


Приборы медицинского назначения, контроля среды, веществ, материалов и изделий

УДК 681.2


Оригинальная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2020-23-3-93-99>

## Аппаратное обеспечение системы для экологической диагностики загрязнения атмосферного воздуха

В. А. Рыбак , О. П. Рябычина

Белорусская государственная академия связи,  
Минск, Республика Беларусь

 6774338@tut.by

### Аннотация

**Введение.** Показана существующая научно-техническая проблема, заключающаяся в том, что, с одной стороны, в соответствии с законодательством и международными обязательствами (например, а рамках Орхусской конвенции) население может запрашивать данные об актуальном состоянии окружающей среды, а с другой – существующие на сегодняшний день системы мониторинга не в состоянии своевременно обеспечить их предоставление. Приведены результаты исследований по выбору и обоснованию датчиков загрязненности атмосферного воздуха, давления, температуры и влажности.

**Цель работы.** Главная цель проведения описанных исследований – разработка аппаратного обеспечения экологического мониторинга загрязненности атмосферного воздуха и его апробация при выборе оптимального безопасного маршрута движения людей.

**Материалы и методы.** Для передачи данных выбран модуль беспроводной связи GSM; для определения местоположения – GPRS. Аппаратное обеспечение системы строится на базе микрокомпьютера Arduino Nano, к которому подключаются указанные датчики. Исследования проведены в г. Минске (Республика Беларусь).

**Результаты.** Разработанное аппаратное обеспечение объединило датчики загрязнения воздуха, влажности, температуры с модулями GSM и GPRS на базе микрокомпьютера, что позволило использовать его как стационарно, так и с беспилотным летательным аппаратом (дроном) и осуществлять мобильный мониторинг.

Передаваемые прибором данные обрабатываются с целью построения карт загрязненности атмосферного воздуха. Для этого на карту наносятся наборы точек, полученные интерполяцией по методу линейных усреднений соседних значений. Значения загрязнения отображаются на карте цветовым кодированием.

**Заключение.** Получаемые таким образом карты могут использоваться, например, для выбора оптимального маршрута движения людей в городе с точки зрения минимизации неблагоприятного воздействия загрязнения на здоровье населения и в чрезвычайных ситуациях техногенных аварий. На момент создания предложенное решение не имеет аналогов.

**Ключевые слова:** экологическая диагностика, мониторинг окружающей среды, датчики загрязненности, аппаратное обеспечение, карты уровня загрязненности

**Для цитирования:** Рыбак В. А., Рябычина О. П. Аппаратное обеспечение системы для экологической диагностики загрязнения атмосферного воздуха // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т. 23, № 3. С. 93–99. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-93-99

---

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 20.03.2020; принята к публикации после рецензирования 13.05.2020; опубликована онлайн 29.06.2020

---



Medical Devices and Devices for Control of the Environment,  
Substances, Materials and Products

Original article

## Hardware System for Environmental Diagnosis of Air Pollution

Victor A. Rybak✉, Olga P. Ryabychina

Belarusian State Academy of Telecommunications  
Minsk, Republic of Belarus

✉ 6774338@tut.by

### Abstract

**Introduction.** The existing scientific and technical problem was shown that, on the one hand, in accordance with legislation and international obligations (for example, under the Aarhus Convention), the population can request data on the current state of the environment, and on the other, monitoring systems existing today unable to timely ensure their provision. The paper presents the results of studies on selection and justification of sensors for air pollution, pressure, temperature and humidity.

**Aim.** The development of hardware for environmental monitoring of atmospheric air pollution and its testing when choosing the optimal safe route for people to move.

**Materials and methods.** For data transmission, the GSM wireless module was selected; to determine the location – GPRS. Hardware system was based on the Arduino Nano microcomputer, to which these sensors were connected. Studies were conducted in Minsk, Republic of Belarus.

**Results.** The developed hardware combined air pollution, humidity, temperature sensors with GSM and GPRS modules was based on a microcomputer, which allowed it to be used both stationary and with an unmanned aerial vehicle (drone), and to carry out mobile monitoring.

The data transmitted by the device were processed in order to build maps of air pollution. For this, sets of points gained by interpolation by the method of linear averaging of neighboring values were plotted on the map. Pollution values were displayed on the map by color coding.

**Conclusion.** The maps thus gained can be used, for example, to select an optimal route for people to move in the city from the point of view of minimizing the adverse effects of pollution on human health and in technological emergencies. At the time of development, the proposed solution has no analogs.

**Keywords:** environmental diagnostics, environmental monitoring, pollution sensors, hardware, maps of pollution levels

**For citation:** Rybak V. A., Ryabychina O. P. Hardware System for Environmental Diagnosis of Air Pollution. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2020, vol. 23, no. 3, pp. 93–99. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-93–99

---

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.

Submitted 20.03.2020; accepted 13.05.2020; published online 29.06.2020

---

**Введение.** На современном этапе развития нашего общества проблемы охраны окружающей среды становятся все более актуальными. Это связано как с глобальными процессами изменения климата на планете, так и с локальными загрязнениями, оказывающими неблагоприятное воздействие на здоровье населения.

Антропоцентрический подход к рассмотрению данной проблемы, когда людей прежде всего интересуют вопросы их жизнеобеспечения, обуславливает необходимость иметь оперативную и точную информацию об экологической обстановке.

Вместе с тем на сегодняшний день и в России, и в Беларуси отсутствуют системы мониторинга, позволяющие получать требуемые данные о загрязненности в режиме реального времени.

На рис. 1, например, приводятся данные некоммерческого проекта the World Air Quality Index (WAQI) [1]. Его целью является донесение информации об опасности загрязнения воздуха до жителей городов и формирование единой всемирной платформы с актуальными данными о загрязнении воздуха. В проекте используются данные с более чем 11 тысяч станций, расположенных

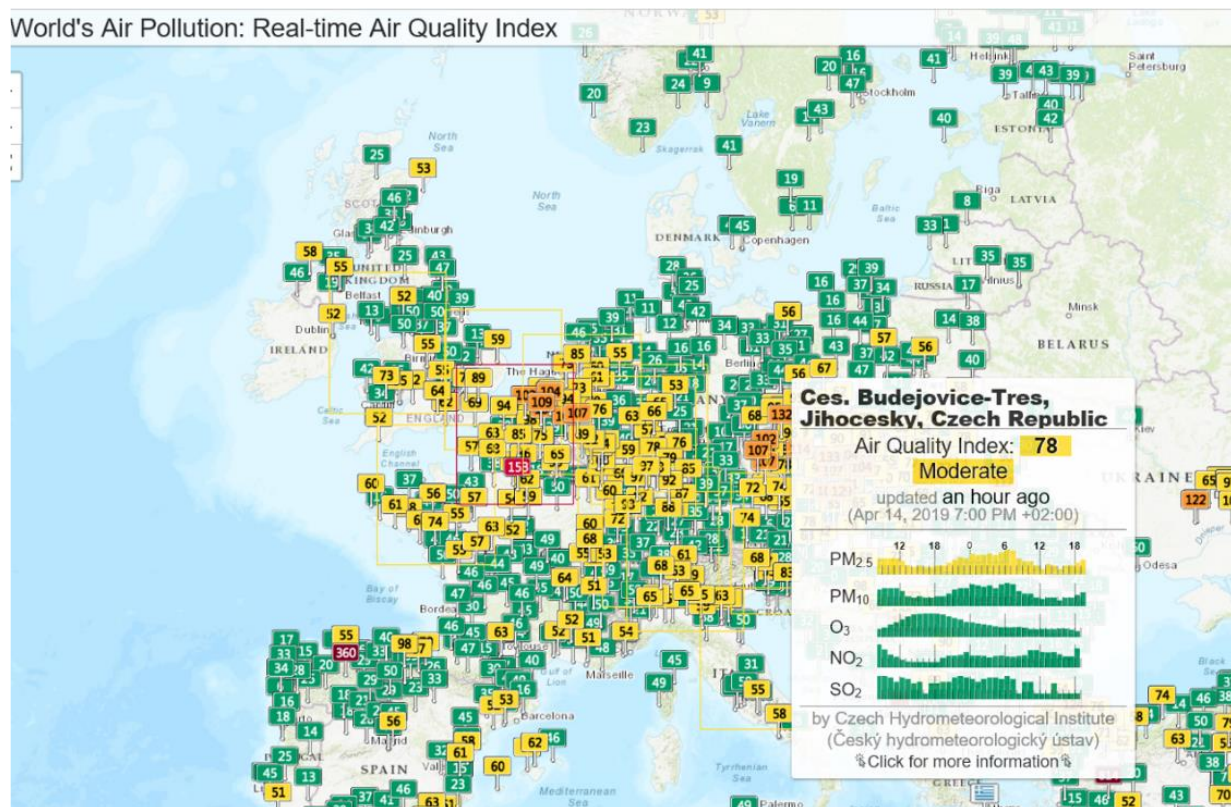


Рис. 1. Сайт проекта WAQI

Fig. 1. WAQI project website

более чем в 88 странах. Данные на сайте представлены в виде индекса загрязнения по конкретным точкам (городам), с периодическим обновлением – в основном раз в час. Собираются данные о загрязнении твердыми частицами – фракциями до 10 и 2.5 мкм (не для всех городов) [2].

Таким образом, существует научно-техническая проблема: с одной стороны, есть необходимость предоставления оперативных данных о загрязненности окружающей среды населению, имеющему право в соответствии с международными конвенциями требовать подобные данные, с другой – нет соответствующих систем и нормативного регулирования. Поэтому в настоящей статье описана разработка аппаратно-программного комплекса (прибора) для экологического мониторинга загрязненности атмосферного воздуха и его апробация при выборе оптимального безопасного маршрута движения людей.

**Методы исследования.** Для обнаружения токсичных газов в окружающей среде используются специальные датчики. На сегодняшний день существует большое количество производителей датчиков токсичных газов и газоаналитического

оборудования. Наиболее известны следующие производители и поставщики датчиков токсичных газов для многих стационарных и переносных газоанализаторов: Nemoto & Co. Ltd (Япония), Alphasense (Великобритания), Membrapor (Швейцария), Dynament (Великобритания), SmartGAS Mikrosensorik (Германия), ООО «Промприбор-Р» (Россия) и др. [3].

В ходе проведенных исследований проанализированы датчики загрязняющих веществ по принципу работы, диапазону измерений, времени отклика, значению перенасыщения датчика и сроку службы [4]. Оценка датчиков загрязняющего вещества оксида углерода представлена в табл. 1.

**Результаты.** Из табл. 1 можно видеть, что значения одних и тех же параметров различны для разных производителей и по каждому из параметров наилучшие значения имеют датчики разных производителей. Предпочтительнее выглядят датчики Hanwei Electronics Co. Ltd со сроком службы более 60 мес., лучшим диапазоном измерений 10...20 ppm и приемлемым временем отклика – меньше 60 с.

Таблица 1. Датчики загрязняющего вещества оксида углерода (CO)  
Table 1. The sensors for the pollutants carbon monoxide (CO)

Принцип работы	Производитель	Название датчика	Диапазон измерений, ppm	Время отклика, не более, с	Значение перенасыщения датчика, ppm
Электрохимический	Membrapor	CO/SF-1000	1000	< 40	2000
		CO/S-1000	1000	< 35	2000
		CO/SF-4000-S	4000	< 40	20 000
	Alphasense	CO-D4	1000	< 25	2000
		CO-CX	2000	< 40	4000
		CO-CE	10 000	< 75	100 000
	Nemoto & Co. Ltd	NT-CO	1000	< 30	2000
		NT-CO-2F	1000	< 30	2000
		NAP-505-SS	1000	< 30	2000
	Hanwei Electronics Co. Ltd	MQ7	10	< 60	10 000
		MQ-9	20	< 60	20 000

Выполненные исследования позволили выявить лучшие датчики для других приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха [5]:

– диоксида углерода – инфракрасные датчики производителя Winsen MH-Z19B со сроком службы более 60 мес., диапазоном измерений 0–0.5 % ppm и временем отклика менее 60 с;

– оксида азота – датчик NO-A1 производства Alphasense со сроком службы более 24 мес., диапазоном измерений 250 ppm и временем отклика менее 45 с;

– диоксида азота – датчик NO<sub>2</sub>-A1 производителя Alphasense со сроком службы более 24 мес., диапазоном измерений 20 ppm, временем отклика менее 50 с;

– диоксида серы – датчик ME3-SO<sub>2</sub> производителя Winsen со сроком службы более 24 мес., диапазоном измерений 20 ppm и временем отклика не более 30 с;

– формальдегида – датчик ME3-CH<sub>2</sub>O производителя Winsen со сроком службы более 24 мес., диапазоном измерений 10 ppm и временем отклика не более 90 с.

Проведем обзор многокомпонентных газоанализаторов мониторинга атмосферного воздуха различных производителей и технических характеристик, рекомендованных для проведения экологических измерений (табл. 2).

Как видно из табл. 2, выпускаемые промышленностью газоанализаторы для определения концентрации вредных веществ в воздухе и проведения экологического мониторинга разнообразны. Прежде всего это связано со спецификой газоаналитической техники и многообразием анализируемых газовых смесей в различных производ-

ствах, разбросом диапазонов концентраций отдельных компонентов, разнообразием условий проведения анализа по температуре, давлению, влажности, скорости потоков газовых смесей.

Представленные в табл. 2 газоанализаторы имеют следующие преимущества:

– большое количество газов, концентрация которых определяется каждым прибором;

– понятный и удобный интерфейс для отображения информации;

– крепкий корпус устройства, что позволяет ему сохранять работоспособность при внешней деформации.

Однако помимо преимуществ указанные устройства имеют значительные недостатки:

– отсутствие возможности хранения измеренных результатов;

– система исчисления концентрации газов не соотнесена с нормами предельно допустимой концентрации, что затрудняет анализ полученных данных;

– нет возможности подключения к персональному компьютеру для анализа, хранения и отображения полученных данных;

– дороговизна оборудования.

В целом основными показателями для выбора датчика, наиболее пригодного к использованию в городской среде с целью постоянного мониторинга степени загрязнения воздуха, являются возможность комплексного исследования загрязнения атмосферного воздуха, срок службы и доступность сервисного обслуживания датчиков.

При выборе платформы для разработки аппаратной части системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха основными факторами слу-

Таблица 2. Обзор газоанализаторов для атмосферного мониторинга

Table 2. Overview of gas analyzers for atmospheric monitoring

Принцип работы	Производитель	Название газоанализатора	Целевой газ	Ориентировочная стоимость, р.	Срок службы, мес.
Электрохимический	Winsen, Китай	ZE12	CO, H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	450	12
	ООО "Промприбор-Р", РФ	СИГМА-03.ДЭ	CO, CH <sub>2</sub> O, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	1280	12
	ФГУП СПО "Аналит-прибор", РФ	АНКАТ-7631 Микро	CO, Cl <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	560	36
	Winsen, Китай	ZE03	CO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, O <sub>2</sub> и др.	420	12
	АО "ГосНИИхиманалит", РФ	АНТ-3М	CO, H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S и др.	1050	24
Электрохимический и инфракрасный	MRU GmbH, Германия	OPTIMA7	O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub>	3450	24
	MRU GmbH, Германия	VarioPlus Industrial	O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub>	11500	24
	Ecotech, Австралия	Серия Serinus 55	O <sub>3</sub> ; CO; CO <sub>2</sub> ; NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , TRS, TS и HC	4790	24
Электрохимический	ФАРМЭК, РБ	ФП34	CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	508	120
	Testo, Германия	Testo 350	CO, NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> и H <sub>2</sub> S	4487	72

жат стоимость платы (микрокомпьютера), ее комплектация и удобство разработки. На основании проанализированных данных оптимальной платформой является Arduino Nano [6]. Микроконтроллер Arduino Nano обладает собственным процессором и памятью, снабжен множеством вводов и выводов, к которым могут быть подключены различные датчики, а также исполнительные устройства и механизмы. Важно отметить, что выбранная платформа адаптивна к различным модулям, расширяющим ее возможности в соответствии с необходимыми требованиями [7].

Кроме рассмотренных ранее датчиков загрязненности атмосферного воздуха в систему также подключены датчики давления, температуры и влажности. Передача данных от разработанного прибора осуществляется посредством четырехдиапазонного GSM/GPRS-модуля Shield. Для отслеживания местоположения и отображения данных на карте использован GPS-приемник GY-NEO6MV2.

Работа аппаратно-программного комплекса описывается следующими основными шагами: вылет беспилотного летательного аппарата по траектории, включающей наиболее загрязненные (или ожидаемые) точки; сбор данных от датчиков и передача сигнала по каналам связи на сервер;

обработка данных и построение карт загрязненности; создание прогнозных карт с учетом силы и направления ветра.

Созданный прибор может устанавливаться как стационарно, так и перемещаться при помощи беспилотных летательных аппаратов. Во втором случае получается возможность мобильной экологической диагностики на обширных территориях. Получаемые от датчиков данные о загрязненности атмосферного воздуха переводятся в интегральный показатель загрязнения воздуха, интерполируются по принципу линейного сглаживания и наносятся на карту (рис. 2).

Получаемые таким образом данные отличаются оперативностью, а построенные карты могут быть использованы в том числе для нахождения наиболее оптимального маршрута движения людей с точки зрения минимизации неблагоприятного воздействия окружающей среды [8].

**Заключение.** В результате проведенного исследования получены следующие основные результаты:

1. Проведен аналитический обзор и осуществлен выбор датчиков для экологической диагностики загрязнения атмосферного воздуха.



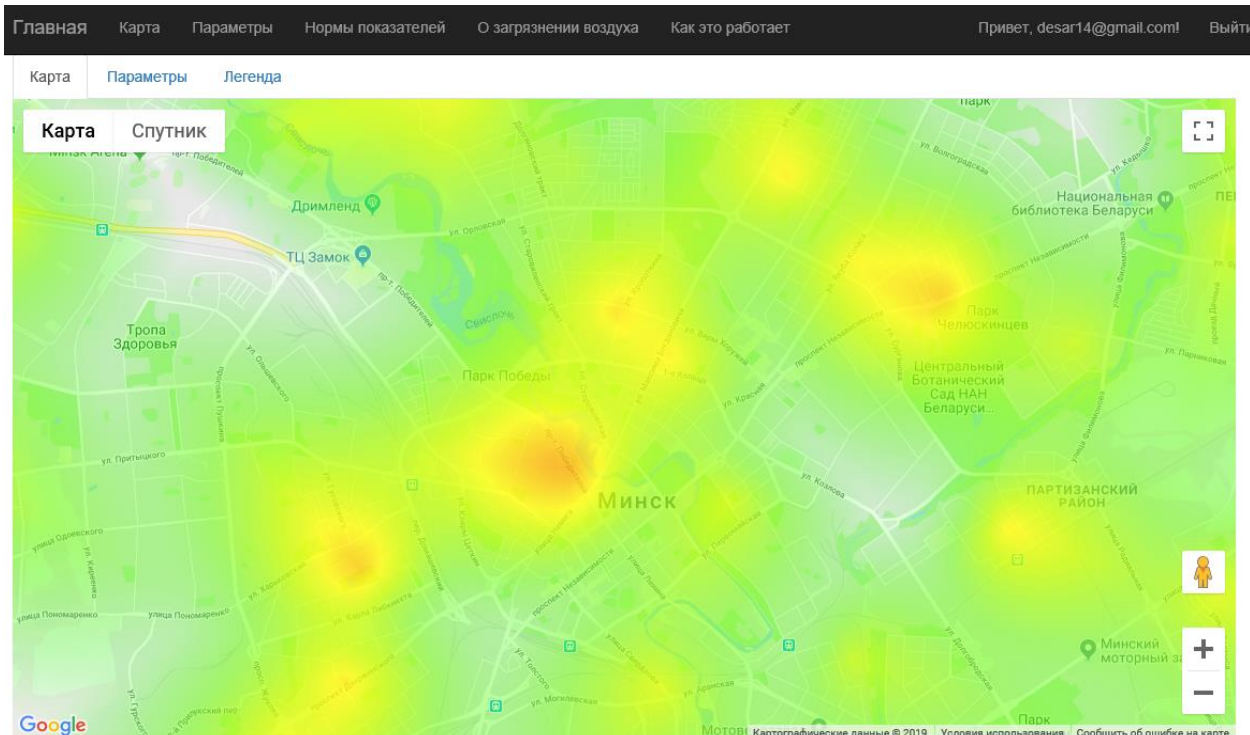


Рис. 2. Пример построения карты загрязненности воздуха на примере Минска

Fig. 2. An example of building of air pollution map on the example of Minsk

2. Выполнен выбор микрокомпьютера и осуществлена разработка на его основе прибора мобильной экологической диагностики [9].

3. Разработано программное обеспечение для построения карт загрязненности атмосферного воздуха в режиме реального времени.

4. Предложена и программно реализована модель прогнозирования загрязнения атмо-

сферного воздуха с учетом силы и направления ветра.

5. Разработанный аппаратно-программный комплекс апробирован в реальных городских условиях для выбора оптимального маршрута движения людей с учетом неблагоприятного воздействия загрязнения на их здоровье [10].

## Список литературы

1. Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map. URL: <https://aqicn.org/map/world> (дата обращения 19.02.2018)
2. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты и перспективы / В. И. Ключенович, М. Г. Герменчук, А. В. Бобко, М. А. Ереско, С. И. Кузьмин. Минск: "Бел НИЦ «Экология»", 2013. 36 с.
3. Афанасьев Д. С., Бардакова Е. А., Быстрыков Д. С. Аналитический обзор датчиков летучих веществ для интернета вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4, № 4. С. 1–12.
4. Датчики газов. URL: <http://gas-sensor.ru/> (дата обращения 19.02.2018)
5. Газовые датчики и сенсоры. URL: <http://www.gassensor.ru/ru/sensors> (дата обращения 19.02.2018)
6. Arduino Nano. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> (дата обращения 19.02.2018)

7. Радиационно-экологический мониторинг / Государственное учреждение "Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды" Минприроды Республики Беларусь. URL: <http://rad.org.by/> (дата обращения 23.03.2018)

8. Быстрыков Д. С., Ипатов О. С., Колбанев М. О. Система аромобезопасности // Технологии информационно-экономической безопасности: сб. ст. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016. С. 31–36.

9. Рыбак В. А., Рябычина О. П. Обзор методов и средств мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. 2018. № 4. С. 76–83.

10. Пат. ВУ 12070 У. МПК G01W 1/02 (2006.01). Погодная станция для мониторинга состояния автомобильных дорог: пат. на полезную модель / О. П. Рябычина, В. А. Рыбак, Амро Рабиа; опубл. 31.08.2019.

## Информация об авторах

**Рыбак Виктор Александрович** – кандидат технических наук (2003), доцент (2009), заведующий кафедрой программного обеспечения сетей телекоммуникаций Белорусской государственной академии связи. Автор более 200 научных работ. Сфера научных интересов – применение систем поддержки принятия решений и искусственного интеллекта в социально-экономических системах.

Адрес: Белорусская государственная академия связи, ул. П. Бровки, д. 14-120, Минск, 220013, Республика Беларусь

E-mail: 6774338@tut.by

**Рябычина Ольга Петровна** – магистр технических наук (2016), старший преподаватель Белорусской государственной академии связи. Автор 25 научных работ. Сфера научных интересов – аппаратное и программное обеспечение систем экологического мониторинга и поддержки принятия решений.

Адрес: Белорусская государственная академия связи, ул. П. Бровки, д. 14-120, Минск, 220013, Республика Беларусь

E-mail: olechkach@tut.by

---

## References

1. Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map. Available at: <https://aqicn.org/map/world> (accessed 19.02.2018)
2. Klyu-chenovich V. I., Hermenchuk M. G., Bobko A.V., Yeresko M. A., Kuzmin S. I. National System of Environmental Monitoring of the Republic of Belarus: Results and Prospects. Minsk, Bel nits «Ecology», 2013, 36 p. (In Russ.)
3. Afanasiev D. S., Bardakova E. A., Bystryakov D. S. Analytical review of volatile substance sensors for the Internet of things. Information technologies and telecommunications. 2016, vol. 4, no. 4, pp. 1–12. (In Russ.)
4. The gas sensors. Available at: <http://gas-sensor.ru/> (accessed 19.02.2018)
5. Gas sensors and sensors. Available at: <http://www.gassensor.ru/ru/sensors> (accessed 19.02.2018)
6. Arduino Nano. Available at: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> (accessed 19.02.2018)
7. Radiation and Environmental Monitoring. State Institution "Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental monitoring" of the Ministry of Natural Resources of the Republic of Belarus. Available at: <http://rad.org.by/> (accessed 23.03.2018)
8. Bystryakov D. S., Ipatov O. S., Kolbanov M. O. System of Air Safety. Technologies of Information and Economic Security: SB. SPb., *SPbGGEU*, 2016, pp. 16–22. (In Russ.)
9. Rybak V. A., Ryabychina O. P. Review of Methods and Means for Monitoring Atmospheric Air Pollution. Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences. 2018, no. 04, pp. 76–83. (In Russ.)
10. Ryabikin O. P., Rybak V. A., Amro Rabia Weather Station for Monitoring the State of Highways: Pat. for utility model. Pat. RU BY 12070 U. IPC G01W 1/02 (2006.01). Publ. 31.08.2019. (In Russ.)

## Information about the Authors

**Viktor A. Rybak**, Cand. Sci. (Eng.) (2003), Associate Professor (2009), Head of the Department of Software for Telecommunications Networks of the Belarusian State Academy of Communications. The number of printed works is more than 200, including 13 monographs. His research interests include the application of decision support systems and artificial intelligence in socio-economic systems.

Address: Belarusian State Academy of Communications, 14-120 P. Brovki St., Minsk 220013, Republic of Belarus

E-mail: 6774338@tut.by

**Olga P. Ryabychina**, Master. Sci. (Eng.) (2016), Senior lecturer of the Belarusian State Academy of Telecommunications. The number of printed works is 25, including 3 patents. His research interests include hardware and software for environmental monitoring and decision support systems.

Address: Belarusian State Academy of Communications, 14-120 P. Brovki St., Minsk 220013, Republic of Belarus

E-mail: olechkach@tut.by

---