

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА  
МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Е.А. Севрюкова, Е.А. Волкова, А.Е. Баскаков**

*НИУ «МИЭТ», Зеленоград*  
*melaly@mail.ru,*  
*eavolkova2015@mail.ru,*  
*9999924816@ya.ru*

*В статье представлена разработка адаптивного алгоритма работы устройства сбора и передачи данных системы мониторинга окружающей среды, а именно алгоритма опроса сенсоров, алгоритма динамической конфигурации параметров опроса сенсоров, алгоритма формирования пакета данных с последующей передачей, общего алгоритма работы устройства. На основе алгоритмической базы разработана программно-аппаратная платформа макета устройства сбора и передачи данных. В ходе тестирования макета устройства получен сравнительный график кривых изменений измеряемых значений для стандартного и адаптивного алгоритмов.*

*Разработанный адаптивный алгоритм работы устройства сбора и передачи данных позволяет оптимизировать процесс сбора данных с сенсоров и передачу данных с использованием приёмопередающего модуля, что ведёт к увеличению времени автономной работы устройства на 11–25% в зависимости от заданных параметров алгоритма.*

*Ключевые слова: система сбора и передачи данных, концентратор данных, мониторинг окружающей среды.*

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC ENSURANCE  
OF THE HARDWARE AND SOFTWARE SUITE  
OF ENVIRONMENTAL MONITORING**

**E.A. Sevryukova, E.A. Volkova, A.E. Baskakov**

*National Research University of Electronic Technology, Zelenograd*  
*melaly@mail.ru,*  
*eavolkova2015@mail.ru,*  
*9999924816@ya.ru*

*The paper presents the development of an adaptive algorithm for the operation of a device for collecting and transmitting data from an environmental monitoring system, namely, an algorithm for polling sensors, an algorithm for dynamically configuring parameters for polling sensors, an algorithm for generating a data packet with subsequent transmission, and a general algorithm for the operation of the device. Based on the developed algorithmic base, a hardware and software platform for a model of a data acquisition and transmission device has been developed. In the course of testing the device's layout, a comparative graph of the curves of measured values for standard and adaptive algorithms was obtained.*

*The developed adaptive algorithm of the device for collecting and transmitting data allows to optimize the process of collecting data from sensors and transmitting data using a transceiver module, which leads to an increase in the battery life of the device by 11-25% depending on the specified algorithm parameters.*

*Key words: data acquisition and transmission system, data concentrator, environmental monitoring.*

## **Введение**

В настоящее время существует тенденция сбора и обработки разнородных данных с целью сбора статистической информации или прогнозирования событий. Сбор данных в сенсорной системе в реальном времени позволяет незамедлительно реагировать на возникновение различных ситуаций. Известные системы сбора и обработки данных в большинстве являются узкоспециализированными продуктами, зачастую без возможности построения мультивендорной архитектуры.

Передача данных в таких системах возможна как по проводным, так и по беспроводным каналам связи. Использование беспроводных каналов связи существенно расширяет территориальный охват системы, но накладывает ограничения на программную и аппаратную составляющие конечных устройств системы. Таким образом, когда требуется сбор данных с удалённых устройств, используются различные технологии передачи данных (GSM, Wi-Fi, Bluetooth и др.). В большинстве случаев оконечные устройства не имеют постоянного источника питания, который можно использовать для сенсорных узлов, в таких случаях в нём используется аккумулятор в качестве основного или резервного источника питания. Следовательно, в таких устройствах необходимо использовать энергоэффективную программно-аппаратную платформу, а также применять методы оптимизации процессов сбора, обработки или передачи данных [1–3].

Бюджетные решения для регистрации данных всё чаще используются в различных областях, требующих сбора данных с ограниченного спектра сенсоров [4–5]. Благодаря многочисленным преимуществам автоматических измерений данные собираются непрерывно на протяжении всей практики с минимальным вмешательством человека [6–8].

Таким образом, разработка алгоритмической базы оконечного устройства сенсорной системы является актуальной задачей, поскольку позволяет оптимизировать ряд процессов сбора и передачи данных с сенсоров.

### **1. Аппаратная платформа устройства сбора и передачи данных**

Большинство известных аналогов разрабатываемого устройства построены на базе микроконтроллерных и микропроцессорных систем с ограниченным спектром используемых интерфейсов передачи данных, что ослож-

няет связь между двумя и более устройствами разных производителей. Предлагаемое решение даёт возможность использования модульной структуры устройства, тем самым повышая степень интеграции разнородных сенсоров в систему. Базовым набором протоколов информационного обмена является сочетание I2C, UART, SPI. При наличии вышеуказанных протоколов возможно подключение необходимых модулей в уже работающую систему (модуль расширения интерфейсов, модуль приёма-передачи данных, модуль хранения данных и т.д.).

Большинство микроконтроллеров с возможностью программирования позволяют использовать вышеуказанные интерфейсы и, в отличие от микропроцессорных систем, не так требовательны к питанию.

Таким образом, на рис. 1 представлена схема аппаратной составляющей устройства сбора и передачи данных, которое является совокупностью микроконтроллера, датчиков и модуля передачи данных (в данном случае приёмопередатчиком с использованием LoRa модуляции) и выполняет функцию концентратора данных.

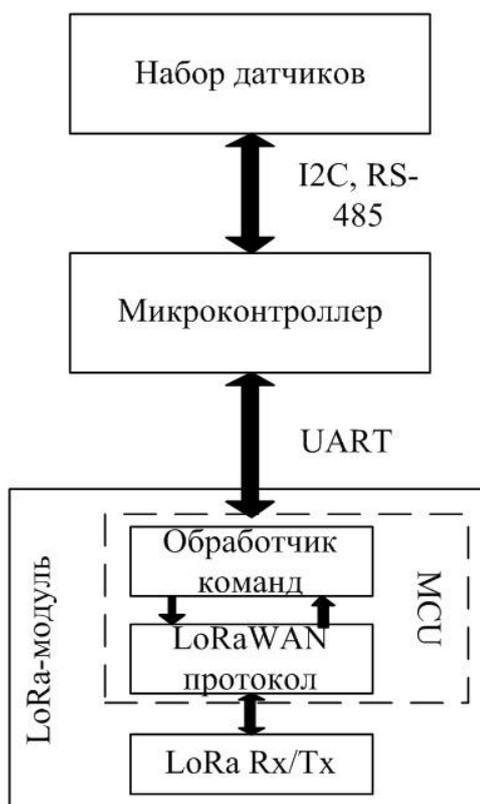


Рис. 1. Схема аппаратной составляющей устройства сбора и передачи информации

## 1.2. Разработка алгоритмической части устройства сбора и передачи данных

Известные решения в области автоматизированного сбора и передачи данных с сенсоров имеют ограниченные возможности, базой которых являются процедуры: сбора данных с сенсоров, хранения данных, передачи данных.

Кроме этого, вышеуказанные устройства имеют подключение к стационарным источникам питания или используют подключение к аккумуляторам повышенной ёмкости. Этот подход к организации схемы электропитания устройства обусловлен использованием неоптимальных методов обработки и передачи информации: данные принимаются устройством с фиксированным периодом опроса и, как правило, сразу же передаются для последующей обработки. Период передачи данных в таком случае совпадает с периодом опроса сенсоров, но большинство таких данных не несёт смысловой нагрузки, так как показания сенсоров за короткий промежуток времени практически не изменяются. Сбор данных по такой схеме создаёт дополнительную вычислительную нагрузку на оконечных устройствах. Кроме этого, устройства с подобным алгоритмом работы имеют меньший временной ресурс работы, так как при каждой передаче данных тратится дополнительная энергия на данные «дубликаты» [9, 10].

Для решения указанной проблемы необходима разработка адаптивного алгоритма работы устройства сбора и передачи данных, исключающего передачу повторяющихся данных, получаемых с сенсоров, а также динамическую конфигурацию периода сбора данных с сенсоров.

Для адресации сенсоров, подключённых к конечному устройству, используется матрица параметров, включающая в себя информацию об идентификаторе, количестве циклов до опроса и типе для каждого сенсора. Первым этапом алгоритма опроса сенсоров является чтение текущей конфигурации из матрицы параметров. Если значение количества циклов до опроса сенсора равно нулю, то на сенсор (или группу сенсоров) с соответствующим идентификатором подаётся питание. При использовании интерфейса подключения сенсоров с общей шиной происходит включение всех сенсоров, подключённых к данной шине. При этом использование разнородных сенсоров в устройстве предполагает индивидуальную инициализацию для каждого из них, для этого используется указатель типа сенсора и интерфейса для соединения с ним. Следующим шагом является чтение текущих параметров сенсора или, если ответ от сенсора не получен в течение предварительно заданного промежутка времени, запись флага ошибки чтения данных с указанием уникального идентификатора сенсора.

Принятые данные записываются во временную память устройства для дальнейшей обработки, после чего идёт отключение питания опрашиваемых сенсоров. На рисунке 2 представлен алгоритм опроса сенсоров.

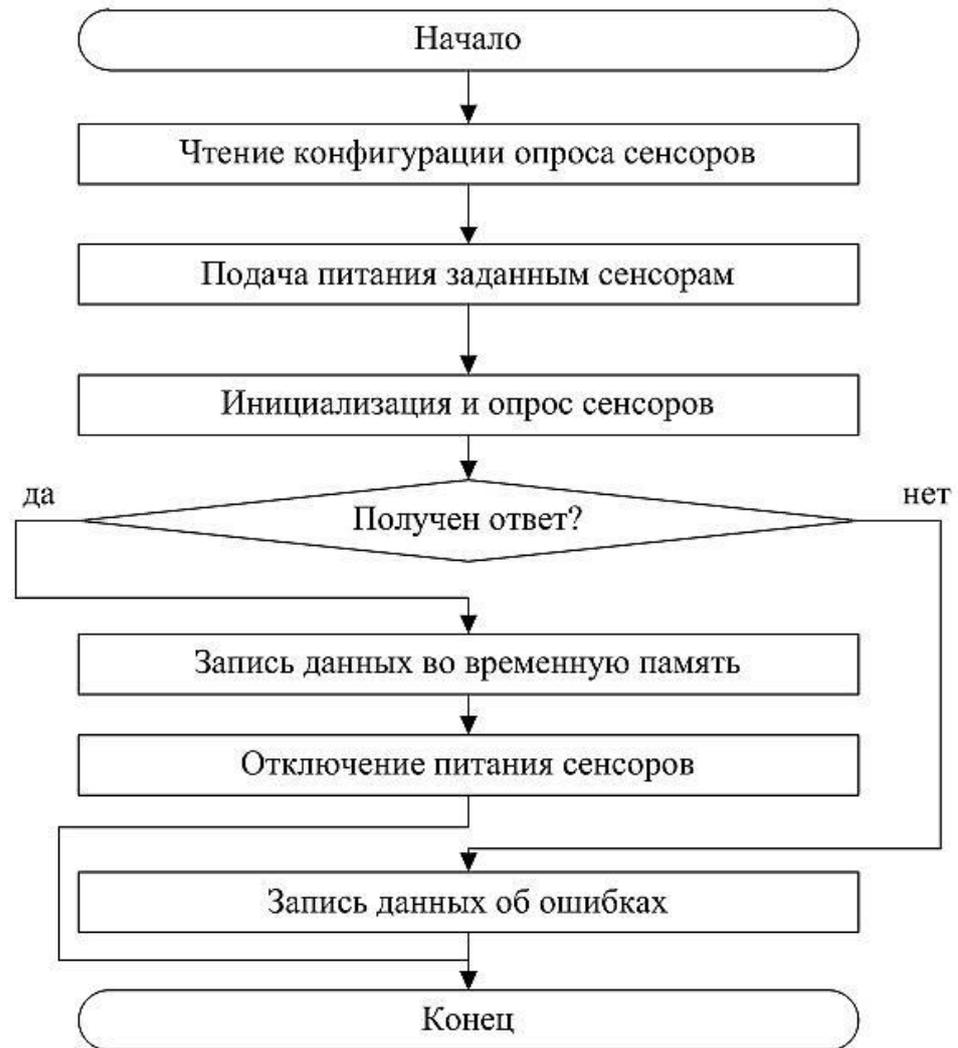


Рис. 2. Алгоритм опроса сенсоров

Следующим шагом является конфигурация параметров опроса сенсоров, который начинается с чтения данных из временной памяти устройства. Полученные значения сравниваются с предыдущими значениями для каждого из сенсоров, если показания отличаются менее чем на предварительной заданный параметр  $D_{\text{мин}}$  или более чем  $D_{\text{макс}}$ , то происходит изменение конфигурации опроса сенсора; если же показания не выходят за границы  $D_{\text{мин}} - D_{\text{макс}}$ , то изменение конфигурации не выполняется. На рисунке 3 представлен алгоритм конфигурации опроса сенсоров.

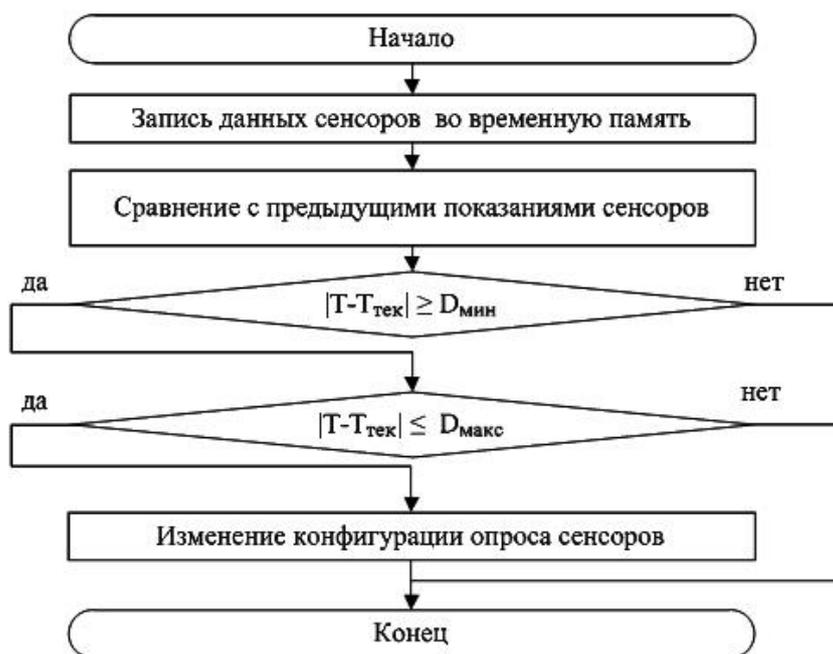


Рис. 3. Алгоритм конфигурации опроса сенсоров

Для обеспечения оптимальной передачи данных по беспроводному каналу разработан алгоритм формирования сетевого пакета, основанный на объединении нескольких значений снятых параметров с сенсоров в одну транспортную структуру для передачи, что сокращает энергетические затраты за счёт меньшего количества включений приёмопередатчика.

Алгоритм передачи данных начинается с формирования пакета данных, в пакет включаются только значения сенсоров, прошедших алгоритм конфигурации опроса сенсоров для исключения передачи дублирующихся значений. В конец сетевого пакета добавляется информация об ошибках, обнаруженных на устройстве. Далее выполняется процедура перевода приёмопередающего модуля из режима пониженного энергопотребления в режим передачи данных путём подачи питания на выводы модуля или отправки на модуль предварительно заданной последовательности (в зависимости от используемого приёмопередающего модуля). Для корректной передачи данных производится проверка доступности канала передачи; если канал занят, происходит ожидание в течение случайного периода времени, не превышающего предварительно заданного значения, после чего происходит передача данных. Опционально выполняется проверка подтверждения приёма данных, при неполучении подтверждения производится повторная отправка информационного сообщения. На рисунке 4 представлен алгоритм передачи информации.

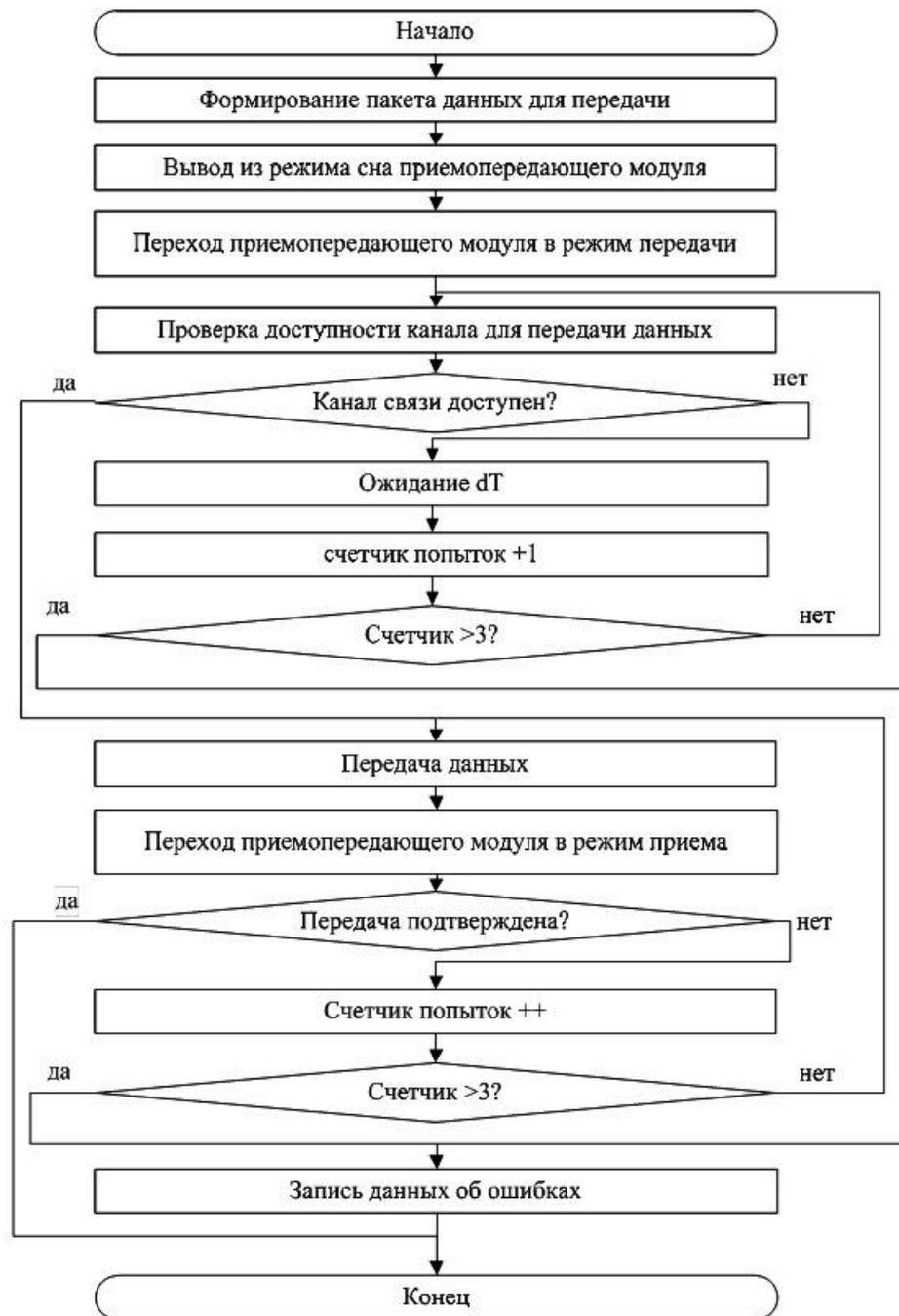


Рис. 4. Алгоритм передачи информации

Разработанные алгоритмы являются составляющими общего алгоритма работы устройства сбора и передачи данных, представленного на рис. 5.

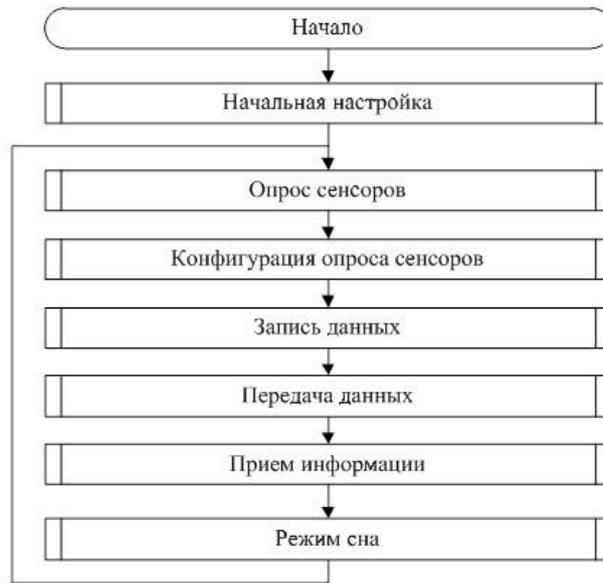


Рис. 5. Адаптивный алгоритм работы логгера

Для проверки функциональности разработанных алгоритмов был собран макет программно-аппаратного комплекса устройства сбора и передачи данных на основе микроконтроллера Atmel 32u4, датчика температуры и влажности DHT22 и приёмопередатчика Semtech SX1276. Макет устройства тестировался в двух режимах работы: режиме фиксированного опроса и передачи информации и с применением разработанных алгоритмов. На рисунке 6 представлено сравнение кривой изменения температуры для обоих случаев.

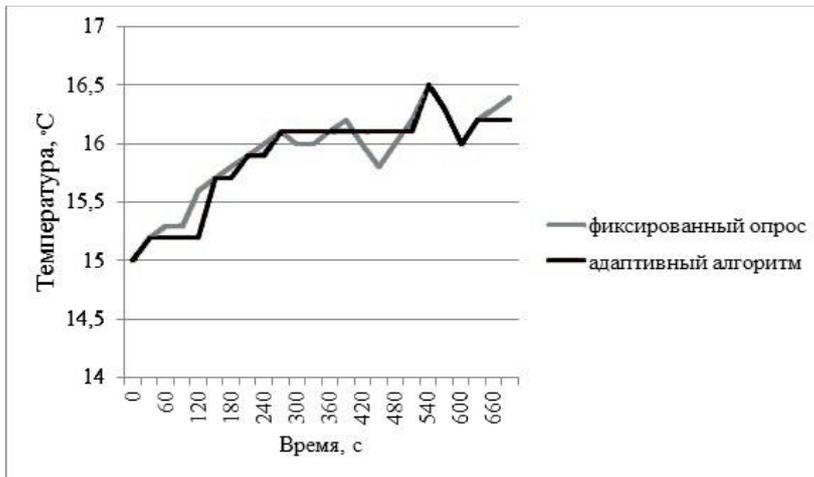


Рис. 6. График кривой полученных значений для фиксированного периода опроса сенсоров и адаптивного алгоритма

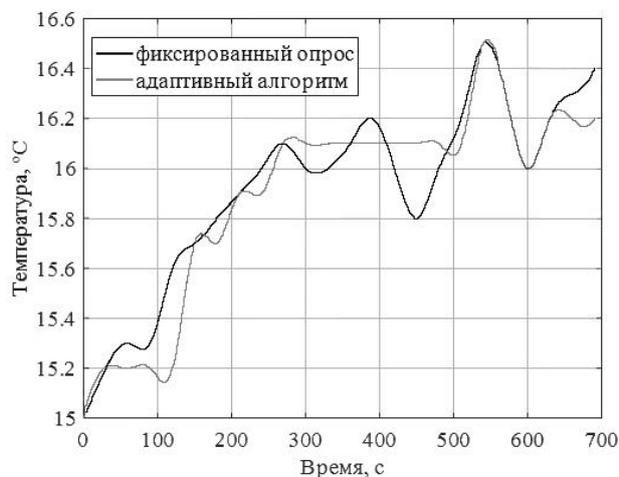


Рис. 6. График кривой полученных значений для фиксированного периода опроса сенсоров и адаптивного алгоритма

Из полученных графиков видно, что при использовании адаптивного алгоритма происходит усреднение полученных параметров значения температуры на отдельных временных промежутках, некоторые значения изменения температуры не были детектированы при проведении эксперимента, но в данном случае разница в  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  не являлась критичной. При опросе значений сенсоров с использованием адаптивного алгоритма были выбраны параметры диапазона  $D_{\text{мин}}-D_{\text{макс}}$  в  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , увеличение периода опроса в 2 раза.

Основными потребителями энергии в макете устройства являются блок микроконтроллера ( $E_{MCU} = 0,061\text{ мДж}$ ), сенсор температуры ( $E_m = 0,26\text{ мДж}$ ) и приёмопередающий модуль ( $E_{Tr} = 0,59\text{ мДж}$ ).

На основе полученных результатов было рассчитано время работы устройства при организации электропитания макета от аккумуляторной батареи ёмкостью 950 мАч и напряжением питания 3,3 В.

Исходя из собранных статистических данных потребления электроэнергии макетом устройства сбора и передачи данных, разработанный алгоритм увеличивает время автономной работы устройства на 11–25% в зависимости от заданных параметров алгоритма.

### Заключение

Разработанный адаптивный алгоритм работы устройства сбора и передачи данных позволяет решить ряд проблем, связанных с энергоэффективностью устройства в целом, а также повысить универсальность платформы за счёт возможности использования модульной структуры программной составляющей устройства, как следствие — возможность использования разнородных сенсоров в одном узле сети.

Разработанный алгоритм интегрирован в макет устройства сбора и передачи данных с целью сбора статистических данных о работе устройства. В ходе тестирования макета получены результаты, отражающие корректность выполнения процедур динамической конфигурации параметров опроса сенсоров.

На основе статистических данных энергопотребления макета получено расчётное значение времени автономной работы устройства сбора и передачи данных для фиксированного периода опроса сенсоров и с использованием адаптивного алгоритма. Расчётное значение времени автономной работы устройства с применением адаптивного алгоритма на 11—25% больше аналогичного параметра в стандартном режиме работы.

### Литература

1. Замай В.И., Добровольский Н.С. Автоматизированная система сбора и передачи данных для целей мониторинга параметров окружающей среды в бассейнах горных рек // *ГеоРиск*. 2012. №. 4. С. 64–68.
2. Соколов А.А. и др. Современные инструменты автоматизированного сбора и систематизации данных с устройств учёта потребления энергоресурсов и датчиков // *Проблемы науки*. 2016. № 12 (13).
3. Carosso L. et al. A LoRaWAN based network for monitoring operation of environmental pollution and meteorological parameters using public transport // *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2018. V. 20. P. 17520.
4. Mikhaylov K. et al. LoRa WAN for Wind Turbine Monitoring: Prototype and Practical Deployment // *2018 10th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)* // IEEE, 2018. P. 1–6.
5. Gambiroža J.Č. et al. Capacity in LoRaWAN Networks: Challenges and Opportunities // *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)* // IEEE. 2019. P. 1–6.
6. Lavric A., Petrariu A.I. LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT // *2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* // IEEE. 2018. P. 74–77.
7. Ayoub W. et al. Internet of Mobile Things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs standards and Supported Mobility // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2018. V. 21. No. 2. P. 1561–1581.
8. Hayter G.A. et al. Method and system for providing calibration of an analyte sensor in an analyte monitoring system: pat. 9408566 USA. 2016.
9. Yang J. et al. A real-time monitoring system of industry carbon monoxide based on wireless sensor networks // *Sensors*. 2015. V. 15. No. 11. P. 29535–29546.
10. Jin L. et al. Self-powered wireless smart sensor based on maglev porous nanogenerator for train monitoring system // *Nano Energy*. 2017. V. 38. P. 185–192.