

**ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**
NUCLEAR, RADIATION AND
ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 539.1 : 621.39
DOI 10.26583/gns-2023-01-01
EDN JNHPKM

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
ПО РАДИОКАНАЛУ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНОГО
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

© 2023 Иван Алексеевич Родионов¹, Александр Прокопьевич Елохин²,
Александр Борисович Рахматулин³, Сергей Евгеньевич Улин⁴,
Азизбек Истамович Маджидов⁵, Александр Евгеньевич Шустов⁶

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия

¹ *uxanson@bk.ru*

² *elokhin@yandex.ru; http://orcid.org/0000-0002-7682-8504*

³ *sasa-magic@mail.ru*

⁴ *seulin@gmail.com*

⁵ *aimadzhidov@mephi.ru*

⁶ *aeshustov@mephi.ru*

Аннотация. Авария на АЭС Фукусима выявила определенный недостаток традиционных методов регистрации ионизирующего излучения с помощью автоматизированной системы контроля радиационной обстановки, поскольку в условиях развития аварии на АЭС посты системы контроля в результате цунами были повреждены (23 из 24), что не позволило на ранних этапах оценить степень радиоактивного загрязнения местности. В подобных условиях наиболее перспективным методом радиационного контроля, осуществляемого на потенциально опасном участке местности, является бесконтактный метод с использованием беспилотного дозиметрического комплекса (БДК), применение которого позволило бы уменьшить риск облучения дополнительными дозовыми нагрузками персонала, осуществляющего поисковые и разведывательные работы, и дополнительно обеспечить руководство не только информацией относительно радиоактивного загрязнения окружающей среды, но и непосредственно предоставить результаты визуального осмотра территории. Однако, помимо оборудования, используемого для определения радиационного фона (детекторы, спектрометры, радиометры и т.д.), важную часть БДК представляет собой организация дозиметрического комплекса и способ передачи информации. На примере радиомодулей NRF представлен возможный вариант канала передачи данных от дозиметрического комплекса, установленного на БДК, на персональный компьютер оператора.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, радиационная безопасность, дозиметрический комплекс, передача данных, радиоканал, модуль NRF24L01+PA+LNA.

Для цитирования: Родионов И.А., Елохин А.П., Рахматулин А.Б., Улин С.Е., Маджидов А.И., Шустов А.Е. Особенности передачи информации по радиоканалу в режиме реального времени при использовании беспилотного дозиметрического комплекса // Глобальная ядерная безопасность. – 2023. – № 1(46). – С. 5-13 <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2023-01-01>.

Поступила в редакцию 01.12.2022
После доработки 10.02. 2023
Принята к публикации 21.02.2023

Введение

Авария на АЭС Фукусима выявила определенный недостаток традиционных методов регистрации излучения с помощью автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). В момент выброса радиоактивных веществ [1], посты контроля в результате цунами были повреждены (23 из 24) [2-4], что не позволило на ранних этапах оценить степень радиоактивного загрязнения местности [1].

При возникновении необходимости в оценке степени радиоактивного загрязнения территории, существуют два способа действий: традиционный – с непосредственным участием человека на потенциально радиационно-опасном участке местности, и перспективный – бесконтактный, с дистанционным использованием аппаратуры радиационного контроля, например, беспилотного дозиметрического комплекса (БДК) [5]. Применение БДК для поисково-разведочных работ позволило бы уменьшить риск облучения персонала дополнительными дозовыми нагрузками на радиационно-опасном участке.

Основными компонентами БДК являются: радиоуправляемый беспилотный носитель и дозиметрический комплекс (ДК).

Основные задачи ДК – это сбор, обработка и передача информации о состоянии радиационной обстановки исследуемой окружающей среды, возможность воспроизводства результатов измерений, определение координат и высоты полета. Задача носителя сводится к доставке ДК на заданную высоту и указанное место. Для реализации данных задач возможно использование следующего оборудования: ксеноновый γ -спектрометр (КГС), γ -детектор для измерения мощности дозы (УДМГ), датчик местоположения (GPS и/или ГЛОНАСС), высотомер, отладочные платы и летательные аппараты различного типа.

При разработке ДК возникает практическая задача – осуществление передачи информации в режиме реального времени с детекторов БДК на ПК оператора. Одним из возможных каналов подобной передачи данных является радиоканал, одним из преимуществ которого перед Wi-Fi¹ оборудованием является относительная простота в организации радиомоста, состоящая, например, в использовании двух радиомодулей, работающих как в симплексном режиме, так и в режиме дуплексной и полудуплексной² связи. Использование только двух модулей значительно упрощает процесс отправки и получения данных на территориях или областях с плохим покрытием сигнала и на большие расстояния.

Представленная работа посвящена вопросу создания основ передачи информации по радиоканалу в лабораторных условиях.

Описание системы беспроводной передачи информации

При работе ДК на высоте полета возникает необходимость в следующих действиях:

- хранение и обработка данных;
- передача и получение данных.

В работе [6] приведён возможный вариант реализации ДК на беспилотном летательном аппарате – это КГС, не требующий, в отличие от полупроводниковых

¹Передача данных по радиоканалу принципиально не отличается от Wi-Fi, также представляющего собой радиомост. Различия состоят в использовании иных протоколов, в том числе нестандартных, а также в использовании направленных антенн (в отличие от преимущественного использования антенн с круговой диаграммой у Wi-Fi аппаратуры) и повышенной мощности излучения.

²Дуплексная связь – это связь с возможностью передачи информации между двумя устройствами в обоих направлениях. При полудуплексной связи передача данных в каждый момент времени возможна только в одном направлении (т.е. их можно либо передавать, либо принимать), тогда как при дуплексной связи данные можно передавать и принимать одновременно. Симплексная связь – связь, при которой информация передаётся только в одном направлении.

детекторов при работе, криогенного оборудования и обладающий значительно более высоким энергетическим разрешением по сравнению со спектрометрами, использующими сцинтилляционный кристалл NaI(Tl), и γ -детектор УДМГ, датчик местоположения (GPS и/или ГЛОНАСС) и высотомер, определяющий высоту полета БДК, знание которой позволяет проводить корректный расчет радиоактивного загрязнения окружающей среды, включая и радиоактивный след на подстилающей поверхности [6].

В качестве оборудования для определения местоположения и высоты полета могут быть применены GPS-модуль NEO-6M и модуль GY-BMP280-3.3 (рис. 1). Алгоритм работы модуля GY-BMP280-3.3 заключается в считывании данных с чувствительных элементов, предназначенных для измерения давления и температуры, установленных на плате [7], по которым в дальнейшем может вычисляться высота полета БДК. Определение местоположения с помощью GPS-модуля NEO-6M происходит с помощью данных, которые он получает от спутников [8].

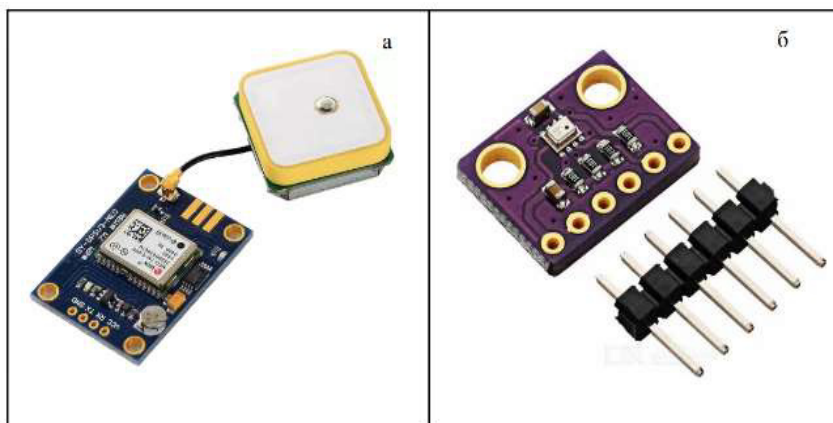


Рисунок 1 – GPS-модуль NEO-6M (а) и модуль GY-BMP280-3.3 (б) [GPS module NEO-6M (a) and module GY-BMP280-3.3 (b)]

Для хранения и обработки данных могут быть применены различные отладочные платы со встроенными однокристальными микроконтроллерами (STM32F103c8t6, STM32F401RET6, STM32F4DISCOVERY, RaspberryPi 4, ESP32 и т.д.), в программное обеспечение (ПО) которых встраивается необходимая функция и алгоритм действия. В данной работе была применена отладочная плата ESP32 (рис. 2). Для цели передачи и получения данных между оператором и ДК был создан канал связи, работающий в симплексном режиме передачи данных.



Рисунок 2 – Отладочная плата ESP32-WROOM-32 [ESP32-WROOM-32 debug board]

Кроме того, при использовании БДК важной характеристикой для аппаратуры, создающей канал связи, является дальность связи. Так, исходя из анализа работ [9-11], дальность связи может быть не меньше одного километра.

Одним из возможных способов создания канала передачи данных от ДК оператору является использование модулей радиосвязи, что значительно упрощает процесс организации канала связи.

Упрощение заключается в том, что при попытке удаленно получить данные от ДК на большом расстоянии на территории с плохим покрытием сигнала, оператору не требуется дополнительного подключения к ближайшей точке доступа в отличие от использования технологии Wi-Fi.

Однако в процессе передачи данных может возникнуть проблема – отправляемый файл ДК превышает максимальный объем документа (объем памяти, занимаемой документом), который может отправить радиомодуль. На примере КГС и радиомодуля NRF24L01+PA+LNA (NRF) (рис. 3) [12] с дальностью связи порядка 1 километра рассмотрим способы решения этой проблемы. При этом следует отметить, что использование указанной дальности связи в 1 километр согласуется с открытыми данными [13].

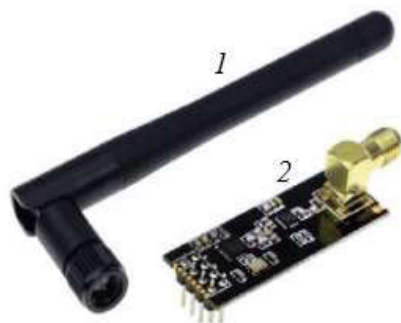


Рисунок 3 – Модуль радиосвязи NRF24L01+PA+LNA, где:
1 – антенна; 2 – NRF24L01+ [Radio communication module NRF24L01+PA+LNA, where:
1 – Antenna; 2 – NRF24L01+

Наряду с несомненными достоинствами КГС, о чем отмечалось выше, у этих спектрометров имеется существенный недостаток, а именно, их высокая чувствительность к внешним вибро-акустическим воздействиям, что существенно ограничивает область применения данного типа аппаратуры [14]. Для устранения указанной проблемы можно использовать различные методы. Например, спектрометрическое и другое оборудование, включая аппаратуру наблюдения, целесообразно установить на двухосевой гиростабилизированной платформе, снижая, таким образом, вибро-акустические эффекты результатов измерений. В работе [14] для повышения точности результатов измерений, передаваемых на ПК, и решения указанной проблемы был разработан блок электроники (БЭ), который располагался перед ПК, осуществляя дополнительную фильтрацию результатов измерений (рис. 4).

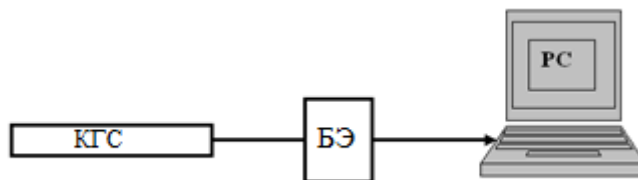


Рисунок 4 – Функциональная связь между КГС и ПК [Functional link between the XeGS and the PC]

Таким образом, происходит следующая процедура: результаты измерений, сформированные КГС, поступают на БЭ, обрабатываются с помощью встроенного в него ПО и отправляются пакетом данных на ПК.

Особенность отправки данных, прошедших через блок БЭ в ПК, заключается в том, что отправка осуществляется пакетом, который в зависимости от типа подключения (USB или RS-485) отличается. Так для типа подключения USB этот массив составляет 16384, а для RS-485 4096 символов, соответственно радиомодуль должен обладать способностью передавать массивы подобного объема. Кроме того, следует учитывать, что БЭ передает данные короткими пакетами длительностью (1-3 с.).

Из-за приведенной выше особенности применения модуля NRF, максимальный объем документа, который он может передать – это 32 байта [12], что представляет собой при решении данной задачи определенную проблему, требующую найти способ для ее решения.

С этой целью рассмотрим способ решения указанной проблемы на примере передачи сигнала от КГС на ПК через модуль NRF. Модуль NRF подсоединяется к микропроцессору (ESP32, STM32 и т.д.), формируя блок, в котором в дальнейшем микропроцессор осуществляет управление модулем NRF и, в конечном итоге, прием и передачу информации (рис. 5).

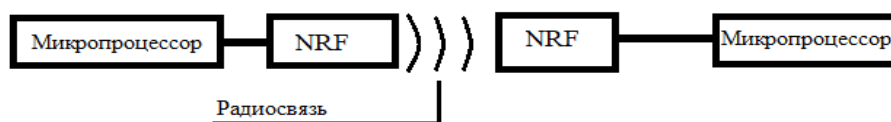


Рисунок 5 – Схематическое устройство радиоканала [Schematic diagram of the radio channel]

Таким образом, с учетом рисунка 4, окончательно схема выглядит следующим образом (рис. 6).

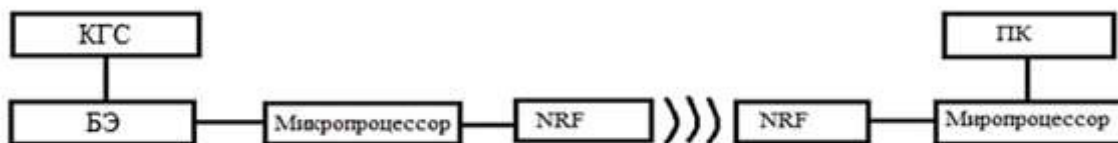


Рисунок 6 – Схема организации радиоканала между КГС и ПК [Schematic diagram of the radio link between the XeGS and the PC]

В памяти микроконтроллера (передатчик) со стороны БЭ выделяется область для принимаемого массива данных (N), который затем разбивается на части по 32 байта (рис. 7).

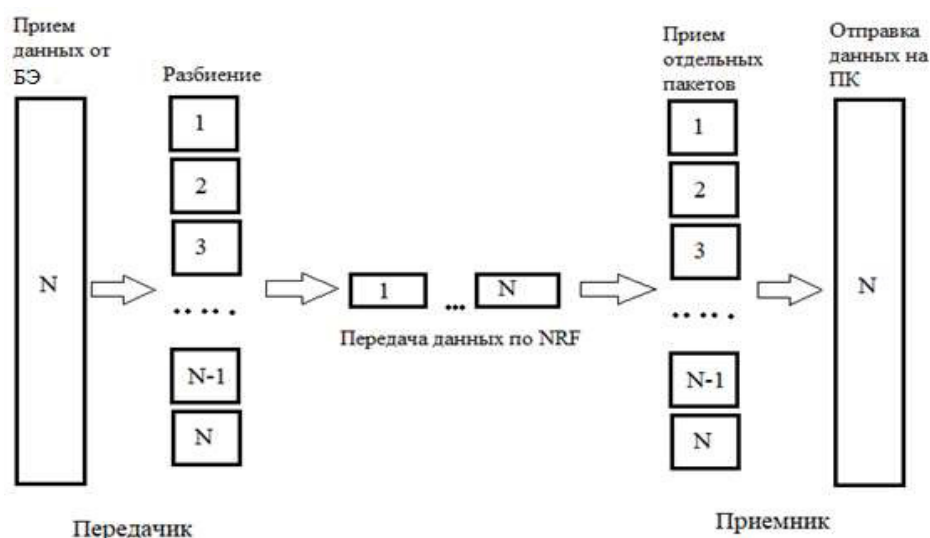


Рисунок 7 – Алгоритм разбиения и передачи информации [Algorithm for breaking down and transferring information]

Затем каждая образованная часть отправляется по модулю NRF на второй микропроцессор (приемник), с последующей отправкой на ПК. В случае если один или несколько из N передаваемых подмассивов данных (рис. 7) будет не равен 32 байтам, то он считается «поврежденным» в результате передачи по радиоканалу и в память микроконтроллера заноситься не будет (рис. 8). Для удобства на рисунке 8 алгоритм работы «Передатчика» и «Приемника» показаны отдельно.

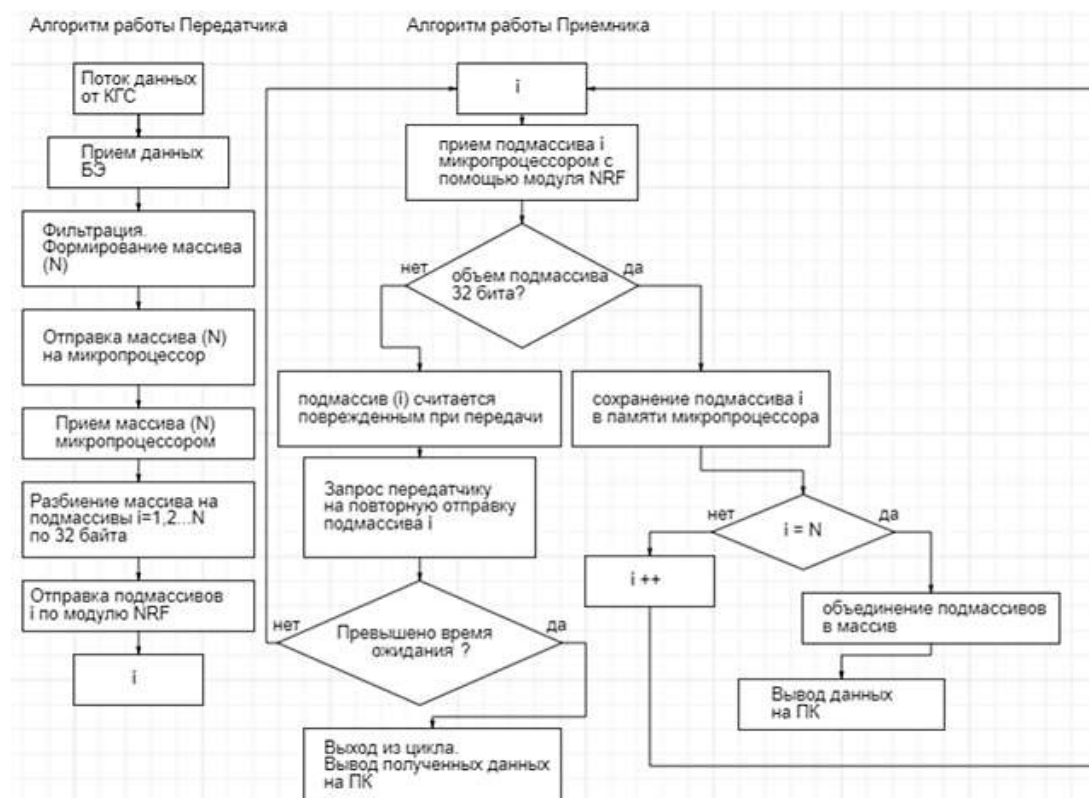


Рисунок – 8 Блок-схема передачи информации [Block diagram of information transfer]

В силу того, что модуль NRF способен передавать информацию со скоростью в диапазоне от 250 кбит/с до 2 Мбит/с, то дробление начальных данных на подмассивы по 32 байта дает возможность полной их передачи до поступления новых данных от КГС. Отметим, что «время ожидания» является регулируемым параметром, настраиваемым при программировании микроконтроллера.

Поскольку вопрос передачи данных по радиоканалу непосредственно связан с задачей радиационного контроля окружающей среды, а именно, с оценкой радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, обусловленной, например, следом радиоактивного выброса, то для оценки этого загрязнения в первую очередь необходимо оценивать радионуклидный состав радиоактивной примеси, лежащий на этой поверхности. А для этой цели и возникает необходимость проведения спектрального анализа γ -излучения радионуклидов, осуществляемого с помощью КГС, который располагается на БДК. В регистрируемом спектре γ -излучения с помощью программного обеспечения выделяют пики полного поглощения, определяя значение энергии γ -квантов, по значению которой/ых и определяют все радиационные характеристики (тип радионуклида, период полураспада, поверхностная активность и т.д.), определяющие уровень радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности для дальнейшего принятия решений типа: закрыть форточки и воздержаться в течение нескольких дней от прогулок или эвакуация населения временная или полная.

Для демонстрации принципа работы схемы, представленной на рисунке 8 и проверки работы модуля NRF, была проведена передача данных в лабораторных условиях, при которых вибро-акустические эффекты были исключены. В качестве

передаваемой информации, имитировалась передача спектра Cs-137 от детектора по радиоканалу, изображенному на рисунке 5. При проведении эксперимента, расстояние между приемником и передатчиком составляло 1 метр.

На рисунке 9 приведена визуализация передаваемого спектра Cs-137, на которой показано распределение количества пришедших импульсов на канал детектора для радионуклида Cs-137.

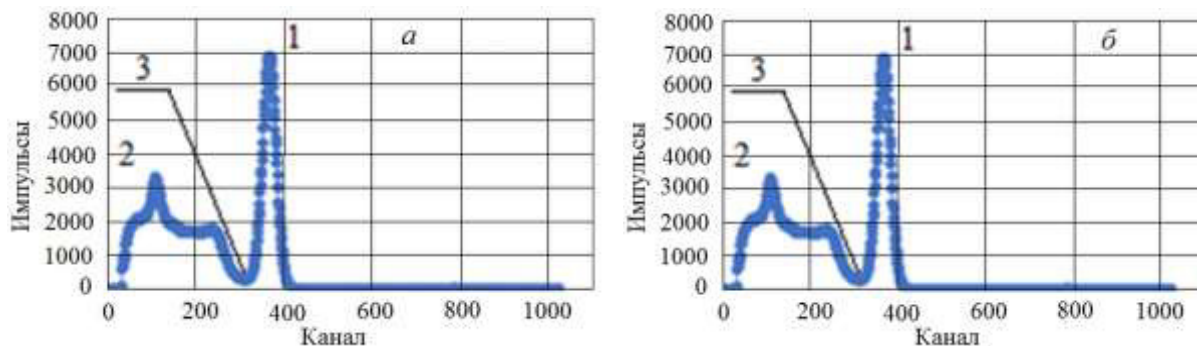


Рисунок – 9 Исходный (передаваемый) спектр Cs-137 (а); полученный и обработанный по модулю NRF (б)
[Initial (transmitted) spectrum of Cs-137 (a); NRF derived and processed (b)]

Приведенный спектр содержит пик полного поглощения (на рисунке 9 отмечен «1»), который является следствием испускания моноэнергетических γ -квантов (0,662 МэВ) Ba-137m, представляющим собой продукт β -распада Cs-137, и непрерывное распределение слева от пика с содержащимся на нем небольшим максимумом (пиком обратного рассеяния γ -квантов на рисунке 9 отмеченным «2»), образующееся в результате комптон-эффекта [15,16]. Область «3» на рисунке 9 обусловлена тем, что спектр электронов отдачи, определяющих комптон-эффект, обрывается в этой области, что и приводит к образованию минимума перед пиком полного поглощения.

Анализируя исходный и полученный спектр, можно констатировать, что в лабораторных условиях проведения эксперимента положения пиков полного поглощения («1»), обратного рассеяния («2»), а также области минимума («3») не изменились, кроме того, полностью сохранилась кривая комптоновского распределения. Таким образом, форма спектра Cs-137 со всеми «особыми точками» сохранилась. Это говорит о том, что при передаче данных от БДК оператору при исследовании ядерно-опасного объекта радиомодуль не будет вносить каких-либо дополнительных возмущений в передаваемые данные.

Таким образом, можно сделать вывод, что приведенный выше алгоритм преобразования носит чисто технический характер передачи информации и не влияет на физическую форму спектра, что позволяет не учитывать технические ограничения модулей NRF при передаче данных в режиме реального времени. Следует отметить, что данный алгоритм может быть распространён и на другие модули передачи информации.

Заключение

В работе представлен возможный вариант организации ДК с помощью КГС, детектора типа УДМГ, отладочных плат, модуля GPS и высотомера. Рассмотрен вариант передачи результатов измерений БДК с помощью радиоканала и их некоторые особенности, которые могут возникать в процессе измерений и передачи информации.

На примере получения пакета данных от БЭ, присоединенного к КГС и модуля NRF, рассмотрена возможность решения технической проблемы, связанной с передачей информации по объему превосходящей возможности передачи радиомодуля.

На примере передачи и приема спектра Cs-137 показано, что приведенные алгоритмы действия не влияют на качество передаваемой информации о спектре, что указывает на возможность применения данного метода для получения данных, поступающих оператору с БДК, в режиме реального времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Stohl, A., Seibert, P., Wotawa G., Arnold D., Burkhardt J. F., Eckhardt S., Tapia C., Vargas A., and Yasunari T. J. Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 12. 2313–2343. <https://doi.org/10.5194/acp-12-2313-2012>.
2. Omoto, A., 2013. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section a: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*.
3. Nuclear Accident Independent Investigation Commission. 2012. *The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*. NAIIC. Tokyo.
4. Povinec, P.P., Hirose, K., Aoyama, M., 2013. *Fukushima Accident*. Elsevier, Boston.
5. Елохин, А.П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды / А.П. Елохин // Монография. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
6. Елохин, А.П. Методы оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности / И.А. Родионов, А.П. Елохин // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – №1 (42). – С. 6–23.
7. Data sheet. BMP280 Digital Pressure Sensor. <https://amperkot.ru/static/3236/uploads/datasheets/BST-BMP280.pdf>.
8. NEO-6 u-blox 6 GPS Modules. Data Sheet. https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf.
9. Šáleka O., Matolína M., Grycb L. Mapping of radiation anomalies using UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry // *Journal of Environmental Radioactivity* 182 (2018) 101–107.
10. Parshin A., Morozov V., Snegirev N., Valkova E., Shikalenko F. Advantages of Gamma-Radiometric and Spectrometric Low-Altitude Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Systems with Small Scintillation Detectors. *Appl. Sci.* 2021, 11, 224. <https://doi.org/10.3390/app11052247/>.
11. Yuki Sato, Shingo Ozawa, Yuta Terasaka, Kojiro Minemoto, Satoshi Tamura, Kazutoshi Shingu, Makoto Nemoto, Tatsuo Torii. Remote detection of radioactive hotspot using a Compton camera mounted on a moving multi-copter drone above a contaminated area in Fukushima. *Journal of nuclear science and technology*. – 2020. – Vol. 57, №. 6. – pp. 734–744.
12. nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0. Datasheet. https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF24L01P_PS_v1.0.pdf.
13. Радиомодуль NRF24L01+ / PA+LNA 2.4G (Трема-модуль V2.0). <https://wiki.iarduino.ru/page/NRF24L01-trema/>
14. Novikov, A.S., Ulin, S.E., Dmitrenko, V.V., Uteshev, Z.M., Vlasik, K.F., Grachev, V.M., Efremenko, Y.V., Chernysheva I.V., Shustov A.E. New modification of xenon gamma-ray detector with high energy resolution. *Optical Engineering*. – Vol. 53, Issue 2, 021108 (November 2013). <https://doi.org/10.1117/1.OE.53.2.021108>.
15. Болоздыня, А.И. Экспериментальная ядерная физика. Лекция №6. Гамма-излучение ядер / Болоздыня А.И. // ИФТИС НИЯУ МИФИ. Лаборатория экспериментальной ядерной физики. – 2017. – 32 с. <http://enr.mephi.ru>.
16. Гусев, Н.Г., Дмитриев, П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов / Н.Г. Гусев, П.П. Дмитриев. – Москва: Атомиздат, 1977. – 394 с.

REFERENCES

- [1] Stohl A., Seibert P., Wotawa G., Arnold D., Burkhardt J. F., Eckhardt S., Tapia C., Vargas A., and Yasunari T. J. Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 12. 2313–2343. <https://doi.org/10.5194/acp-12-2313-2012>.
- [2] Omoto A. 2013. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section a: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. (in English)
- [3] Nuclear Accident Independent Investigation Commission. 2012. *The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*. NAIIC. Tokyo. (in English)
- [4] Povinec P.P., Hirose K., Aoyama M. 2013. *Fukushima Accident*. Elsevier. Boston. (in English)
- [5] Elokhin A.P. Metody i sredstva sistem radiatsionnogo monitoringa okruzhayushchey sredy [Methods and Means of Environmental Radiation Monitoring Systems] Monograph. Moscow. NRNU MEPhI. 2014. 520 p. (in Russian)
- [6] Rodionov I.A., Elokhin A.P. Metody otsenki zagryazneniya podstilayushchey poverkhnosti. [Methods of Assessing Radioactive Contamination of the Underlying Surface]. *Global'naya yadernaya bezopasnost` Global Nuclear Safety*, 2022, No.1 (42). pp. 6 – 23. (in Russian).
- [7] Data sheet. BMP280 Digital Pressure Sensor. <https://amperkot.ru/static/3236/uploads/datasheets/BST-BMP280.pdf>. (in English)
- [8] NEO-6 u-blox 6 GPS Modules. Data Sheet. https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf. (in English)
- [9] Mapping of radiation anomalies using UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry / O. Šáleka, M. Matolína, L. Grycb // *Journal of Environmental Radioactivity* 182 (2018) 101–107. (in English)
- [10] Advantages of Gamma-Radiometric and Spectrometric Low-Altitude Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Systems with Small Scintillation Detectors / A. Parshin, V Morozov, N. Snegirev,

- E. Valkova, F. Shikalenko // Appl. Sci. 2021, 11, 224. <https://doi.org/10.3390/app11052247/>. (in English)
- [11] Remote Detection of Radioactive Hotspot Using a Compton Camera Mounted on a Moving Multi-Copter Drone above a Contaminated Area in Fukushima / Yuki Sato, Shingo Ozawa, Yuta Terasaka, Kojiro Minemoto, Satoshi Tamura, Kazutoshi Shingu, Makoto Nemoto, Tatsuo Torii // JOURNAL OF NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY. – 2020. – VOL. 57, No. 6. – pp. 734–744. (in English)
- [12] nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0. Datasheet. https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF24L01P_PS_v1.0.pdf.
- [13] Radiomodul NRF24L01+ / PA+LNA 2.4G (Трема-модуль V2.0). [Radio Module NRF24L01+ / PA+LNA 2.4G (Trema-Module V2.0)]. <https://wiki.iarduino.ru/page/NRF24L01-trema/>. (in Russian).
- [14] New Modification of Xenon Gamma-Ray Detector with High Energy Resolution / A.S. Novikov, S.E. Ulin, V.V. Dmitrenko, Z.M. Uteshev, K.F. Vlasik, V.M. Grachev, Y.V. Efremenko, I.V. Chernysheva, A.E. Shustov // Optical Engineering. – Vol. 53, Issue 2, 021108 (November 2013). <https://doi.org/10.1117/1.OE.53.2.021108>.
- [15] Bolozdynya A.I. Eksperimental'naya yadernaya fizika. Lektsiya №6. Gamma-izlucheniye yader. [Experimental Nuclear Physics. Lecture No.6. Gamma Radiation of Nuclei] IFTS Mephi. Laboratoriya eksperimental'noy yadernoy fiziki. [IFTIS NRNU MEPhI. Experimental Nuclear Physics Laboratory] 2017, 32 p. <http://enp.mephi.ru> (in Russian).
- [16] Gusev N.G., Dmitriyev P.P. Kvantovoye izlucheniye radioaktivnykh nuklidov. [Quantum Radiation of Radioactive Nuclides]. Moscow. Atomizdat. 1977. 394 p. (in Russian).

Information Transmission Features of Live Mode Radio Channel When Using Unmanned Dosimetry Complex

© 2023 Ivan A. Rodionov, Alexander P. Elokhin², Alexander B. Rakhmatulin³, Sergey E. Ulin⁴, Azizbek I. Majidov⁵, Alexander E. Shustov⁶

National Research Nuclear University (MEPhI), Moscow, Russia

¹uxanson@bk.ru

²elokhin@yandex.ru, ORCID iD: 0000-0002-7682-8504, WoS ResearcherID: F-9573-2017

³sasa-magic@mail.ru

⁴seulin@gmail.com

⁵aimadzhidov@mephi.ru

⁶aeshustov@mephi.ru

Received by the editorial office on 12/21/2022

After revision on 02/10/2023

Accepted for publication 02/21/2023

Abstract. The accident at the Fukushima NPP has revealed a certain drawback of traditional methods of registration of ionizing radiation by means of the automated radiation monitoring system, because in the conditions of the accident at the NPP the monitoring posts of the system were damaged as a result of the tsunami (23 of 24), which did not allow to evaluate the degree of radioactive contamination of the area in the early stages. In such conditions the most promising method of radiation control carried out on the potentially hazardous area is a non-contact method using an unmanned dosimetry complex (UDC), the application of which would reduce the risk of exposure to additional dose loads of personnel carrying out search and reconnaissance work and, additionally, provide management not only with information regarding radioactive contamination of the environment, but also directly provide the results of the search and reconnaissance. However, apart from the equipment used to determine the radiation background (detectors, spectrometers, radiometers, etc.) an important part of the UDC is the organization of the dosimetry complex and the way of information transfer.

A possible variant of data transmission channel from the dosimetry complex installed on the UDC to the operator's personal computer is presented using NRF radio modules as an example.

Keywords: radiation monitoring, radiation safety, dosimetry system, data transmission, radio channel, NRF24L01+PA+LNA module.

For citation: Rodionov I.A., Elokhin A.P., Rakhmatulin A.B., Ulin S.E., Majidov A.I., Shustov A.E. Information Transmission Features of Live Mode Radio Channel When Using Unmanned Dosimetry Complex // Global Nuclear Safety. 2023. No. 1(46). P. 5-13 <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2023-01-01>.