

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.32.32.010

УДК 502.3/.7

© Д.В. Гусак, Ю.В. Волков, 2022

**Д.В. ГУСАК**

аспирант

ИМКЭС СО РАН, г. Томск

e-mail: vydigus@mail.ru



**Ю.В. ВОЛКОВ**

канд. техн. наук,

научный сотрудник

ИМКЭС СО РАН, г. Томск

e-mail: yvvolkov@mail.ru



## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

*В статье описан подход к реализации распределенной сети мониторинга атмосферного воздуха, которая дополнит существующую государственную сеть наблюдений при помощи большего количества установленных постов наблюдений. В новых постах наблюдений предлагается применить комплекс оптических датчиков под управлением микроконтроллера, принимающего с датчиков данные и передающего последние посредством беспроводной сети на сервер. В работе описаны необходимые узлы для такого устройства, представлены первичные результаты его сборки.*

Ключевые слова: МОНИТОРИНГ ВОЗДУХА, ПЫЛЬ, СЕТЬ МОНИТОРИНГА, ПРИБОР, СТРУКТУРНАЯ СХЕМА, КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, ДАТЧИКИ.

### ВВЕДЕНИЕ

При развитии населенных пунктов, их инфраструктуры, промышленности, жилищно-фонда важным инструментом контроля как процессов развития, так и деятельности определенных предприятий выступает мониторинг атмосферного воздуха. Регистрация состава воздуха на определенной территории формирует первичную оценку качества среды, в которой живет и работает население. Эта оценка отражает соблюдение промышленными пред-

приятиями и сельскохозяйственными объектами норм и требований по выбросам отходов производства в атмосферу, стабильность ситуации в жилых районах: есть ли новые источники выбросов, насколько большое загрязнение создают автомобили на проезжей части.

На территории Российской Федерации мониторинг атмосферного воздуха проводит Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее — Росгидромет), устанавливая посты наблюде-

ния в соответствии с РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [1]. Согласно РД 52.04.186-89 «Постом наблюдения является выбранное место (точка местности), на котором размещают павильон или автомобиль, оборудованные соответствующими приборами» [1].

Посты наблюдения располагают на обследуемой территории для получения следующей информации:

- а) уровень загрязнения воздуха, характерного для определенного района города;
- б) измерение концентраций примесей в конкретной точке, находящейся под влиянием выбросов отдельного промышленного пред-

приятия или крупной автомагистрали [1].

Соответственно, в первом случае пост размещают на территории без непосредственного воздействия отдельных источников загрязнения, во втором случае — в непосредственной близости к источнику. На выбор количества постов наблюдения влияют следующие факторы: численность городского населения, площадь населенного пункта, рельеф местности, степень индустриализации, рассредоточенность мест отдыха [1].

Наблюдения за загрязнениями проводят по одной из четырех программ наблюдения, информация по которым сведена в табл. 1.

Таблица 1

Программы наблюдений за загрязнениями

Параметр/ программа	Получаемая информация	Период наблюдений	Время наблюдений
Полная (П)	Разовые и среднесуточные концентрации	Ежедневно	1, 7, 13, 19 ч
Неполная (НП)	Разовые концентрации	Ежедневно	7, 13, 19 ч
Сокращенная (СС)	Разовые концентрации	Ежедневно	7 и 13 ч
По скользящему графику	Разовые концентрации	Вторник, четверг, суббота	7, 10, 13 ч
		Понедельник, среда, пятница	16, 19, 22 ч
Суточная (С)	Среднесуточные концентрации	Непрерывно	24 ч / 7 д

Таким образом, выполняя наблюдения по определенной программе, специалисты формируют оценку состояния атмосферного воздуха в населенном пункте в целом. При необходимости, для более детальной оценки определенного района, используют маршрутный пост наблюдений [1].

Иностранные коллеги [2] отмечают дополнительные цели мониторинга, которые могут быть реализованы как специалистами, там и научными исследователями:

- моделирование качества воздуха — для оценки результатов моделирования рассеяния загрязнений;
- мониторинг временных тенденций — отслеживание изменений уровней загрязни-

телей за некоторый период времени;

- определение распределения источников — для определения источников выбросов;
- определение пространственного охвата — определение пространственной тенденции уровней загрязнения воздуха;
- выявление основных факторов качества воздуха — определение факторов, влияющих на качество воздуха (стратегии землепользования, климат, высота пограничного слоя);
- определение отношения «доза – реакция» — изучение воздействия загрязнения воздуха на живые организмы;
- оценка стратегии ограничения загрязнения воздуха [2].

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом настоящего исследования является сеть мониторинга атмосферного воздуха в городе Томске. Сеть мониторинга состоит из 7 постов наблюдений, принадлежащих Государственной службе наблюдений за состоянием окружающей среды (далее — ГСН) и разделенных на три категории, согласно Государственному докладу «О состоянии окружающей среды Томской области в 2019 году» [3]:

- «городские фоновые» — в жилых районах (пост № 14);
- «промышленные» — вблизи крупных

источников выбросов (посты № 5, 11, 12, 13);

- «авто» — вблизи автомагистралей или в районах с интенсивным движением транспорта (посты № 2, 15).

На данных постах регистрируют разовые концентрации 13 веществ по неполной программе мониторинга: пыли, сернистого ангидрида, оксида углерода, оксида азота, диоксида азота, сероводорода, фенола, сажи, хлористого водорода, аммиака, формальдегида, метанола и бенз(а)пирена.

Наглядно расположение 6 постов наблюдения можно рассмотреть на рис. 1.

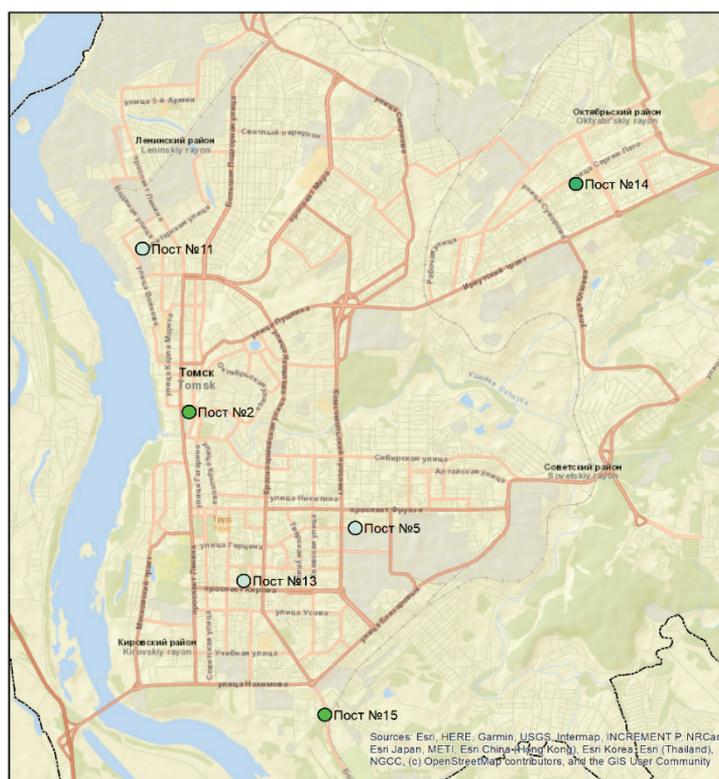


Рис. 1. Расположение постов наблюдения в городе Томске

Посты наблюдений установлены в соответствии с требованиями руководящего документа [1]. На них применяется оборудование со свидетельствами об утверждении типа средств измерений с соответствующим описанием. Данные средства измерений регистрируют концентрацию одного или нескольких веществ с погрешностью до 25 %, что соответствует требованиям ГОСТ 17.2.4.02-81 «Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ» [4].

## ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

Как отмечено в докладе [3]: «Застройка города и размещение предприятий не позволяют сделать четкого разделения постов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха». Следовательно, можно сформулировать существующую проблему так: на основе данных с постов наблюдения нельзя однозначно сформировать мнение о выбросах определенного предприятия. Другими словами, для организации наблюдений за опре-

деленным предприятием требуется установка большего количества постов наблюдений. При этом необходимо сбалансировать 3 показателя: цену, качество, эффективность.

Исходя из вышесказанного, формируем проблемный вопрос: какой подход обеспечит организацию распределенной сети мониторинга за состоянием атмосферного воздуха с разделением районов мониторинга и достаточной точностью измерений концентраций загрязняющих веществ?

### ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ВОПРОСА

Ранее было указано, что, в случае необходимости детализации данных, используют маршрутный пост наблюдений, который представляет собой автомобиль,двигающийся по определенному маршруту и производящий отбор проб в указанных точках.

Другой подход для решения указанной проблемы — организация распределенной сети мониторинга из менее дорогих компактных устройств на основе датчиков с достаточной точностью измерений. Данный подход способствует повышению пространственного разрешения мониторинга, предоставляет данные о концентрациях загрязнителей с заданной периодичностью, позволяет обеспечить слежение за выбросами определенного предприятия. Такой подход уже используют иностранные коллеги в Великобритании, Южной Корее, США [2, 5, 6].

Для реализации второго подхода необходимо собрать соответствующий прибор, который послужит структурной единицей в данной сети. Чувствительными элементами в данном приборе послужат датчики веществ, способные регистрировать загрязнители в требуемом диапазоне и обладающие погрешностью измерений до 25 %. Необходи-

мо учитывать, что в зависимости от принципа работы датчика меняются его срок службы и стоимость. Чаще всего используют электрохимические или оптические датчики.

Существуют электрохимические датчики для основных загрязнителей воздуха ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ) [1] и других веществ (например,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\Sigma\text{CH}$ ). Такие датчики обладают низкой погрешностью (2 – 10 %), сроком службы 1–2 года и стоимостью до 10–15 тыс. руб. за 1 датчик.

Оптические датчики на данный момент обладают гораздо меньшим перечнем определяемых веществ — только пыль и  $\text{CO}_2$ . При этом подобные датчики обладают низкой погрешностью (до 10 %), длительным сроком службы (3 и более лет). При дальнейшем развитии техники и миниатюризации спектрометров с сохранением качества измерений подобные датчики способны значительно упростить затраты на эксплуатацию сети, используя их, предоставляя точные данные о качественном и количественном составе атмосферного воздуха.

### ОПИСАНИЕ АВТОРСКОГО ПОДХОДА

Для организации сети мониторинга, в основе которой лежат датчики веществ, необходимо некоторое устройство, обеспечивающее связь между датчиком и хранилищем поступающих данных, обрабатывающее эти данные, отправляющее их по беспроводной связи на некоторый сервер и подпитывающее энергией сами датчики. В идеале, это некоторый блок, к которому модульно подключаются остальные датчики с возможностью их замены при окончании срока службы.

При проектировании подобного устройства, авторами разработана следующая структурная схема, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема прибора для сети мониторинга

В схеме на рис. 2 предусмотрены основные узлы для обеспечения работоспособности датчиков:

- ядро вычислений и согласования модулей — микроконтроллер или микропроцессор;
- источник питания с возможностью преобразования электрических величин — предусматривается возможность получения энергии как от сетевого напряжения, так и от независимого источника — аккумулятора;

- разделенные накопитель и передатчик данных — обеспечивают беспроводную передачу данных о концентрациях веществ с заданным периодом времени и имеют возможность снятия последних накопленных данных;

- блоки измерения внешней и внутренней среды — контроль как атмосферного воздуха (измерение воздействия на население), так и среды внутри прибора (обеспечение точности измерений);

- индикатор — опциональный элемент, необходимый для проверки работоспособности структурных элементов, но при массовом применении и передачи данных по беспроводной связи может быть удален из конструкции.

Благодаря большому количеству производителей и объему производства электронных

компонентов и микроэлектронных устройств такое устройство возможно собрать в различных вариантах под определенные требования. Однако следует помнить, что, несмотря на заявленную точность от завода – изготовителя, датчики в таком устройстве следует калибровать при помощи приборов с российскими метрологическими сертификатами в случае применения в системе государственного мониторинга атмосферного воздуха. Проведение калибровки задаст точность измерений и доверительный интервал, и может быть выполнено различными средствами, в том числе при помощи маршрутных постов наблюдений.

Сами блоки измерений представляют собой набор датчиков:

- в блоке внешний измерений — датчик пыли, датчик температуры, влажности и давления;

- в блоке внутренних измерений — датчик температуры — и нагреватель — элемент регулирования внутренней среды прибора. В зависимости от температурных колебаний в регионе возможно дооснащение охладительным элементом.

На рис. 3 представлена схема блоков измерений с линиями связи.

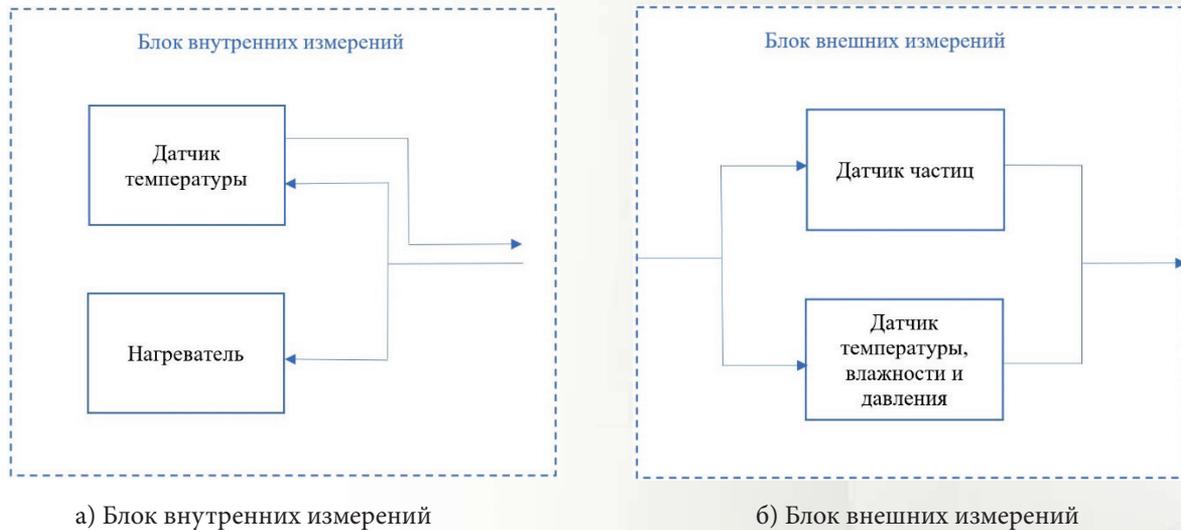


Рис. 3. Блоки измерений устройства

На данный момент в структурной схеме устройства из датчиков веществ предусмотрен только датчик пыли, т. к., в первую очередь, необходимо отладить базовую модель, а в дальнейшем предстоит наращивание её мощности. При отладке работы устройства к блоку внешних измерений опционально добавить инфракрасный датчик газа CO<sub>2</sub>, к примеру, модели МН-Z19. При появлении новых

оптических датчиков их также следует добавлять к устройству, наращивая диапазон измеряемых веществ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе структурной схемы собрана рабочая модель устройства, внешний вид которой представлен на рис. 4.



Рис. 4. Рабочая модель устройства

Энергия в данное устройство поступает с внешнего накопителя — портативного аккумулятора. На индикатор выводятся значения даты, времени и массовой концентраций взвешенных частиц диаметром 2,5 и 10 микрон (PM<sub>2,5</sub> / VC<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> / VC<sub>10</sub>). В данном устройстве использовали датчик пыли

компании Plantower модели PMS5003 с заявляемой точностью измерений 98 % при измерении частиц размером более 0,5 мкм. Дата и время поступают с модуля DS3231.

Для организации работы компонентов устройства использовали микроконтроллер Arduino Uno. Микроконтроллер данной се-

рии использован как легкодоступный недорогой элемент, к которому можно подключить несколько устройств без пайки / перепайки контактов при помощи монтажной платы. В дальнейшем устройство следует перевести на более мощный микроконтроллер либо микропроцессор.

Корпус устройства изготовлен посредством технологии 3D-печати из PETG пластика по индивидуальному дизайну.

Испытания устройства показывают, что датчик реагирует на присутствие пыли и изменение её концентрации. Так, во время приготовления пищи концентрация  $\text{VCH}_2,5$  находилась в диапазоне 150–200  $\text{мкг/м}^3$ . В дальнейшем устройство будет откалибровано для определения точной погрешности измерений.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Контроль воздействия различных загрязнителей на население и окружающую среду важен в любой отрасли промышленности, т. к. от этого зависит здоровье людей, а следовательно, их работоспособность и желание проживать на определенной территории. В

данной статье описан подход к решению вопроса развития распределенной сети мониторинга атмосферного воздуха с достаточной точностью измерения, но с меньшими экономическими затратами.

Для этого разработана структурная схема небольшого устройства, к которому следует подключать датчики интересующих веществ. Основной рекомендацией является использование оптических датчиков веществ. На основе структурной схемы собрана рабочая модель устройства, которая регистрирует наличие пыли в помещении, реагирует на изменение концентрации и выводит на экран значение массовой концентрации пыли.

Для преодоления ограниченного на данный момент перечня определяемых загрязняющих веществ оптическими датчиками, необходима разработка компактных датчиков веществ или целого устройства, определяющего ряд веществ, в основе которых лежит оптический принцип работы. При этом можно также использовать электрохимические датчики, но следует учитывать возрастание экономических затрат на обслуживание устройства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Введ. 1991.07.01. Госкомгидромет СССР, Министерство здравоохранения СССР. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 694 с.
2. Munir S., Mayfield D., Coca D., Jubb S.A. Structuring an integrated air quality monitoring network in large urban areas – Discussing the purpose, criteria and deployment strategy // Atmospheric Environment: X. 2019. Vol. 2. P. 100027.
3. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Томской области в 2019 году» // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». Томск, 2020. 135 с.
4. ГОСТ 17.2.4.02-81. Охрана природы ССОП. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. Введ. 1982.07.01. Официальное издание Охрана природы. Атмосфера: Сб. ГОСТов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 2 с.
5. Loh B.G., Choi G.H. Calibration of portable particulate matter – monitoring device using web query and machine learning // Safety and Health at Work. 2019. Vol. 10. P. 452–460.
6. Li H.Z., Gu P., Ye Q., Zimmerman N., Robinson E.S., Subramanian R., Apte J.S., Robinson A.L., Presto A.A. Spatially dense air pollutant sampling: Implications of spatial variability on the representativeness of stationary air pollutant monitors // Atmospheric Environment: X. 2019. Vol. 2. P. 100012.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.32.32.010

UDC 502.3/.7

© D.V. Gusak, Yu.V. Volkov, 2022

**D.V. GUSAK**

Postgraduate Student  
IMCES SB RAS, Tomsk  
e-mail: vydigus@mail.ru

**Yu.V. VOLKOV**

Candidate of Engineering Sciences,  
Research Associate  
IMCES SB RAS, Tomsk  
e-mail: yvvolkov@mail.ru

**DEVICE FOR ORGANIZATION OF DISTRIBUTED NETWORK OF ATMOSPHERIC AIR MONITORING IN THE TERRITORY OF SETTLEMENTS**

*This article describes approach to the implementation of a distributed atmospheric air monitoring network, which will complement existing state observation network by counting a larger number of established observation posts. In the new observation posts, it is proposed to use a complex of optical sensors under the control of microcontroller receiving data from them and transmitting the latter through a wireless network to the server. The work describes main necessary units for such device and presents primary results of its assembly.*

Keywords: AIR MONITORING, DUST, MONITORING NETWORK, DEVICE, STRUCTURAL DIAGRAM, POLLUTION CONTROL, SENSORS.

**REFERENCES**

1. RD 52.04.186-89 Guidelines for the control of atmospheric pollution. Introduction. 1991.07.01. Goskomhydromet of the USSR, Ministry of Health of the USSR. SPb.: Hydrometeoizdat, 1991. 694 p. [In Russ.].
2. Munir S., Mayfield D., Coca D., Jubb S.A. Structuring an integrated air quality monitoring network in large urban areas – Discussing the purpose, criteria and deployment strategy // Atmospheric Environment: X. 2019. Vol. 2. P. 100027.
3. State report «About the environmental state and protection in the Tomsk region in 2019» // Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Region and RSBI «Oblkompriroda». Tomsk, 2020. 135 p. [In Russ.].
4. GOST 17.2.4.02-81. Nature protection SSOP. Atmosphere. General requirements for methods for the determination of pollutants. Introduced 1982.07.01. Official publication Nature Protection. Atmosphere: Collection of GOST. M.: IPK Publishing House of Standards, 2004. 2 p. [In Russ.].
5. Loh B.G., Choi G.H. Calibration of portable particulate matter – monitoring device using web query and machine learning // Safety and Health at Work. 2019. Vol. 10. P. 452–460.
6. Li H.Z., Gu P., Ye Q., Zimmerman N., Robinson E.S., Subramanian R., Apte J.S., Robinson A.L., Presto A.A. Spatially dense air pollutant sampling: Implications of spatial variability on the representativeness of stationary air pollutant monitors // Atmospheric Environment: X. 2019. Vol. 2. P. 100012.