

УДК 004.031.6

Разработка и испытание комбинированной системы глобального мониторинга подвижных объектов

Пестряков А. В.

*Московский технический университет связи и информатики
улица Авиамоторная, 8а, г. Москва, 111024, Российская Федерация
pestryakov@mail.ru*

Получено: 2 июня 2022 г.

Отрецензировано: 5 июня 2022 г.

Принято к публикации: 5 июня 2022 г.

Аннотация: В статье описывается комбинированная система глобального мониторинга подвижных объектов. Рассмотрены общие подходы к решению задачи слежения за подвижными объектами, находящимися в любой точке на поверхности Земли. Отмечаются недостатки и ограничения существующих систем и предлагаются пути их устранения за счет использования комбинированной системы, сочетающей глобальность спутниковых систем с преимуществами систем интернета вещей. Описываются вариант практической реализации комбинированной системы глобального мониторинга и результаты ее испытания в условиях реальной эксплуатации в различных регионах России.

Ключевые слова: системы спутникового мониторинга, радиобуй, интернет вещей, LoRaWAN, радиометка.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестряков А. В. Разработка и испытание комбинированной системы глобального мониторинга подвижных объектов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2022. Т. 5, № 2. С. 185—195.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Пестряков, А. В. Разработка и испытание комбинированной системы глобального мониторинга подвижных объектов / А. В. Пестряков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2022. — Т. 5, № 2. — С. 185—195.

1. Введение

В настоящее время широкое распространение получили системы спутникового мониторинга, предназначенные для сбора, обработки и

предоставления конечному пользователю информации, поступающей с радиометок, установленных на подвижных объектах, таких как: автомобили, корабли, метеорологические и экологические буи, дрейфующие льдины, сухопутные и морские млекопитающие и т. п. Однако многочисленные системы спутникового мониторинга, известные к настоящему времени, не всегда могут решать конкретные задачи исходя из технических или экономических ограничений. В данной работе рассмотрен вариант комбинированной (гибридной) системы спутникового мониторинга с применением технологии интернета вещей. Предлагаемая система свободна от многих недостатков, как первой, так и второй подсистем, лежащих в ее основе, что позволяет существенно расширить ее область применения или улучшить основные технические и экономические показатели.

2. Современное состояние и основные характеристики систем спутникового мониторинга

История развития таких систем насчитывает уже более 40 лет. Зарождение этой отрасли пришлось на начало 80 годов XX века. Были созданы системы «Argos», «Inmarsat» и «КОСПАС-SARSAT». Позднее создаются система спутниковой связи «Iridium» и отечественная система «Гонец», которые используются для мониторинга [1—3].

Несмотря на бурное развитие этих систем, лишь немногие обеспечивают необходимое покрытие всей земной поверхности и требуемые эксплуатационные характеристики. Первое требование для систем мониторинга не так критично, как для систем спутниковой связи, и им можно пренебречь, если задержки в получении необходимой информации допустимы при решении конкретных задач. В тоже время, поскольку объем передаваемой информации в системах мониторинга существенно меньше (чаще всего это координаты объекта, его идентификатор, параметры окружающей среды и т. п.), протокол передачи может быть также существенно проще, чем в системах связи. При этом скорости передачи информации и полоса частот сигнала также значительно меньше. Это позволяет предельно упростить реализацию радиометки, уменьшить массу, габариты и потребляемую мощность и, соответственно, увеличить время ее работы от автономного источника питания.

Одной из наиболее популярных открытых (не аварийных) систем глобального сбора и позиционирования данных является система *Argos*, которая функционирует с 1978 г. [4—7]. Она базируется на спутниках серии *NOAA* (Национальное управление по исследованию океана и атмосферы, США) и дополняющих друг друга Глобальных центрах обработки данных, которые находятся во Франции, США и Австралии (рис. 1).

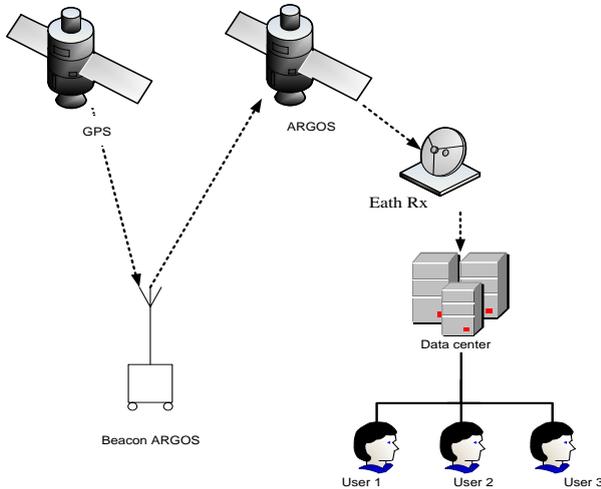


Рис. 1. Обобщенная структура системы Аргос.

Fig. 1. Generalized structure of the Argos system

В течение многих лет МТУСИ ведет исследования, разработку и производство сертифицированных радиометок системы Аргос (рис. 2) для решения задач мониторинга перемещения различных сухопутных и морских млекопитающих [8—10].

ARGOS Services | Applications | System | Publications | Information | User Area

Argos > User area > Manufacturer list > Manufacturers

Manufacturers

- **Certified manufacturers**
- **Integrators**

The following icons indicate the type of applications being served:

bird tracking terrestrial animal tracking marine animal tracking ocean & climate studies

List of certified Argos transmitter manufacturers

Display manufacturers only from: Russia

	Manufacturers	Contacts	
	MTUCI	N. N. Filimonov	8a, ul. Aviamotornaya 111024 Moscow Russia E-mail: nnf1955@yandex.ru Tel: +7 495 957 7704

Рис. 2. МТУСИ как сертифицированный производитель радиометок на сайте Аргос.

Fig. 2. MTUCI as a certified manufacturer of radio tags on the Argos website

Спутники системы *ARGOS* находятся на полярной орбите на высоте 850 км. Это требует достаточно большой мощности сигнала, излучаемого радиометкой, для обеспечения необходимой энергетике радиолинии. Ограниченный энергетический ресурс радиометок при их малых габаритах не позволяет обеспечить длительное время их работы от одного комплекта батарей, которые чаще всего невозможно поменять из-за особенностей условий эксплуатации. Кроме того, зона покрытия одного спутника — круг диаметром примерно 5000 км. Соответственно, период видимости радиометки для одного спутника составляет около 10 минут. Небольшое число таких спутников не позволяет обеспечить сплошное покрытие (особенно вблизи экватора), что приводит к перерывам передачи информации. Необходимо также отметить высокую стоимость радиометок (до нескольких тысяч евро), которые до сих пор изготавливаются лишь небольшими партиями для решения конкретных задач мониторинга.

3. Предлагаемая комбинированная система

Для устранения перечисленных выше негативных факторов предлагается использовать комбинированную (гибридную) систему глобального мониторинга в сочетании с технологией интернета вещей (*IoT*). В такой системе радиометки могут иметь существенно меньшую стоимость, массу, габариты и потребляемую мощность, обеспечивать сбор информации без перерывов практически с любой заданной дискретностью во времени, и при этом работать в любой местности, не требуя подключения к интернету (рис. 3).

Сеть радиометок системы *IoT* осуществляет сбор информации от объектов мониторинга и передачу ее на базовую станцию, где производится первичная обработка, объединение и подготовка пакета для передачи его на единственный радиобуй системы космического мониторинга (например, Аргос). Такая система позволяет при сравнительно небольшой стоимости осуществлять слежение за огромным количеством подвижных объектов в заданном районе (например, за стадами домашних или диких животных, передавая не только информацию об их координатах, но и такие важные параметры, как температуру тела и т. п., что важно для предотвращения развития заболеваний). Малые габариты и стоимость меток *IoT* позволяют проводить исследования поведения мелких млекопитающих, что было бы невозможно с использованием радиометок традиционных спутниковых систем.

Системы *IoT* активно применяются для решения самых разнообразных задач, и к настоящему времени известно уже несколько десятков стандартов таких систем [11]. По различным аспектам *IoT* работу ведет

большое число комитетов по стандартам Института инженеров по электронике и электротехнике (*IEEE*) и в рамках организаций по разработке стандартов *IoT* в Канаде, Китае, странах Европы, Индии, Японии, Республике Корея и США реализуются важные национальные проекты.

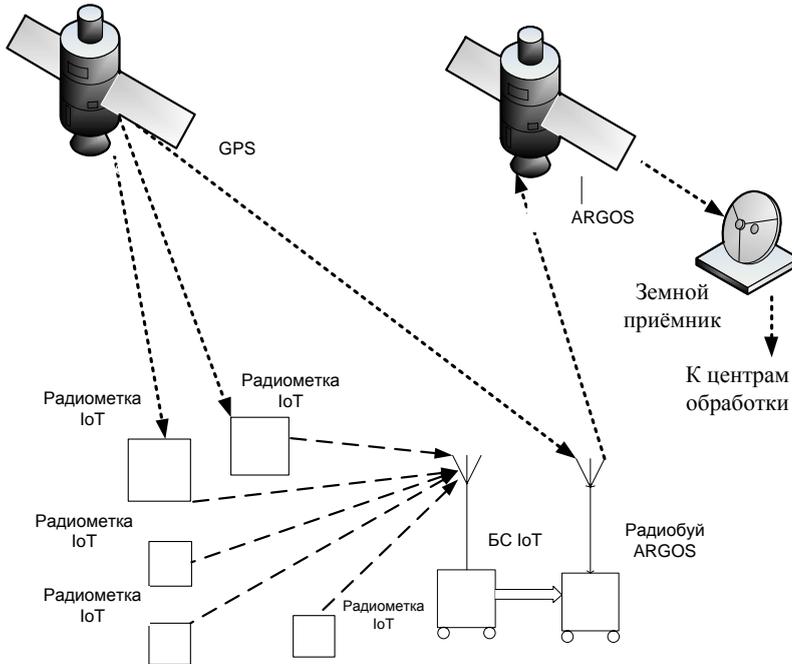


Рис. 3. Обобщенная структура комбинированной системы мониторинга.

Fig. 3. Generalized structure of the combined monitoring system

Варианты протоколов для реализации сетей интернета вещей из года в год меняются — одни успешно развиваются, другие постепенно исчезают, третьи возникают вновь. Поэтому стояла задача выбрать такой вариант, который обладает желаемыми свойствами, просуществует достаточно долго и разрешен для применения в России.

В качестве такого варианта была выбрана сетевая технология *LoRaWAN* [12].

В *LoRaWAN* используется частотный диапазон, разрешенный в России. *LoRaWAN* имеет хороший радиус действия при низком энергопотреблении. Скорость передачи невысокая, но достаточная для мониторинга животных (существенно выше реальных скоростей традиционных радиометок для животных). Данные достаточно хорошо защищены. Это открытый стандарт. Элементная база в свободной продаже, есть вся документа-

ция, и она доступна. Датчики, радиомодули и программное обеспечение этого стандарта только в России делают несколько компаний.

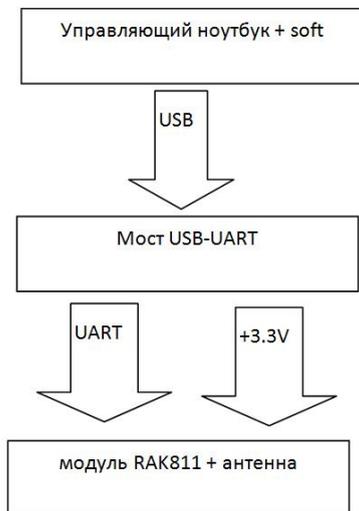
Беспроводная сеть *LoRaWAN* представляет собой совокупность базовых станций — шлюзов (*gateways*), пересылающих сообщения между оконечными устройствами (*end-devices*) и центральным сервером (*Network Server*), и характеризуется «звездной» топологией. Базовые станции (шлюзы) в традиционном варианте связываются с центральным сервером посредством стандартных *IP*-соединений. Связь между шлюзами и оконечными устройствами производится через беспроводные соединения, использующие широкополосную модуляцию *LoRa* [13].

4. Реализация комбинированной системы

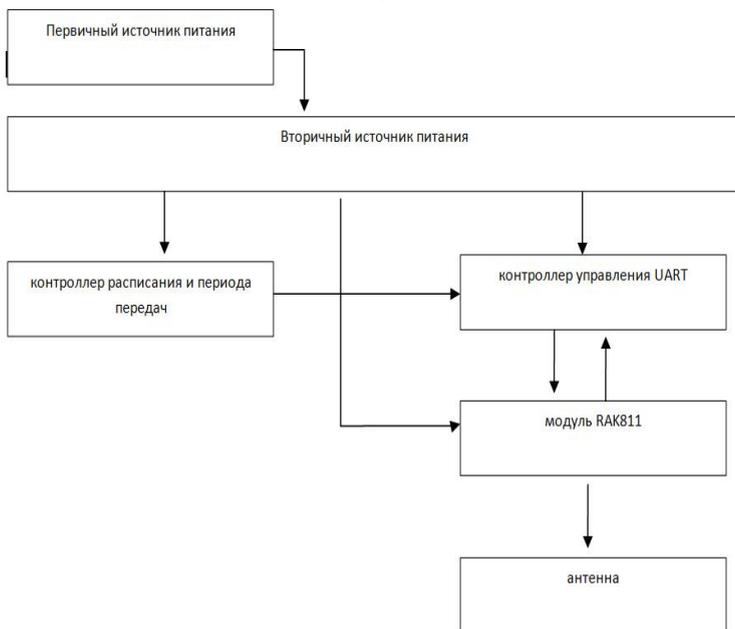
Для реализации макета гибридной системы мониторинга, которая не требует доступа к интернету и обладает достоинствами технологии *LoRa*, потребовалось найти такие модули *LoRa*, которые поддерживают связь «точка — точка», т. е. имеют возможность создания проприетарных протоколов связи в системе. Кроме того, эти модемы должны иметь невысокую цену. В результате были выбраны модули *RAK811* производства компании «*SHENZHEN RAKWIRELESS TECHNOLOGY*». Стоимость *RAK811* от производителя — 11 USD и меньше в зависимости от партии. Радиомодуль *RAK811* позволяет построить радиосеть типа «звезда» или реализовать простой обмен между двумя точками с минимумом инженерных затрат. Модуль включает в себя радиочастотный приемопередатчик *SX1276*, малопотребляющий микроконтроллер *STM32L151* и позволяет организовать передачу данных на несколько километров в условиях городской застройки. От других *LoRaWAN*-модулей *RAK811* отличается дополнительным малошумящим усилителем, высокостабильным опорным генератором *TCXO* и полным экранированием всех электронных компонентов. Управление модулем производится при помощи простых *AT*-команд.

Основные параметры модуля *RAK811*: диапазон 868 МГц; модуляция *LoRa/FSK/GFSK/OOK*; возможность принимать сигнал на 20 дБ ниже уровня шума; чувствительность до -148 дБм; дальность связи до 15 км на открытом пространстве; регулируемая выходная мощность от 5 до 20 дБм; низкое потребление (500 нА) обеспечивает до 10 лет работы от батареи; настраиваемый интерфейс управления через *UART*; размеры 22×14×1.7 мм; рабочая температура -40...+85 °С.

Структурная схема макета радиометки *Lora* и базовой станции приведены на рисунке 4 (а и б соответственно).



а)



б)

Рис. 4. Структурная схема макета радиометки Lora и базовой станции.
Fig. 4. Structural diagram of the layout of the Lora radio tag and the base station

В качестве программного обеспечения управляющего ноутбука была написана простейшая программа отправки/приема данных по мосту *USB-UART*.

Компоновка базовой станции и одного из вариантов радиометки приведены на рисунке 5 (а, б, в).

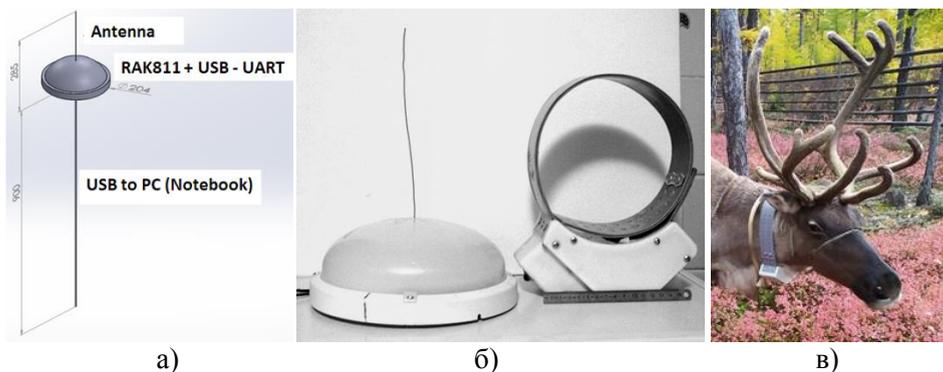


Рис. 5. Конструкция базовой станции и радиометки.

Fig. 5. The design of the base station and radio tag

5. Испытания комбинированной системы

Испытания макета системы мониторинга проводились с целью проверки работоспособности выбранной концепции и определения ее предельных характеристик.

Испытания в лабораторных условиях подтвердили все заявленные производителями показатели. Однако испытания в реальных условиях на местности (в Рязанской области и Якутии) выявили существенные отклонения от заявленных показателей по предельной дальности связи от меток *LoRa* до базовой станции.

Так, если в Рязанской области на открытой местности, когда базовая станция была расположена на высоте 10 метров, удавалось обеспечивать дальность связи до 9,5 км, то в Якутии в тайге она не превышала 2 км. Небольшая дальность действия системы в последнем случае объясняется небольшой высотой подъема передающей и приемной антенн (около 1,5 метров), а также экранирующим влиянием тайги.

6. Заключение

Созданная гибридная система глобального мониторинга обеспечивает выполнение возложенных на нее задач. Однако без эффективной антенны

радиометок и существенной высоты подъема антенны базовой станции зона обслуживания системы сравнительно невелика (практически никогда не достигает заявленной производителями RAK811 дальности связи до 15 км).

Список литературы

1. Ионов В. В., Пестряков А. В. Современное состояние систем космического мониторинга за подвижными объектами на территории России // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6, № 1. С. 24—27.
2. Ionov V. V., Pestryakov A. V. Research of Problems and Prospects of Development of Russian Space Monitoring Systems. В сб. : 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 — Conference Proceedings. 2021. С. 9488383.
3. Ionov V. V., Pestryakov A. V. Comparative Analysis of Subscriber Devices of Space Monitoring Systems. В сб. : 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416027.
4. ARGOS Platform Transmitter Terminal (PTT) and ARGOS Platform Message Transceiver (PMT). General Specification. — ADII-SP-423-601-CNES. Iss. 1. Rev. 2. Sept. 12, 2003.
5. Argos/GPS Transmitter Functional Specifications for Fishing Vessel Monitoring. FVT 100 Model. — CLS.DO/NT/99.144. Vers. 2. Rev. 0. Toulouse, November 8, 2004.
6. Argos-3. The New Generation // Argos — Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite. 2008.
URL: http://www.argos-system.org/documents/publications/brochures/argos3_
7. Argos User's manual // Argos — Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite. 2008. URL: http://www.argos-system.org/documents/userarea/argos_manual_
8. Пестряков А. В., Козлов А. В. Реализация передающей платформы системы глобального сбора и позиционирования ARGOS // Т-Comm : Телекоммуникации и транспорт. 2010. Т. 4, № 9. С. 30—32.
9. Козлов А. В., Пестряков А. В. Применение системы глобального сбора и позиционирования данных ARGOS для мониторинга морских млекопитающих // Радиотехника. 2010. № 4. С. 64—68.
10. Ionov V. V., Pestryakov A. V. Methods of Laboratory Testing of Radiometrics of Space Monitoring Systems for Mobile Objects. В сб. : 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2020. С. 9078540.
11. Dinges S. I., Pestryakov A. V. Development Trends of IoT Equipment. В сб. : 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 — Conference Proceedings. 2021. С. 9488391.
12. URL: <https://lora-alliance.org>
13. URL: <http://www.semtech.com>

Информация об авторе

Пестряков Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиооборудование и схемотехника» Московского технического университета связи и информатики, Российская Федерация.

Development and Testing of Combined Global Monitoring Systems for Moving Objects

A. V. Pestryakov

*Moscow Technical University of Communications and Informatics
8a, Aviamotornaya st., Moscow, 111024, Russian Federation
pestryakov@mail.ru*

Received: June 2, 2022

Peer-reviewed: June 5, 2022

Accepted: June 5, 2022

Abstract: *The article describes a combined system for global monitoring of moving objects. General approaches to solving the problem of tracking moving objects located at any point on the Earth's surface are considered. The shortcomings and limitations of existing systems are noted and ways to eliminate them are proposed through the use of a combined system that combines the globality of satellite systems with the advantages of Internet of things systems. A variant of the practical implementation of the combined global monitoring system and the results of its testing in real operation conditions in various regions of Russia are described.*

Keywords: *satellite monitoring systems, radio beacon, internet of things, LoRaWAN, radio tag.*

For citation (IEEE): A. V. Pestryakov, "Development and Testing of Combined Global Monitoring Systems for Moving Objects," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 5, no. 2, pp. 185–195, 2022, doi: 10.29039/2587-9936.2022.05.2.13. (In Russ.).

References

- [1] V. V. Ionov and A. V. Pestryakov, "Current Status of Space Monitoring Systems for Moving Objects on the Territory Of Russia," *Telecommunications and information technologies*, 2019, vol. 6, no. 1. pp. 24–27. (In Russ.).
- [2] V. V. Ionov and A. V. Pestryakov, "Research of Problems and Prospects of Development of Russian Space Monitoring Systems," *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications – Conference Proceedings*, p. 9488383, 2021.
- [3] V. V. Ionov and A. V. Pestryakov, "comparative analysis of subscriber devices of space monitoring systems," *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings*, p. 9416027, 2021.
- [4] "ARGOS Platform Transmitter Terminal (PTT) and ARGOS Platform Message Transceiver (PMT). General Specification," *ADII-SP-423-601-CNES*, iss. 1, rev. 2. Sept. 12, 2003.
- [5] "Argos/GPS Transmitter Functional Specifications for Fishing Vessel Monitoring. FVT 100 Model, CLS.DO/NT/99.144," vers. 2, rev. 0. Toulouse: November 8, 2004.
- [6] "Argos-3. The New Generation," *Argos – Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite*, 2008.
URL: http://www.argos-system.org/documents/publications/brochures/argos3_

- [7] “Argos User’s manual,” *Argos – Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite*, 2008. URL: http://www.argos-system.org/documents/userarea/argos_manual_
- [8] A. V. Pestryakov and A. V. Kozlov, “Implementation of the Transmission Platform of the Argos Global Collection and Positioning System,” *T-Comm: Telecommunications and transport*, vol. 4, no. 9, pp. 30–32, 2010. (In Russ.).
- [9] A. V. Kozlov and A. V. Pestryakov, “Application of the ARGOS Global Data Collection and Positioning System for Monitoring Marine Mammals,” *Radiotekhnika*, no. 4, pp. 64–68, 2010. (In Russ.).
- [10] V. V. Ionov and A. V. Pestryakov, “Methods of Laboratory Testing of Radiometrics of Space Monitoring Systems for Mobile Objects,” *2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*, p. 9078540, 2020.
- [11] S. I. Dinges and A. V. Pestryakov, “Development Trends of IOT Equipment,” *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYN-CHROINFO 2021 – Conference Proceedings*, p. 9488391, 2021.
- [12] URL: <https://lora-alliance.org>
- [13] URL: <http://www.semtech.com>

Information about the author

Alexander V. Pestryakov, Dr. Sci., Professor, Head of the Department of Radio Equipment and Circuit Engineering, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Russian Federation.