



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-241-250

EDN: HCKTOL

УДК 504.3.054:504.064.36

Научная статья / Research article

## Концепция прибора для организации сети мониторинга

Д.В. Гусак  

*Институт мониторинга климатических и экологических систем  
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, Российская Федерация*

 [vydigus@mail.ru](mailto:vydigus@mail.ru)

**Аннотация.** Государственные сети наблюдений за состоянием окружающей среды включают в себя комплекс из стационарных, маршрутных и подфакельных постов наблюдений. Стационарные посты наблюдений являются достаточно дорогостоящим сооружением, использующим оборудование определенной точности. Современное технологическое развитие позволяет создавать устройства малых габаритных размеров с унифицированным выходным интерфейсом, обладающие погрешностью измерений, сравнимой с погрешностью оборудования, применяемого в стационарных постах наблюдений или меньшей. В связи с этим в данной работе предлагается концепция создания устройства, которое, в частности, преобразуется в прибор мониторинга атмосферного воздуха. В настоящее время вопросы состояния и очистки окружающей среды, а также контроля выбросов остаются актуальными. Целью исследования, грань которого раскрывается в данной работе, является организация сети мониторинга для анализа загрязнений атмосферного воздуха. В работе приведен список приоритетов для организации прибора, его основные функции. Результатом являются структурные схемы центрального компонента прибора, названного «Сердце», и дополнительного компонента – «Платы расширения», описывающие основные узлы, необходимые для работы прибора. Рабочим органом прибора являются датчики веществ с различным принципом работы. Дополнительно описаны путь обеспечения энергонезависимости прибора и организация единого интерфейса передачи данных внутри него. Представлен краткий перечень задач, на выполнение которых направлен предлагаемый прибор.

**Ключевые слова:** мониторинг атмосферы, сеть наблюдений, прибор мониторинга, дистанционный мониторинг, организация сети, переносной прибор.

**История статьи:** поступила в редакцию 02.08.2022; доработана после рецензирования 16.12.2022; принята к публикации 19.03.2023.

© Гусак Д.В., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Для цитирования:** Гусак Д.В. Концепция прибора для организации сети мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 241–250. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-241-250>

## Device concept for organization of monitoring network

Dmitrii V. Gusak  

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation*

 [vydigus@mail.ru](mailto:vydigus@mail.ru)

**Abstract.** State observation networks of the state of environment include a complex of stationary, route and sub torch observation posts. Stationary observation posts are a fairly expensive structure that used equipment of a certain accuracy. Modern technological development allows to create devices of small dimensions with a unified output interface, having a measurement error comparable to the error of equipment used in stationary observation posts or less. Therefore, this paper proposes the concept of creating a device, which, in particular, may be converted into an atmospheric air monitoring device. Currently, environmental and emission control issues remain relevant. The purpose of the study, the facet of which is revealed in this work, is to organize a monitoring network for the analysis of atmospheric air pollution. The work contains a list of priorities for the organization of the device, its main functions. The result is a structural diagram of the central component of the device, called “Heart” and an additional component – “Expansion Board”, that describes the main necessary nodes for the operating of the device. The working element of the instrument is sensors of substances with different operating principle. In addition, there are described a way to ensure nonvolatile device and organization of a unite interface of data transmission within it. A short list of tasks for which the proposed device is directed is presented.

**Keywords:** atmosphere monitoring, observation network, monitoring device, remote monitoring, networking, portable device

**Article history:** received 02.08.2022; revised 16.12.2022; accepted 19.03.2023.

**For citation:** Gusak DV. Device concept for organization of monitoring network. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):241–250. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-241-250>

## Введение

При организации сети мониторинга на достаточно большой площади: квартал, район города, весь город – необходимо учитывать, что прибор, используемый для этой сети как базовая единица, должен отвечать таким требованиям, как:

а) защита от внешних условий – на работоспособность прибора не должны оказывать влияния внешние погодные условия: осадки, ветер, температура;

б) постоянство внутренней среды – внутри прибора должны сохраняться нормальные условия работы компонентов прибора для исключения дополнительной погрешности измерений;

в) антивандальность – для защиты измерительного оборудования от кражи и разрушения человеком;

г) энергонезависимость – возможность работы без подключения к доступным городским источникам питания;

д) возможность беспроводной передачи данных – показания с прибора должны поступать из любой точки местности (города) на сервер, при необходимости с заданным временным интервалом [1, с. 50];

е) возможность повсеместного монтажа – корпус прибора имеет возможность крепления на различных поверхностях, что необходимо при отказе от выделения земельного участка под пост наблюдений;

ж) доступность комплектующих – конструкция прибора предусматривает возможность его создания из заданных компонентов или их аналогов. Из этого же требования следует дополнительное – простота конструкции;

з) адаптивность – возможность выбора подключаемых датчиков, необходимых на выбранном участке;

и) ремонтпригодность – в случае неисправностей ремонт и ввод в дальнейшую эксплуатацию прибора должен быть произведен в кратчайшие сроки.

При выполнении указанных требований получается прибор, подстраиваемый под необходимые условия, при этом его можно перенести и установить в необходимом месте в черте города либо вне её, а также удобный в использовании. Такой прибор будет полезен как в полевых исследованиях различных лабораторий при институтах, так и различным государственным службам для проведения измерений параметров воздуха в санитарно-защитных зонах либо зонах действия чрезвычайных ситуаций.

**Цель исследования** – организация сети мониторинга для анализа загрязнений атмосферного воздуха.

### Материалы и методы

Таким образом, необходимо спроектировать некоторое устройство, названное условно «сердце», на которое можно будет подключить требуемое количество датчиков веществ с возможностью их замены, корпус которого обладает возможностью крепления к различным объектам, будь то столбы ЛЭП, дома, заборы. При этом должна присутствовать возможность нарастить мощность «сердца» посредством подключения дополнительных датчиков, памяти, вычислительных центров. Весь конечный комплекс представляет собой единый прибор для мониторинга атмосферного воздуха.

Рабочим органом описываемого прибора выступают малогабаритные датчики веществ, обладающие погрешностью, сравнимой с оборудованием, используемым в стационарных постах наблюдений. Однако в корпусе прибора необходимо поддерживать постоянство среды в пределах рабочих

параметров его компонентов для обеспечения минимальной погрешности измерений.

При воплощении такого устройства отпадает необходимость выделения земельных участков под пост наблюдения с обустройством защитных ограждений и систем жизнеобеспечения измерительной техники. Это будет автономный прибор с предварительной настройкой – выбор и подключение определенных датчиков, указание сервера, на который необходимо отправлять данные. На данном этапе исследования возможность «online» настройки параметров прибора не рассматривалась.

Для построения подобного «сердца» достаточно удобен принцип открытой или универсальной архитектуры. Данный принцип подразумевает наличие единой системной шины, к которой подключают внешние устройства определенного назначения (для хранения, обработки, считывания данных). Все подключенные устройства обмениваются данными по этой системной шине посредством собственных микроконтроллеров [2]. Современные оптические датчики взвешенных веществ снабжены такими микроконтроллерами, в которых происходит обработка получаемых с датчика данных и направление их в порт вывода.

Следует учитывать, что в первое время у устройства должна присутствовать возможность подключения датчиков разного типа, а также с разным выходным интерфейсом. Наилучшим вариантом будет выбор в будущем определенного интерфейса подключения, но тогда у всех датчиков должен быть реализован именно этот интерфейс.

### Результаты и обсуждение

Хотя открытая архитектура распространена среди настольных персональных компьютеров, полностью переносить подобный принцип на разрабатываемое устройство, являющееся частью прибора мониторинга, некорректно, так как при мониторинге наиболее необходима подстройка спектра определяемых веществ, коей является подключение датчиков вручную. Базовый набор компонентов, обеспечивающих работоспособность прибора, достаточно свести к минимуму, предварительно отладив их работу, и свести к минимуму вероятность сбоев и ошибок.

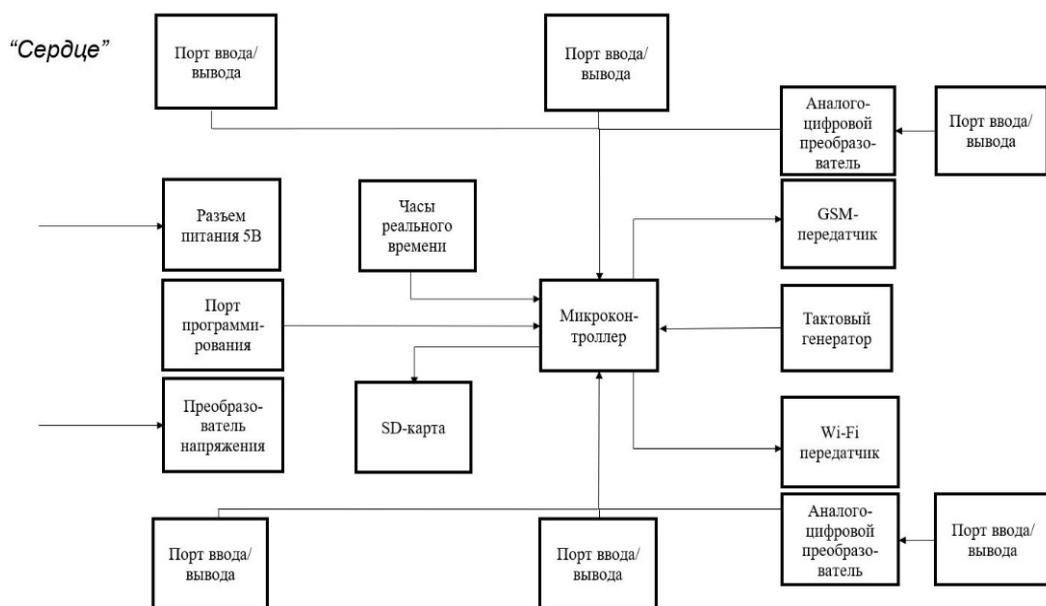
В связи с этим следует поступить следующим образом: при разработке устройства сформировать некоторую печатную плату, на которой будут находиться такие элементы, как порты ввода/вывода, микроконтроллер, преобразователь входного напряжения, порт для входного напряжения величиной 5В, передатчик данных (GSM и Wi-Fi), накопитель данных, тактовый генератор, часы реального времени, порт программирования. Блок-схема описанной структуры представлена на рис. 1.

Данная схема служит для формирования общего представления о структуре устройства. Аналого-цифровые преобразователи добавлены для

возможности подключения датчиков с линейным выходным сигналом, однако они могут быть встроены в микроконтроллер, в связи с чем в блок-схеме их допустимо не учитывать.

### ***Особенности структуры устройства и плат его расширения***

Датчики веществ, упомянутые ранее, по-разному передают сигнал о концентрации пыли. Некоторые используют интерфейс UART<sup>1</sup>, другие передают сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-сигнал)<sup>2</sup>, третьи передают линейный сигнал<sup>3</sup>. Соответственно, «сердце» должно уметь обрабатывать все эти сигналы.



**Рис. 1. Блок-схема структуры «сердца»**

<sup>1</sup> GP2Y10x Dust Sensor – Sharp | Mouser // Electronic Components Distributor – Mouser Russian Federation. URL: <https://ru.mouser.com/new/sharp-microelectronics/sharp-gp2y10x-dust-sensors/> (дата обращения: 11.10.2021). Датчик качества воздуха/пыли PM2.5 PMS5003 // Mini-Tech: электронные модули и комплектующие. URL: [https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2\\_5](https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2_5) (дата обращения: 01.05.2023).

<sup>2</sup> DSM501A, ИК датчик качества воздуха PM2.5 // ПЛАТАН: электронные компоненты, радиодетали, интернет-магазин. URL: <https://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=2012918756> (дата обращения: 01.05.2023).

<sup>3</sup> ME3-SO2 Gas Sensor – Winsen // Winsen gas sensor. URL: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/so2-gas-sensor/me3-so2.html> (дата обращения: 01.05.2023); FECS44-1000: Gas Sensors & Modules – Products – Figaro Engineering Inc. Gas Sensors / FIGARO Engineering Inc. World leader in gas sensing innovation. URL: <https://www.figaro.co.jp/en/product/entry/fecs44-1000.html> (дата обращения: 01.05.2023).

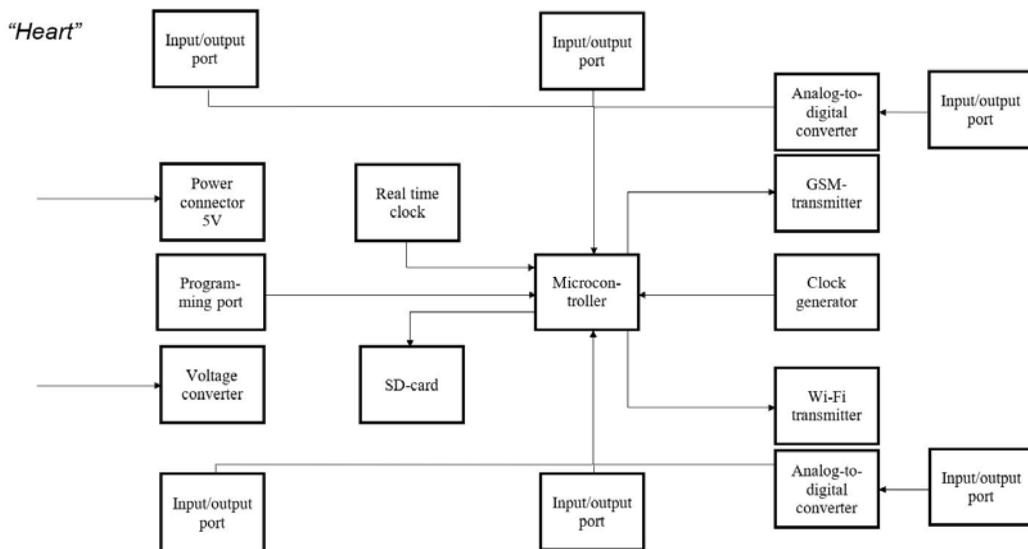


Figure 1. Block diagram of the structure of the "Heart"

Интерфейс UART достаточно распространен ввиду простоты реализации, однако данный интерфейс поддерживает единичную связь между устройствами, т.е. к одному порту ввода/вывода UART можно подключить только одно устройство. При подключении нескольких устройств происходит сбой передачи данных. Для исключения данного сбоя используют следующие выходы [3, с. 5–7]:

- одно устройство подключают к аппаратному интерфейсу UART, другое – к программному;
- используют специальные адаптеры, объединяющие устройства в сеть.

Датчики с выходом в виде ШИМ-сигнала удобны для считывания цифровыми приборами, но требуют идентификации в приборе, а также индивидуального разъема под каждый датчик. Для обработки поступающих с датчиков линейных сигналов необходимо предусмотреть наличие аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Такой тип сигналов удобен для постоянного контроля величины концентрации вещества и выведения данных на монитор.

При регистрации и записи описанных выше сигналов к ним следует добавлять размерность и тип определяемого вещества. В случае наличия одного датчика для каждого типа веществ такие данные удобно выводить на экран без подписей моделей датчиков, а также передавать по беспроводной связи. Однако при передаче данных необходимо указывать идентификационный номер поста наблюдений, с которого эти данные пришли.

Как для удобства использования, так и повышения адаптивных свойств конечного прибора при создании плат расширения следует предусмотреть различные конструкторские решения, направленные на дифференциацию разъемов датчиков. Другими словами, необходимы платы расширения как с отдельными типами портов ввода/вывода (UART, цифровые, линейные), так

и их комбинациями (UART и цифровые, UART и линейные, цифровые и линейные). Данный подход повысит эффективность использования конечного продукта. Для повышения качества передаваемых сигналов в конструкции плат расширения следует предусмотреть наличие микроконтроллера, который собирает и компонует данные с датчиков и передает пакет данных либо микроконтроллеру на следующей плате расширения, либо микроконтроллеру «сердца». Блок-схема платы расширения со всеми типами входных величин представлена на рис. 2.

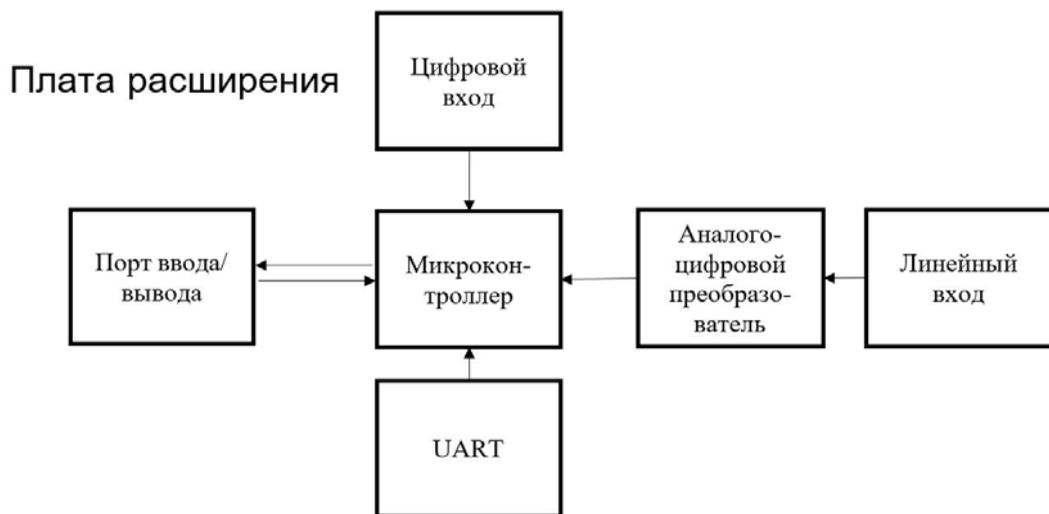


Рис. 2. Структура платы расширения

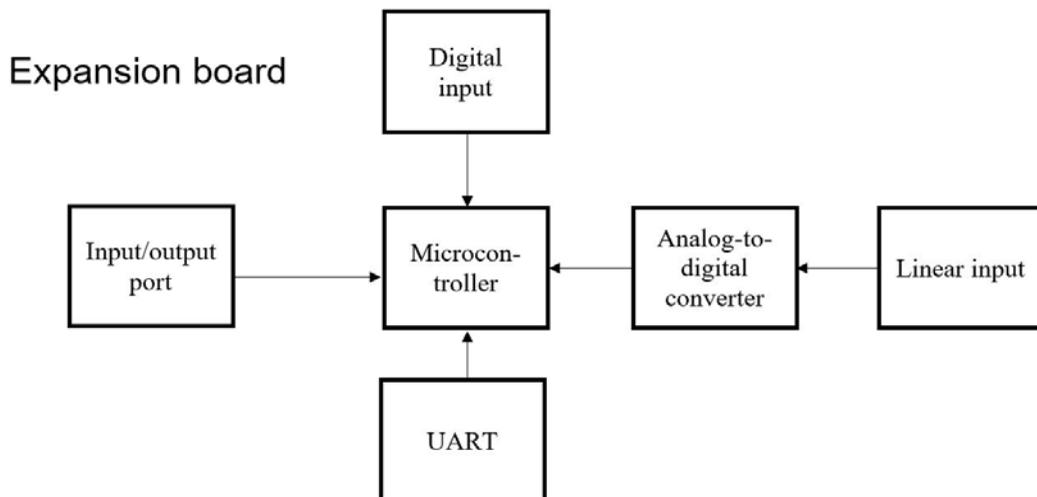


Figure 2. Expansion board structure

Представленная структура является одной из четырех вариантов реализации плат расширения. Связь с «сердцем» осуществляется путем подключения через порты ввода/вывода. Следует учитывать, что на плате отсутствует

возможность длительного накопления данных. Данные необходимо перенаправлять на центральный накопитель после их обработки в микроконтроллере.

### ***Единый интерфейс передачи данных***

Шагом к оптимизации работы устройства, удобства его использования и сборки в промышленных масштабах является применение единого интерфейса передачи данных для подключаемых датчиков и второстепенных модулей. Унификация интерфейса, как было указано выше, потребует либо перестройки существующих датчиков, либо разработки новых.

Ввиду того, что при мониторинге атмосферного воздуха необходимо регистрировать концентрации более 7 веществ, наиболее подходящим является интерфейс Inter-Integrated Circuit (I2C), который способен поддерживать работу до 128 подключаемых устройств, при этом максимальная емкость шины данных – 400 пФ. Данный интерфейс поддерживает подключение такого количества устройств благодаря 7-битной адресации. Следует учитывать, что каждое подключенное устройство должно обладать уникальным адресом или возможностью замены существующего адреса, чтобы исключить конфликты передачи данных [4, с. 61].

В интерфейсе I2C используют две линии связи: одну для передачи данных (SDA), другую для синхронизации устройств (SCL). Для совместной работы множества устройств линии связи подключены к питанию через сопротивление, образуя «Монтажное И» [4, с. 61; 5, с. 13].

### ***Энергонезависимость прибора***

Возможность подключения к общегородским сетям является удобной для реализации всех запланированных компонентов, однако за потребление энергии необходимо вносить определенную сумму. Большое количество устанавливаемых приборов (сотни-тысячи) многократно увеличит размер этой суммы. В целях снижения затрат на обслуживание и обеспечение автономности работы прибора необходимо на этапе разработки закладывать аспект его энергонезависимости.

Для собственной энергонезависимости прибор должен содержать 1–2 аккумуляторных батареи (их применение описано ниже), которые можно собрать из Li-Ion, в частности, к примеру, Li-Co аккумуляторов с типоразмером 18650. Для поддержания заряда аккумуляторов к прибору следует добавить небольшой ветряной генератор или солнечную панель, подключенные через интеллектуальную схему управления зарядом и стабилизатор напряжения и тока.

Интеллектуальная схема необходима для:

- контроля уровня заряда аккумуляторов;
- подключения генератора к определенной батарее аккумуляторов;
- предупреждения о выходе батареи из строя;

– включения холостого хода генератора при достаточном уровне заряда обеих батарей, иначе у батарей резко сократится срок службы.

Ветряной генератор обладает дополнительным преимуществом – возможностью измерения скорости ветра. Кроме того, данный тип генератора не зависит от интенсивности солнечного света, на которую может влиять облачность. Также следует рассмотреть отличную от типичной конструкцию генератора, например ветряной генератор турбинного типа, для обеспечения постоянного тока воздуха определенной скорости и, соответственно, постоянной работы самого генератора<sup>4</sup>.

Использование нескольких аккумуляторных батарей позволяет разделить нагрузку. Одна батарея служит для питания центральной платы и подключенных компонентов, другая – для поддержания стабильных условий внутри корпуса прибора. Не всегда внешние условия могут отличаться от нормальных условий работы прибора, в связи с чем, для предотвращения простоя второй батареи её можно подключать на замену первой. Тем временем к первой батарее подключится генератор для её подзарядки. Конечно же, такое переключение необходимо реализовать на интеллектуальных схемах с соответствующим программным кодом.

Создание данного прибора направлено на обеспечение возможности повышения пространственного разрешения данных о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за счет большого количества устанавливаемых приборов при значительно сниженных или сравнимых затратах по сравнению с одним стационарным постом наблюдений. При этом необходимо учитывать критерий достаточности во время планирования расположения. В противном случае появятся излишние траты на организацию сети и данные, повторяющие значения соседних приборов.

В качестве критерия достаточности может выступить определенное расстояние между приборами, т.е. выделение за каждым прибором определенной зоны, в пределах которой он регистрирует достоверные значения концентраций<sup>5</sup>. Это расстояние будет разным на разных территориях, так как фактор рельефа местности, как правило, оказывает значительное влияние на распределение воздушных масс и, соответственно, веществ, которые в них содержатся. Дополнительным фактором выступает наличие источников загрязнений, особенно если они расположены на малом расстоянии друг от друга. Примером тому может послужить предприятие, выбрасывающее отработанный газ в атмосферу, и прилегающая к нему оживленная автомобильная дорога.

---

<sup>4</sup> Что такое новая ветровая турбина и какого вида она бывает // Энергоэффективные технологии для дома и дачи. URL: <https://energo.house/veter/vetrovaya-turbina.html> (дата обращения: 01.05.2023).

<sup>5</sup> РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Введ. 1991.07.01. – Госкомгидромет СССР, Министерство здравоохранения СССР. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 694 с.

## Заключение

Подводя итог вышесказанного можно сделать вывод, что данная концепция прибора задумана для выполнения сразу нескольких условий:

- отказ от необходимости выделения земельного участка с обустройством павильона;
- отказ от использования крупногабаритного оборудования;
- возможность быстрой замены компонентов, вышедших из строя;
- возможность полной смены перечня определяемых веществ в короткие сроки;
- возможность использования прибора в других областях исследований, таких как: полевые измерения параметров окружающей среды, измерение параметров внутри помещений.

## Список литературы

- [1] Панарин В.М., Маслова А.А., Савинкова С.А. Автоматизированный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий. Тула: Изд-во ТулГУ. 2021. 219 с.
- [2] Титова М.Н. Разработка подхода к принятию решения о создании многофункциональных датчиков с открытой архитектурой // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 5 (99). С. 20.
- [3] Магда Ю.С. Программирование последовательных интерфейсов. СПб.: Изд-во БХВ – Петербург, 2009. 304 с.
- [4] Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. 360 с. (Серия «Программируемые системы»).
- [5] Воробьева Г.С., Селезнев А.И. Интерфейсы микропроцессорных систем: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 190 с.

## References

- [1] Panarin VM, Maslova AA, Savinkova SA. *Automated monitoring of air pollution in industrialized areas*. Tula: Tula State University, 2021 (In Russ.)
- [2] Titova MN. Develop an open architecture multi-function sensor decision-making approach. *Economic Systems Management: Electronic Scientific Journal*. 2017;5(99):20 (In Russ.)
- [3] Magda YuS. *Programming of serial interfaces*. Saint Petersburg: BKhV – Peterburg; 2009 (In Russ.)
- [4] Ball St. *Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems*. 2nd ed. Burlington (MA): Newnes; 2004.
- [5] Vorob'eva GS, Seleznev AI. *Microprocessor interfaces: tutorial*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2008 (In Russ.)

## Сведения об авторе:

Гусак Дмитрий Вячеславович, аспирант, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 634055, Томск, Академический пр., д. 10/3. ORCID: 0000-0001-9606-1868, eLIBRARY SPIN-код: 3405-3890. E-mail: vydigus@mail.ru

## Bio note:

Dmitrii V. Gusak, Postgraduate Student, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Russian Academy of Sciences, 10/3 Akademichesky ave., Tomsk, 634055, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9606-1868, eLIBRARY SPIN-code: 3405-3890. E-mail: vydigus@mail.ru