuring Nitrogen Dioxide and Ozone in Urban Environments // Sensors. July 2017. V. 17. No. 7. P. 1653–1678.

CRITERIA FOR COMPARING SMALL-SIZED MONITORING POSTS FOR ATMOSPHERIC AIR QUALITY

M.V. Volkodaeva^{1,2}, A.A. Koltsov², S.D. Timin¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg Mining University", RF, St. Petersburg, Vasilyevsky Island, 21, line 2

²LLC "Institute of Design, Ecology and Hygiene", RF, St. Petersburg, Medikov Av., 9, lit. B, room 17N

Criteria for comparing small-sized air pollution control posts are proposed, taking into account the peculiarities of performing such measurements and sensors. High sensitivity and selectivity of the measuring instrument are required. The following criteria are proposed: availability of equipment in the state register of measuring instruments, compliance of measuring instruments with the requirements of basic regulatory documents, operability and reliability, guarantees of the correctness of measurement results, the possibility of adjusting the baseline, the possibility of remote monitoring and management, the experience and reputation of the manufacturer, the price of the technical means and the possibility of equipment maintenance.

Keywords: air quality monitoring, small sensors, measuring instruments, pollutants, state register of measuring instruments.

REFERENCES

1. Volkodaeva M.V., Koltsov A.A., and Timin S.D. Ob ispol'zovanii malogabaritnykh datchikov dlya ochenki zagryazneniya atmosfornogo vozduha (Usage of a small-sized sensors for the assessment of atmospheric air pollution). *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy*, 2023, No. 1(51), pp. 64–69.
2. <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4> (April 7, 2023).
3. *GOST R 50760-95*. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1995, 23 p.
4. URL: base.garant.ru/74943857.
5. *RD 52.04.186-89*. Leningrad: Gidromeneoizdat, 1991, 693 p.
6. <https://goo.su/WGIBwbf>.
7. <https://www.bcs.org/media/4698/low-cost-pm-sensors-florentin-bulot.pdf>.
8. Haleh N., Aashish J., Jaewoo P., and Arezoo E. Advanced Micro- and Nano-Gas Sensor Technology: A Review. *Sensors*, March 2019, Vol. 19, No. 6, pp. 1285–1308.
9. Ashfaque M., Khan M., Rao M., and Li Q. Recent Advances in Electrochemical Sensors for Detecting Toxic Gases: NO₂, SO₂ and H₂S. *Sensors*, February 2019, Vol. 19, No. 4, pp. 905–944.
10. Peterson P., Aujla A., Grant K., Brundle A., Thompson Martin., Vande H.J., and Leigh R. Practical Use of Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors for Measuring Nitrogen Dioxide and Ozone in Urban Environments. *Sensors*, July 2017, Vol. 17, No. 7, pp. 1653–1678.