

УДК 378.147: 004.6

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПОРТАТИВНОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

© 2021 г. Н. В. Ермолаева<sup>1,\*</sup>, В. И. Ратушный<sup>1,\*\*</sup>, Д. А. Севастьянов<sup>1,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, Ростовская обл., 347360, Россия

\*e-mail: NVErmolayeva@mephi.ru

\*\*e-mail: viratush@mail.ru

\*\*\*e-mail: dima.nuclear@gmail.com

Поступила в редакцию 26.08.2021 г.

После доработки 07.09.2021 г.

Принята к публикации 07.09.2021 г.

В настоящей работе представлен программно-аппаратный комплекс для измерения концентрации газов, включающий в себя следующие компоненты: физический прототип газоанализатора, сопряженного со смартфоном, программное обеспечение для прототипа и для смартфона с ОС Android, сайт, базу данных, скрипты для обмена информацией между компонентами комплекса. Также описан принцип работы сервера для расширения онлайн функционала газоанализатора, измеряющего концентрацию нескольких газов (метан, пропан, бутан, угарный газ, водород). Газоанализатор сопряжен со смартфоном с ОС Android. Смартфон используется для отображения информации, управления режимами вывода информации на экран, определения местоположения пользователя газоанализатора, пересылки оперативной информации на удаленный сервер. Сервер развернут на компьютере RaspberryPiB+, операционной системой выступает FreeBSD, используемая база данных –MySQL. Сервер предназначен для хранения результатов газовых замеров, координат места, где были сделаны замеры. Также разработан сайт, на котором пользователь может просмотреть показатели замеров в виде графиков. Разработанный комплекс позволит осуществлять постоянный мониторинг за концентрацией потенциально опасных веществ, кроме того, в случае нештатной ситуации комплекс позволит оперативно среагировать на возможную чрезвычайную ситуацию.

*Ключевые слова:* портативный газоанализатор, смартфон, микроконтроллер, обнаружение и контроль газов, метан, пропан, угарный газ, водород, удаленный сервер

DOI: 10.1134/S2304487X21040039

### ВВЕДЕНИЕ

Для измерения концентрации вредных веществ в воздухе промышленных предприятий и промышленных территорий, а также для выявления утечки газов широко используют газоанализаторы. Данный тип оборудования может взаимодействовать с системой управления, поэтому процесс утечки может быть оперативно обнаружен, а при наличии автоматического управления и оперативно ликвидирован.

В настоящей работе разработан аппаратно-программный комплекс для измерения концентрации нескольких газов в воздухе. В комплекс входит три аппаратных компонента: прототип газоанализатора, смартфон (в рамках данной работы было разработано программное обеспечение для смартфона), сервер. Вышеуказанные компоненты образуют единую систему. Газоанализатор передает данные об измерениях концентрации газов на смартфон, который визуализирует ин-

формацию в виде графика пользователю. После чего, смартфон автоматически передает данные по интернету на сервер. Сервер выступает в качестве хранилища информации, к которому можно периодически обращаться. Кроме того, на сервере кроме базы данных развернут сайт, который позволяет оперативно отслеживать концентрацию газов удаленно. То есть, с помощью этой системы можно следить за данными, независимо от местоположения персонала, который проводит измерения.

Новизна представляемой разработки состоит в наличие интернет-составляющей. Портативные газоанализаторы работают только в режиме офлайн, то есть эти газоанализаторы показывают результаты измерений только на собственном информационном дисплее, и об этих данных будет знать только персонал, проводящий измерения. Как правило, при составлении отчетов, эти данные уже будут устаревшие. Кроме того, для вне-сения данных в журнал также требуется время.

В рассматриваемой разработке эта проблема решается введением в эксплуатацию базы данных, которая принимает данные от газоанализатора, и хранит их в себе.

Практическую ценность имеет возможность автоматического внесения большого объёма данных в базу данных, что уменьшает трудозатраты за ведением отчётности. Кроме того, автоматическое внесение данных в информационное хранилище исключает фальсификацию данных, что будет способствовать более высокому уровню безопасности предприятию или бытовой составляющей, в зависимости от того, где будет применена данная разработка.

Представленная работа является актуальной, так как задача создания данного комплекса имеет практическое применение в промышленных и бытовых целях.

### 1. АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО КОМПЛЕКСА

Ранее мы сообщали о разработке физического прототипа универсального устройства – газоанализатора для измерения концентрации нескольких газов (метан, пропан, бутан, угарный газ, водород), который может работать в режиме онлайн и разработке программного обеспечения (ПО) для смартфона с ОС Android с целью выполнения функции визуализации и менеджмента данных, получаемых от газоанализатора [1–5].

Физический прототип устройства изготовлен на основе микроконтроллера Atmega 168. Питание устройства осуществляется от аккумуляторных батарей типа 18650 (168А) [3]. В состав устройства входят следующие аппаратные средства [3, 5]:

- 1) смартфон;
- 2) микроконтроллер Atmega 168 в связке с датчиками измеряемых величин (для измерения температуры и влажности воздуха к микроконтроллеру подключается датчик ДНТ-22, для измерения концентрации газов используются датчики серии MQ [2];
- 3) модуль связи микроконтроллера со смартфоном HC-06;
- 4) контроллер заряда аккумуляторов.

Все газовые датчики работают одновременно в режиме диффузионного отбора пробы газа.

Для реализации функционала с передачей данных через интернет было разработано необходимое программное обеспечение [4]. Для разработки программы использовался фреймворк Android Studio. Разработка велась на ОС Manjaro (дистрибутив на ядре Linux с компонентами GNU, основан на ветке Arch Linux).

Требования программы для инсталляции на смартфоне:

– Android OS версии не ниже 8 (Android Oreo). Рекомендовано устанавливать на Android OS 10 (Android Q);

– устройство должно иметь Bluetooth версии не ниже 4.0.

В настоящий момент приложение имеет следующий функционал:

– возможен выбор устройств для подключения по Bluetooth из меню программы;

– имеется возможность подключения по Bluetooth к Bluetooth модулям типа HC-06, HC-05;

– возможно переключение датчиков;

– присутствует визуализация данных, поступающих с устройства – отображение графика;

– производится отправка данных на сервер.

Отправка данных на сервер осуществляется с помощью библиотеки HttpURLConnection.

### 2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ

Сервер сбора данных должен обладать всеми необходимыми возможностями без опасности удаления провайдером услуг хостинга. Поэтому было принято решение развернуть его самостоятельно на базе персонального компьютера.

Для подключения с внешней сети к сайту требуется статический IP адрес, но за эту услугу следует проводить ежемесячную оплату. Поэтому были использованы услуги ddns от сервиса No-IP. Сервис позволяет использовать домен, зарегистрированный на сайте No-IP, и при подключении домашнего маршрутизатора, ip временно привязывается к домену. Этот способ бесплатный и требует повторной активации раз в 30 дней. Обязательное условие – это наличие маршрутизатора, который обладает функцией подключения к сервисам No-IP.

После подключения из внешней сети к маршрутизатору, последний перенаправляет запрос на серверный компьютер, расположенный во внутренней сети.

Выбор операционной системы Fedora 33 Server в качестве серверной ОС обусловлен стабильностью системы. Кроме того, это ответвление от ОС Red Hat Enterprise Linux, которая считается распространённой серверной ОС в серверном сегменте.

Стоит отметить то, что сервер является полностью автономным в силу того, что его состояние контролирует прибор удалённого управления на Arduino [4]. Устройство позволяет автоматически запускать серверный ПК из любой точки мира. Возможность присоединения по одному IP адресу к разным устройствам был реализован благода-

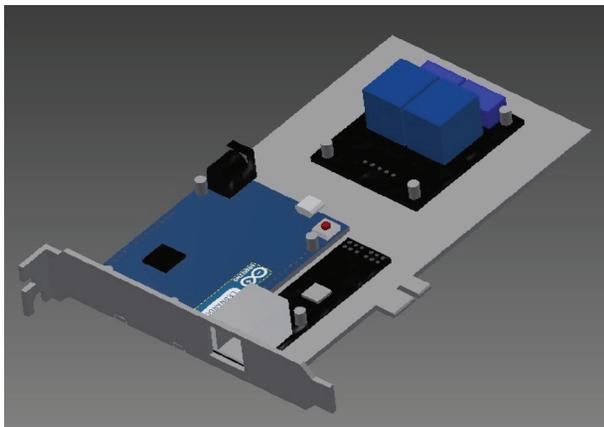


Рис. 1. 3D модель модуля управления питанием сервера.

ря возможности подключением по разным портам TCP. Присваивание различных портов различным устройствам внутри локальной сети осуществляется благодаря домашнему маршрутизатору. Сам модуль управления питанием сервера изображен на рисунке 1.

В модуль входят плата Arduino Leonardo, W5500 LAN модуль, модуль реле. Модуль работает независимо от состояния ПК.

Сайт управления питанием сервера показан на рисунке 2.

Серверный комплекс был развернут на двух персональных компьютерах. На одном ПК была установлена база данных, второй ПК использовался для работы сайта.

Персональные компьютеры, задействованные в работе:

- ПК с процессором x86 AMD Sempron 2800+, 2 Гб RAM (далее – ПК с x86);
- одноплатный ПК Raspberry Pi 3B+, с процессором ARM Broadcom BCM2837, 1Гб RAM (далее – ПК с ARM).

В качестве ПО для базы данных была выбрана MySQL, так как данная база кроссплатформенная, а также распространяется по лицензии GNU GPL2.

Приём данных и добавление данных в БД осуществляется с помощью скрипта, написанным на языке PHP. Кроме того, на PHP также написан скрипт чтения данных с БД для дальнейшей передачи данных на сайт. Для чтения и записи данных был использован механизм Ajax. Со смартфона данные приходят в виде GET запросов. PHP скрипт на сайт отправляет данные в виде Json.

Обработка данных, а также их визуализация работает под управлением сторонней JavaScript библиотеки AnyChart.

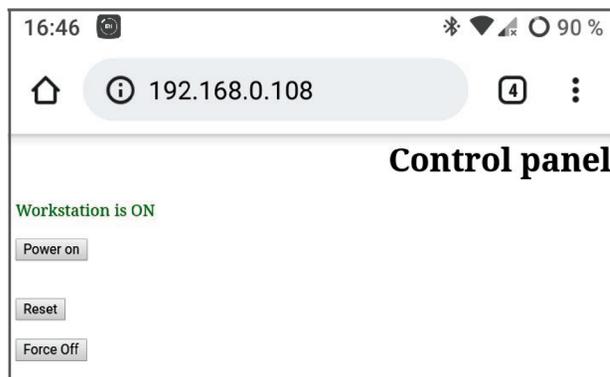


Рис. 2. Панель управления питанием сервера.

Хостинг сайта был развёрнут на базе ПО Apache с использованием инструмента phpMyAdmin. Сайт был разработан с помощью языков HTML, CSS, JavaScript.

Диаграмма последовательностей работы серверной части представлена на рисунке 3.

Последовательность работы всей системе отражена на рисунке 4.

Под наблюдающей стороной понимается любой независимый наблюдатель или руководство, который зашёл на сайт для просмотра данных об измерении контролируемых газов. Данные на сайте могут отображаться в режиме реального времени, также можно просмотреть архивные данные.

Связь микроконтроллера со смартфоном осуществляется по беспроводному каналу Bluetooth через модуль связи HC-06. При этом на смартфоне должна быть установлена программа Bluetooth terminal.

Важной особенностью предлагаемого устройства является возможность настраивать и программировать пороги срабатывания устройства, а также наличие памяти для записи результатов, времени и даты замеров.

Предлагаемый нами программно-аппаратный комплекс портативного многокомпонентного газоанализатора может использоваться для обеспечения безопасности работ, для контроля технологических процессов на предприятиях лакокрасочной, химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, на предприятиях, связанных с хранением и транспортировкой нефти и нефтепродуктов. Следует отметить, что такие газоанализаторы незаменимы в промышленности, где необходимо непрерывно контролировать технологический процесс в режиме реального времени.

Область применения предлагаемого устройства – измерение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, в замкнутых помещениях

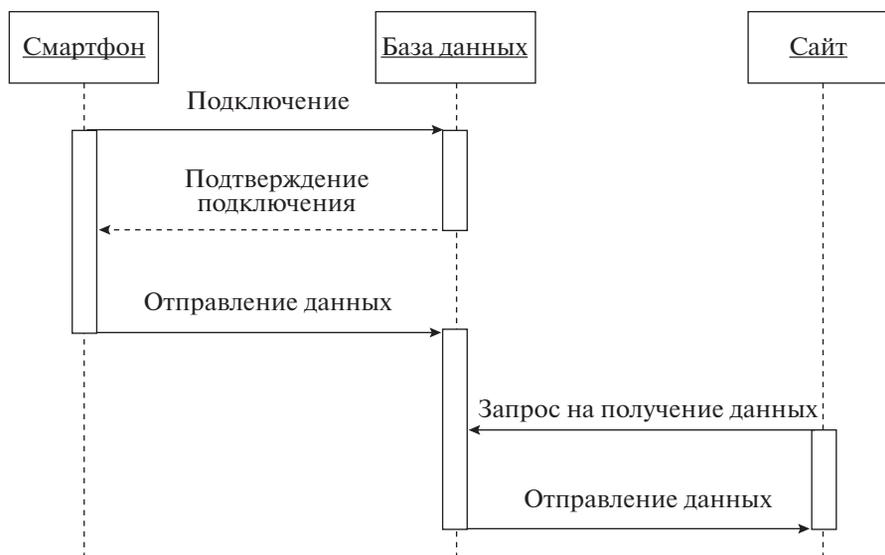


Рис. 3. Диаграмма последовательностей работы серверной стороны.

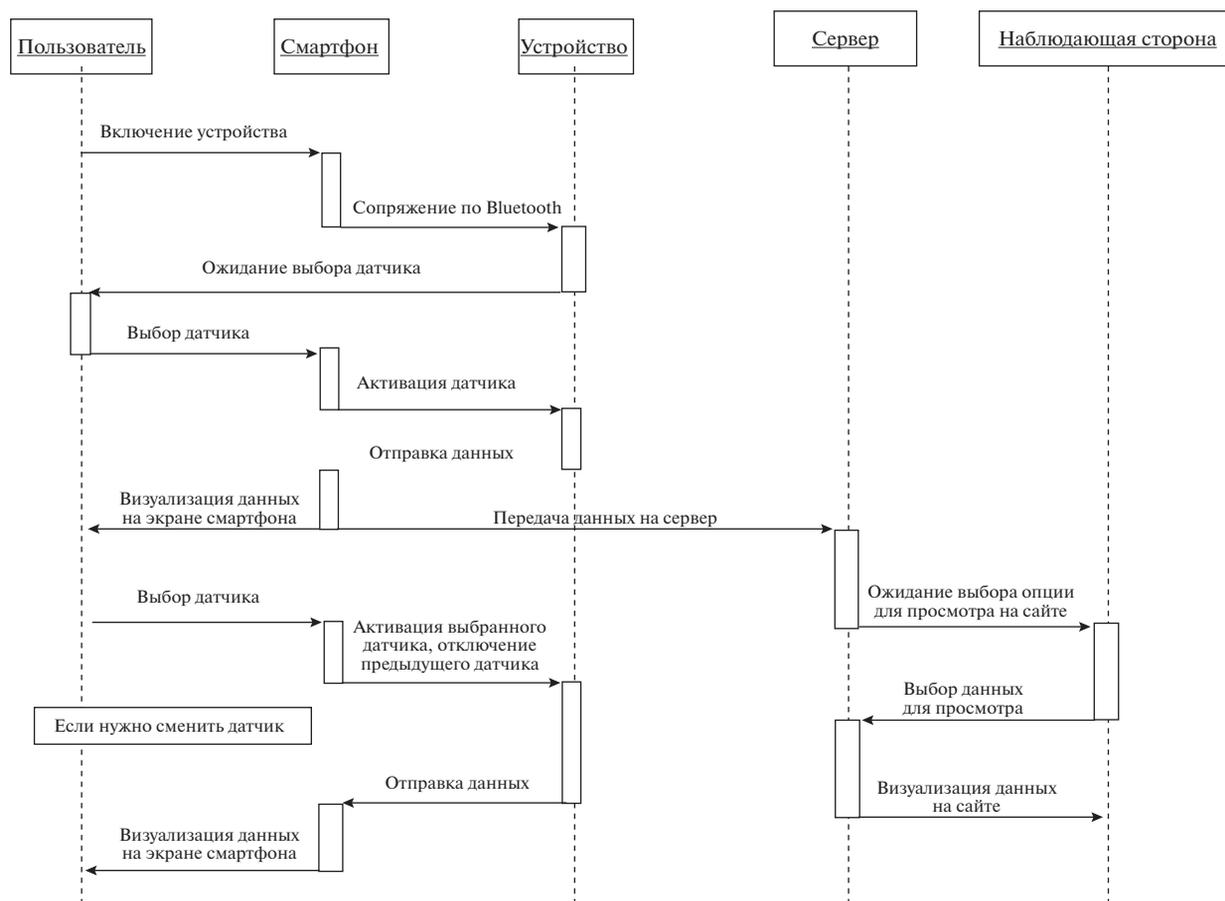


Рис. 4. Диаграмма последовательностей работы системы.

(тоннелях, колодцах, дымоходах, трубопроводах и т.д.), при контроле вентиляционных выбросов; при аварийных ситуациях; поиск утечек в технологическом оборудовании и трубопроводах.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс портативного многокомпонентного газо-

анализатора позволяет обнаруживать и контролировать концентрации нескольких газов (метан, пропан, бутан, угарный газ, водород). Он надёжный, удобный в работе, имеет такие дополнительные функции, как встроенная память, беспроводной интерфейс для передачи данных на ПК, статистическая обработка результатов, отправление данных о превышении концентрации газа – через смс-сообщение (с одного мобильного устройства на другое, используя специальное приложение, Bluetooth). Данные от газоанализатора передаются на сервер.

Сервер выступает в качестве хранилища информации, к которому можно периодически обращаться. Кроме того, на сервере кроме базы данных развёрнут сайт, который позволяет оперативно отслеживать концентрацию газов удалённо.

Программно-аппаратный комплекс может использоваться для обеспечения безопасности работ, для контроля технологических процессов.

Следует отметить, что такие газоанализаторы незаменимы в промышленности, где необходимо непрерывно получать информацию о выбросах или контролировать технологический процесс в режиме реального времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермолаева Н.В., Севастьянов Д.А.* Портативный газоанализатор на основе смартфона // Тенденции развития науки и образования: сб. науч. тр. по материалам XIX междунар. науч. конф. Самара, 2016. Ч. 3. С. 12–13.
2. *Ермолаева Н.В., Севастьянов Д.А.* Устройство регистрации углеводородных газов на основе смартфона // Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: материалы 18-й Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. Новочеркасск, 2017. С. 132–137.
3. *Ермолаева Н.В., Ратушный В.И., Севастьянов Д.А.* Мобильное устройство для обнаружения и контроля горючих и токсичных газов // Вестник национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, 2018. Т. 7. № 1. С. 75–79.
4. *Севастьянов Д.А., Ермолаева Н.В., Рыбальченко А.Ю., Ратушный В.И.* Разработка газоанализатора с программным обеспечением для смартфона с ОС ANDROID // Студенческая научная весна – 2020: сборник тезисов и статей ежегодной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. С. 64–67.
5. *Ермолаева Н.В., Ратушный В.И., Севастьянов Д.А.* Портативный многокомпонентный газоанализатор, совместимый со смартфоном на ОС Android // Вестник национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, 2020. Т. 9. № 5. С. 455–459.

---

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta “MIFI”, 2021, vol. 10, no. 4, pp. 375–380

---

## Development of a Software and Hardware Complex for a Portable Multicomponent Gas Analyzer

N. V. Ermolaeva<sup>a,#</sup>, V. I. Ratushnyi<sup>a,##</sup>, and D. A. Sevastyanov<sup>a,###</sup>

<sup>a</sup> *Volgodonsk Engineering Technical Institute, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Volgodonsk, Rostovskaya oblast, 347360 Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: NVermolayeva@mephi.ru*

<sup>##</sup>*e-mail: viratush@mail.ru*

<sup>###</sup>*e-mail: dima.nuclear@gmail.com*

Received August 26, 2021; revised September 7, 2021; accepted September 7, 2021

**Abstract**—A software and hardware complex for measuring the concentration of gases is presented. It includes a physical prototype of a gas analyzer paired with a smartphone, software for the prototype and for the smartphone with Android OS, a website, a database, and scripts for exchanging information between the components of the complex. The principle of operation of the server for expanding the online functionality of the gas analyzer that measures the concentration of several gases (methane, propane, butane, carbon monoxide, hydrogen) is also described. The gas analyzer is paired with the Android smartphone. The smartphone is used to display information, to control the modes of displaying information on the screen, to determine the location of the user of the gas analyzer, and to send operational information to a remote server. The server is deployed on a RaspberryPiB+ computer with the FreeBSD operating system and the MySQL database. The server is designed to store the results of gas measurements and the coordinates of the place where the measurements were made. A website has also been developed where the user can view the measurement indicators in

the form of graphs. The developed complex will allow the constant monitoring of the concentration of potentially dangerous substances. In addition, the complex will allow one to quickly respond to a possible emergency situation.

*Keywords:* portable gas analyzer, smartphone, microcontroller, gas detection and control, methane, propane, carbon monoxide, hydrogen, remote server

DOI: 10.1134/S2304487X21040039

## REFERENCES

1. Ermolaeva N.V., Sevastyanov D.A. Portativnyy gazoanalizator na osnove smartfona. [Portable gas analyzer based on a smartphone]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya: sb. nauch. tr. po materialam XIX mezhdunar. nauch. konf.* [Trends in the development of science and education: collection of scientific Tr. based on the materials of the XIX international. scientific conference]. Samara, 2016, vol. 3, pp. 12–13. (in Russian)
2. Ermolaeva N.V., Sevastyanov D.A. Ustroystvo registratsii uglevodorodnykh gazov na osnove smartfona. [Device for registering hydrocarbon gases based on a smartphone]. *Fundamentalnyye osnovy. teoriya. metody i sredstva izmereniy. kontrolya i diagnostiki: materialy 18-y Mezhdunar. molodezh. nauch.-prakt. konf.* [Fundamentals, theory, methods and means of measurement, control and diagnostics: materials of the 18th international conference the first one. scientific-practical conference]. Novocherkassk, 2017, pp. 132–137. (in Russian)
3. Ermolaeva N.V., Ratushny V.I., Sevastyanov D.A. Mobilnoye ustroystvo dlya obnaruzheniya i kontrolya goryuchikh i toksichnykh gazov. [Mobile device for detection and control of combustible and toxic gases]. *Vestnik NIYaU MIFI*, 2018, vol. 7, no. 1, pp. 75–79. (in Russian)
4. Sevastyanov D.A., Ermolaeva N.V., Rybalchenko A.Yu., Ratushny V.I. Razrabotka gazoanalizatora s programmnyy obespecheniyem dlya smartfona s OS ANDROID. [Development of a gas analyzer with software for an ANDROID smartphone]. *Studencheskaya nauchnaya vesna – 2020: sbornik tezisov i statey ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov. aspirantov i molodykh uchenykh.* [Student scientific spring-2020: collection of abstracts and articles of the annual scientific and practical conference of students, post-graduates and young scientists]. Volgodonsk: VITI NIYaU MEPhI, 2020, pp. 64–67. (in Russian)
5. Ermolaeva N.V., Ratushny V.I., Sevastyanov D.A. Portativnyj mnogokomponentnyj gazoanalizator, sovmestimyj so smartfonom na OS Android. [Portable multi-component gas analyzer, compatible with an Android smartphone], *Vestnik NIYaU MIFI*, 2020, vol. 9, no. 5, pp. 455–459. (in Russian)