

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2022)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/WRIX7218>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/RMTZ9769>

***А. Б. Кадыржан**

Алматынський университет энергетикi и связи имени Гумарбека Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы

РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА Г. АЛМАТЫ

Тема загрязнения воздуха, особенно с точки зрения твердых частиц (взвешенные вещества), является очень серьезной проблемой в современном обществе. Эта проблема вызвана такими факторами, как лесные пожары, строительство, индустриализация и постоянно увеличивающееся количество автомобилей. Таким образом, PM_{2,5} стал важным фактором риска для жителей города Алматы, а также во всем мире не только с точки зрения проблем, связанных с риском для здоровья, но и негативного влияния на имидж страны. Целью этой работы является разработка беспилотного летательного аппарата, оснащенного датчиками газа для мониторинга и сбора данных о качестве воздуха в режиме реального времени. Предлагаемый беспилотный летательный аппарат имеет возможность измерения концентрации следующих видов газа в составе воздуха: монооксида углерода (CO), озона (O₃), диоксида азота (NO₂), нитрида водорода (NH₃), PM и диоксида серы (SO₂). Кроме того, собранные данные передаются на сервер по беспроводному соединению в двух этапах (по радиочастотному каналу от передатчика к приемнику, даже с приемника на смартфон по беспроводному сети Bluetooth Low Energy на смартфон).

Ключевые слова: загрязнение воздуха, беспилотный летательный аппарат, экологический мониторинг, контроль качества воздуха, датчики газа.

Введение

Дроны, также называемые беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), разрабатывались со времен Первой мировой войны. Дрон Curtiss N2C-2 был разработан в 1937 году ВМС США. В 1941 году Реджинальд Денни запустил

радиоуправляемый самолет ОQ-2 как первый серийный беспилотник, который будет использоваться в армии. С тех пор беспилотные летательные аппараты или БПЛА нашли применение в различных военных целях. Сегодня БПЛА разрабатываются для доставки грузов, съемки спортивных матчей с воздуха и для многих других целей [1, 6, 7].

Измерение качества воздуха важно для обеспечения того, чтобы широкая общественность, правительственные учреждения и любые заинтересованные стороны знали о состоянии загрязнения. Это также важно для подсказки необходимых мер предосторожности для обеспечения безопасности населения. Согласно отчету Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 7 миллионов человек ежегодно умирают по причинам, связанным с загрязнением воздуха. Загрязнение воздуха в городах стало серьезной экологической проблемой во многих азиатских странах из-за их быстрого промышленного развития, урбанизации и автомобилизации. Загрязнение твердыми частицами (PM), такими как PM_{2,5}, вызывает озабоченность из-за их воздействия на здоровье и изменение климата. Казахстан - государство с добывающей и перерабатывающей промышленностью, темпы развития которых неуклонно растут. В эксплуатацию вводятся крупные промышленные объекты, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду и ухудшают экологию Казахстана в целом [2]. Среди загрязняющих веществ атмосферного воздуха наибольшим отрицательным воздействием на здоровье обладают взвешенные вещества или твердые частицы. Алматы является примером развивающегося азиатского мегаполиса, имеющего проблему загрязнения твердыми частицами. По проведенному анализу заболеваемости населения города Алматы болезнями органов дыхания и уровня загрязнения воздуха твердыми частицами за период 2013–2017 гг. установлен рост первичной заболеваемости населения города Алматы болезнями органов дыхания, наибольшее число случаев по всем возрастным группам приходится на острый бронхит [3].

Цель данной работы – создать систему, которая поможет исследователям окружающей среды и другим сторонам, заинтересованным в мониторинге качества воздуха. Кроме того, он должен предоставить исследователям необходимые инструменты для визуализации и анализа собранных данных с помощью удобных интерфейсов. Система будет собирать и передавать данные о качестве воздуха в режиме реального времени и обеспечивать прямую трансляцию в центр управления. Целью данного исследования является разработка беспилотного квадрокоптера, оснащенного датчиками качества воздуха, которые позволят ему собирать данные и передавать их, а также предоставить простую и удобную платформу для наблюдения и визуализации всех собранных данных измерения. В этой статье мы предлагаем беспилотный

летательный аппарат в виде дрона для мониторинга загрязнения воздуха в режиме реального времени.

Первая работа по разработке беспилотного летательного аппарата, способного к удаленному обнаружению газа, была проведена России и Брунелли [4, 8]. Целью их исследования является использование беспилотных летательных аппаратов в качестве инструмента для определения качества воздуха.

Концепция представляет собой беспилотный летательный аппарат с неподвижным крылом, дистанционно управляемый с помощью радиоконтроллера. Использовался БПЛА Green Falcon Kit с размахом крыльев 2,52 м и полезной нагрузкой 3 кг. Время полета 1 час было достигнуто за счет установки батареи большой емкости и интеграции солнечных элементов для повышения энергоэффективности. Используемые датчики имели точность $\pm 0,26$ ppm. Программное обеспечение автопилота Ardupilot Mega 2.5 было установлено в контроллере полета в режиме автопилота (APM). Ardupilot Mega поддерживает траектории полета, установленные до взлета, а затем может отслеживать маршрут автономно, обеспечивая ручное управление в чрезвычайных ситуациях, благодаря чему можно принудительно использовать ручное управление. О сборе данных с помощью квадрокоптера первоначально сообщили Вилла и др. [5]. Они использовали пользовательскую систему измерения для мониторинга качества воздуха и загрязнения воздуха. Квадрокоптер является основным ядром их системы и оснащен датчиками для обнаружения газов, например, O_2 и CO_2 , по вертикали и горизонтали, а также давления, температуры и влажности. Общий вес составляет 1,4 кг, включая первоначальный вес квадрокоптера. Наземная станция управляется человеком-контроллером, а квадрокоптер обменивается данными по беспроводной связи через канал 433 МГц. Установка питалась от батареи 5 Ач 12 В, которая обеспечивает время полета 20 минут и максимальную скорость 8 м/с. Установка была протестирована, и данные для CO_2 и O_2 были собраны в разных местах с различным давлением воздуха, чтобы определить характеристики датчиков по отношению к давлению воздуха. Эта система считается быстрой, точной и доступной измерительной системой для мониторинга и измерения уровней CO_2 и O_2 и позволяет экологам быстро собирать и анализировать измеренную информацию.

В данной работе предлагается беспилотный летательный аппарат в виде квадрокоптера, который собирает данные о загрязнении с помощью датчиков качества воздуха. Также в данной работе предлагается концепция устройства которая может быть установлена к любому летательному аппарату для зондирования воздушного бассейна определенной местности. Вместе с тем прорабатывается концепция системы обработки и визуализации полученных данных для публичного доступа.

Материалы и методы

Концепция представляет собой беспилотный летательный аппарат с неподвижным крылом, дистанционно управляемый радиоаппаратурой, работающей на частоте 2.4 ГГц. Система анализа качества воздуха разделяется на два электронных устройства, т. е. передатчик и приемник. Для анализа качества воздуха окружающей среды применяются датчики твердых частиц PM2.5, монооксид углерода CO, двуокись NO₂, оксид серы SO₂, нитрид водорода NH₃ [9, 10]. Показания датчиков обрабатывает микроконтроллер STM32F103C8, который в свою очередь передает данные на базу (приемник) с помощью радиомодуля nrf24l01. Все электронные узлы системы питаются от аккумулятора на 1000 мАч с выходом 5 В. Система также имеет приемную сторону (далее база), которая принимает данные с БПЛА и визуализирует полученные данные. База содержит радиомодуль nrf24l01, Bluetooth модуль esp32, также смартфон для отображения полученных данных. Функциональная схема системы представлена на рисунке 1, а описание датчиков приведено в таблице 1.

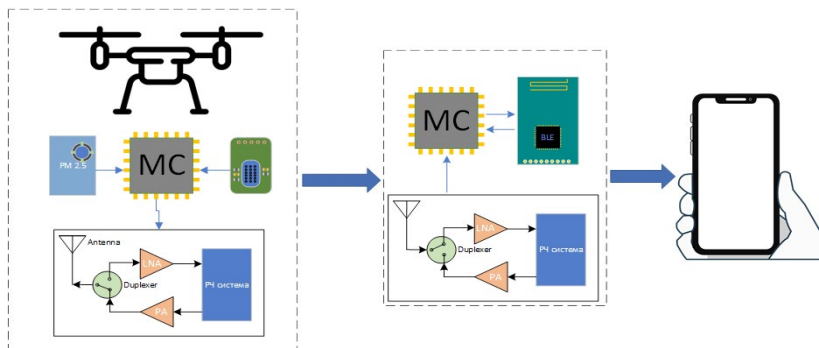


Рисунок 1 – Функциональная схема системы

Результаты и обсуждение

Принцип работы комплекса следующая. При включении питания, датчики PMS5003 (датчик частиц PM2.5) и MICS – 6814 (CO(), NO₂(), NH₃()), которые детектирует газы передают показания на микроконтроллер, микроконтроллер поочередно принимает и обрабатывает все полученные данные. После обработки, микроконтроллер передает показания датчиков на базу, посредством передачи данных по радиоканалу. Радиоканал осуществляется при помощи радиомодуля nrf24l01. Показания, переданные по радиоканалу, принимаются на базе при помощи приемного радиомодуля nrf24l01. Микроконтроллер приемной базы принимает байты данных, проводит обработку и передает по Bluetooth

каналу на смартфон с заранее установленным программным обеспечением для визуализации полученных данных.

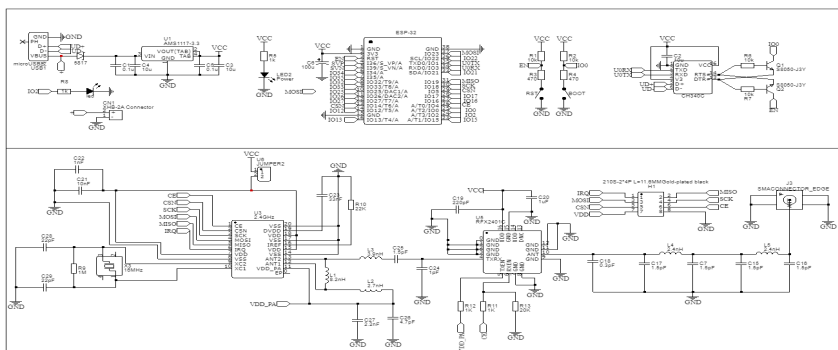


Рисунок 2 – Принципиальная радиоэлектронная схема приемника

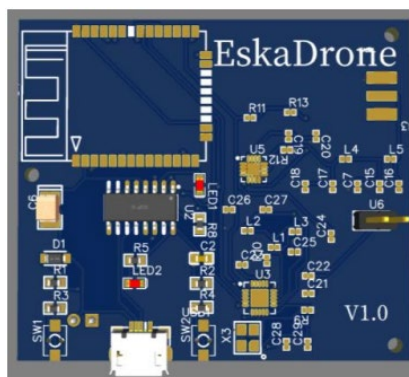


Рисунок 3 – Печатная плата приемника

Схема приемника состоит из микроконтроллера ESP32 со встроенными BLE+Wifi, линейного преобразователя напряжения, преобразователя CH340G USB в UART, также радиочастотного приемника nRF24L01c микросхемой RFX2401C. Линейный преобразователь напряжения AMS1117 3.3 В преобразовывает напряжение 9В на 3.3 В для питания узлов схемы. Микроконтроллер ESP32 в свою очередь обрабатывает принятые данные с радиочастотного модуля nRF24L01c с усилителем сигнала RFX2401C, который обеспечивает дальность приема сигнала до 1000 м. Принятые данные после обработки передаются на смартфон посредством BLE встроенным в

микроконтроллер ESP32. Преобразователь USB в UART CH340G обеспечивает подключение к компьютеру для прошивки или же логирования устройства.

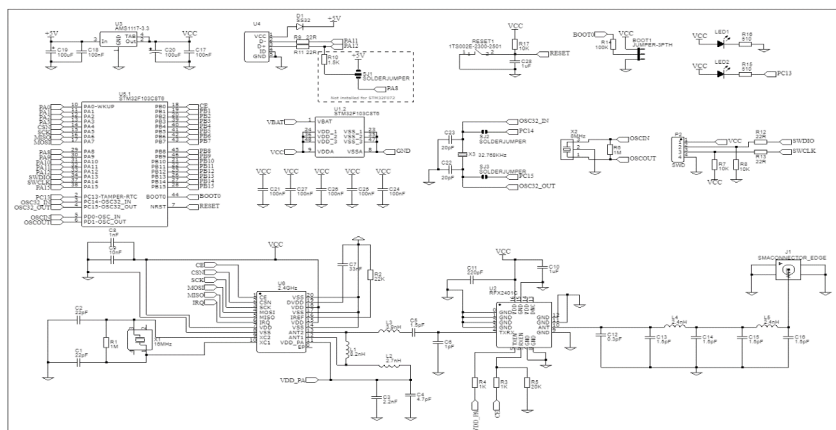


Рисунок 4 – Принципиальная радиоэлектронная схема передатчика

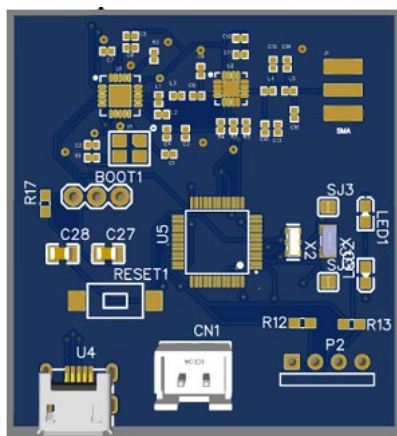


Рисунок 5 – Печатная плата передатчика

Схема передатчика (рисунок 5) состоит из линейного преобразователя напряжения AMS1117 3.3V, микроконтроллера STM32F103C8T6, микросхемы nRF24L01+, микросхемы RFX2401C, также из навесных датчиков PMS5003 (датчик частиц PM2.5) и MICS – 6814 (CO ()), NO₂(), NH₃()). Линейный преобразователь напряжения AMS1117 преобразует входное напряжение 11,7 В от аккумулятора в 3,3В для установки рабочего напряжения микроконтроллера

и передатчика. Микроконтроллер STM32F103C8T6 снимает показания навесных датчиков PMS5003, MICS – 6814. Датчик PMS5003 подключен к микроконтроллеру по интерфейсу UART, показание датчика составляет 32 байт информации. А датчик MICS – 6814 подключен к аналоговым входам микроконтроллера. Обработанные данные микроконтроллером передаются при помощи радиочастотного канала, который в свою очередь представляет чип nRF24L01 с МШУ RFX2401С.

Выводы

В данной работе представлены результаты разработки электронных модулей системы экологического мониторинга воздушного бассейна города. Эта система представляет собой электронные модули, которые могут быть установлены на БПЛА вне зависимости от модели. Также, для обработки и визуализации полученных данных разработано программное обеспечение для мобильных устройств, что дает возможность использования системы зондирования для мелких предприятий, которым имеющиеся системы являются экономически нецелесообразными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Gupta, L., Jain R. and Vaszkun, G.** «Survey of Important Issues in UAV Communication Networks» in IEEE Communications Surveys & Tutorials, – Vol. 18. – No. 2. – P. 1123–1152. – Secondquarter, 2016. – doi: 10.1109/COMST.2015.2495297.

2 **Нурмадиева, Г. Т., Жетписбаев, Б. А.** Влияние экосистемы на здоровье человека в промышленно развитых регионах Казахстана // Наука и Здравоохранение. – 2018. – Т. 4. – С. 110–132.

3 **Лю, М. Б., Ибрагимова, Н. А., Адамбеков, Д. А.** Оценка заболеваемости населения г. Алматы легочными болезнями в контексте с загрязнением атмосферного воздуха // Наука и Здравоохранение. 2019. – 4 (Т.21). – С. 90–99.

4 **Rossi M. and Brunelli, D.** «Autonomous Gas Detection and Mapping With Unmanned Aerial Vehicles,» in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – Vol. 65. – No. 4. – P. 765–775, April 2016. – doi: 10.1109/TIM.2015.2506319.

5 **Villa TF, Gonzalez F, Miljievic B, Ristovski ZD, Morawska L.** An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. Sensors (Basel). – 2016, Jul 12, 16(7). – 1072. – doi: 10.3390/s16071072. PMID: 27420065; PMCID: PMC4969839.

6 **Marintseva, Kristina & Yun, Gennadiy & Vasilenko, Igor.** (2019). Delivery of Special Cargoes Using the Unmanned Aerial Vehicles. 10.4018/978-1-5225-7900-7.ch002.

7 **Ferreira, Filipe & Cardoso, Jaime & Oliveira, Hélder.** (2015). Video Analysis in Indoor Soccer using a Quadcopter. ICPRAM 2015 - 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, Proceedings. 1. 77-86. 10.5220/0005206000770086.

8 **Rossi, M., Brunelli, D., Adami, A., Lorenzelli, L., Menna, F. and Remondino, F.** (2014) Gas-Drone: Portable Gas Sensing System on UAVs for Gas Leakage Localization. SENSORS, 2014 IEEE, Valencia, 2-5 November 2014, 1431-1434. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985282>

9 **Jaaniso, Raivo, Raivo Jaaniso, Ooi Kiang Tan (eds.)**. Semiconductor gas sensors. Woodhead Publishing, 576 p., 2013. ISBN-13: 978 0 85709 236 6.

10 **Lung, S.-C.C.; Thi Hien, T.; Cambaliza, M.O.L.; Hlaing, O.M.T.; Oanh, N.T.K.; Latif, M.T.; Lestari, P.; Salam, A.; Lee, S.-Y.; Wang, W.-C.V.; et al.** Research Priorities of Applying Low-Cost PM2.5 Sensors in Southeast Asian Countries. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 1522. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031522>

REFERENCES

1 **Gupta, L., Jain R. and Vaszkun, G.** «Survey of Important Issues in UAV Communication Networks,» in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123-1152, Secondquarter 2016, doi: 10.1109/COMST.2015.2495297.

2 **Nurmagdiyeva, G. T., Zhetpisbayev, B. A.** Vliyaniye ekosistemy na zdoroviye cheloveka v promyshlennno razvityh regionah Kazakhstana [The impact of the ecosystem on human health in the industrialized regions of Kazakhstan] // Science and Health. – 2018. – Vol. 4. – P. 110–132.

3 **Lyu, M. B., Ibragimova, N. A., Adambekov, D. A.** Ocenka zaboлеваemosti naseleniya g. Almaty legochnymi boleznyami v kontekste s zagryazneniyem atmosfernogo vozduha [Assessment of the incidence of pulmonary diseases in the population of Almaty in the context of air pollution] // Science and Health. 2019. 4 (Vol.21). P. 90-99.

4 **Rossi M. and Brunelli, D.** «Autonomous Gas Detection and Mapping With Unmanned Aerial Vehicles,» in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 65, no. 4, pp. 765-775, April 2016, doi: 10.1109/TIM.2015.2506319.

5 **Villa, TF, Gonzalez F., Miljevic, B., Ristovski, ZD., Morawska, L.** An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. Sensors (Basel). 2016 Jul 12;16(7):1072. doi: 10.3390/s16071072. PMID: 27420065; PMCID: PMC4969839.

6 **Marintseva, Kristina & Yun, Gennadiy & Vasilenko, Igor.** (2019). Delivery of Special Cargoes Using the Unmanned Aerial Vehicles. 10.4018/978-1-5225-7900-7.ch002.

7 **Ferreira, Filipe & Cardoso, Jaime & Oliveira, Hélder.** Video Analysis in Indoor Soccer using a Quadcopter. ICPRAM 2015 - 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, Proceedings. 1. – 2015. – P. 77–86. – 10.5220/0005206000770086.

8 **Rossi, M., Brunelli, D., Adami, A., Lorenzelli, L., Menna, F. and Remondino, F.** Gas-Drone : Portable Gas Sensing System on UAVs for Gas Leakage Localization. SENSORS, 2014 IEEE, Valencia, 2-5 November 2014. – P. 1431-1434. – <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985282>

9 **Jaanisoo, Raivo, Raivo Jaanisoo, Ooi Kiang Tan (eds.)**. Semiconductor gas sensors. Woodhead Publishing, 2013. – 576 p. – ISBN-13: 978 0 85709 236 6.

10 **Lung, S.-C.C.; Thi Hien, T.; Cambaliza, M.O.L.; Hlaing, O.M.T.; Oanh, N.T.K.; Latif, M.T.; Lestari, P.; Salam, A.; Lee, S.-Y.; Wang, W.-C.V.; et al.** Research Priorities of Applying Low-Cost PM2.5 Sensors in Southeast Asian Countries. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 1522. – <https://doi.org/10.3390/ijerph19031522>

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

**А. Б. Қадыржан*

Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 28.02.22 баспаға түсті.

АУА БАССЕЙНІНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮРГІЗУ ЖҮЙЕСІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫН ҚҰРАСТЫРУ

Атмосфераның ластануы тақырыбы, әсіресе қатты бөліктер (аспалы заттар) тұрғысынан қазіргі қоғамдағы өте күрделі мәселе. Бұл мәселе орман өрттері, құрылыс, индустрияландыру және автокөліктер санының үнемі өсуі сияқты факторларға байланысты. Осылайша, PM2.5 бүкіл әлем сияқты Алматы қаласының тұрғындары үшін денсаулыққа қауіп төндіретін проблемалар тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар елдің имиджіне теріс әсер ететін маңызды қауіп факторына айналды. Бұл жұмыстың мақсаты нақты уақыттағы ауа сапасы туралы деректерді бақылау және жинау үшін газ датчиктерімен жабдықталған ұшқышсыз ұшу аппаратын жасау болып табылады. Ұсынылып отырған ұшқышсыз ұшатын аппараттың ауадағы газдың келесі түрлерінің концентрациясын өлшеу мүмкіндігі бар: көміртегі тотығы (CO), озон (O₃), азот диоксиді (NO₂), сутегі нитридi (NH₃), PM және күкірт диоксиді

(SO₂). Сонымен қатар, жиналған деректер серверге сымсыз қосылым арқылы екі кезеңде (радио жиілік арнасы арқылы таратқыштан қабылдағышқа, содан кейін ресиверден смартфонға Bluetooth Low Energy сымсыз желісі арқылы смартфонға) беріледі.

Кілтті сөздер: ауаның ластануы, ұшқышсыз ұшу аппараты, қоршаған ортаны бақылау, ауа сапасын бақылау, газ датчиктері.

**A. B. Kadyrzhan*

Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering
and Telecommunications,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 28.02.22.

DEVELOPMENT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE IN THE AIR BASIN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

The topic of air pollution, especially in terms of particulate matter (suspended matter), is a very serious problem in today's society. This problem is caused by factors such as forest fires, construction, industrialization and the ever-increasing number of cars. Thus, PM2.5 has become an important risk factor for residents of the city of Almaty, as well as around the world, not only in terms of health risk problems, but also a negative impact on the image of the country. The aim of this work is to develop an unmanned aerial vehicle equipped with gas sensors to monitor and collect real-time air quality data. The proposed unmanned aerial vehicle has the ability to measure the concentration of the following types of gas in the air: carbon monoxide (CO), ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂), hydrogen nitride (NH₃), PM and sulfur dioxide (SO₂). In addition, the collected data is transmitted to the server via a wireless connection in two stages (via the radio frequency channel from the transmitter to the receiver, then from the receiver to the smartphone via the Bluetooth Low Energy wireless network to the smartphone).

Keywords: air pollution, unmanned aerial vehicle, environmental monitoring, air quality control, gas sensors.

Теруге 28.02.2022 ж. жіберілді. Басуға 18.03.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,77 Мб RAM

Шартты баспа табағы 13,12. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3883

Сдано в набор 28.02.2022 г. Подписано в печать 18.03.2022 г.

Электронное издание

3,77 Мб RAM

Усл. печ. л. 13,12. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3883

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz