

УДК 004.052.32

Анализ возможностей применения подходов самодиагностирования к распределенной радиотехнической системе наблюдения

Журков А. П., Аминев Д. А., Гусева П. А.,
Мирошниченко С. С., Петросян П. А.

Постановка задачи: несмотря на бурное развитие глобальных навигационных систем спутникового позиционирования, систем видеонаблюдения и технического зрения, радиолокация и радиопеленгация широко применяются и в настоящее время, поскольку в удаленных и малоосвоенных районах радиолокаторы и не обнаруживаемые автоматические радиопеленгаторы (АРП) являются одним из основных средств обеспечения полетов. Распределенная радиотехническая система наблюдения (РСН) состоит из аппаратуры местного диспетчерского пункта (МДП), каналов связи и необслуживаемых радиотехнических терминалов (НРТ), которые в зависимости от условий размещения могут быть удалены от МДП на расстояния до нескольких сотен километров. Поэтому актуальной является задача диагностики и определения неисправности НРТ и всей РСН в целом. **Целью работы** является поиск и исследование научно-методических подходов диагностирования сложных распределенных, многопроцессорных вычислительных и радиотехнических систем на предмет их применения в задаче создания метода и математической модели системы автоматизированного диагностирования пространственно-распределенной РСН. Рассматриваются основы теории диагностирования распределенных радиотехнических, цифровых и многопроцессорных систем. Приводится краткое изложение выбранных подходов и их применение относительно РСН. **Результат:** проведена локализация и выявлено концептуальное отношение рассматриваемых подходов к определенным элементам распределенной РСН – АРП, радиолокатору, блокам цифровой обработки данных и управления, системам электропитания, каналобразующей аппаратуры, каналам связи и пр.

Ключевые слова: диагностика, радиотехническая система, сеть связи, математический аппарат, контроль, микропроцессор, память, канал связи, радиопеленгация, радиолокация.

Актуальность

Распределенная на местности радиотехническая система наблюдения (РСН) позволяет определять местонахождение неподвижных наземных станций и перемещение радиостанций наземных транспортных средств, морских судов и самолетов.

Построенная с топологией типа многоуровневая звезда (рис. 1), РСН состоит из аппаратуры местного диспетчерского пункта (МДП), каналов связи (КС) и необслуживаемых радиотехнических терминалов (НРТ), которые в зависимости от условий размещения могут быть удалены от МДП на расстояния до 200 километров. Поэтому актуальной является задача создания системы автоматизированного диагностирования и определения неисправности НРТ и МДП с глубиной поиска до съемного печатного узла и ограниченным сроком восстановления работоспособности РСН [1]. В рамках решения такой задачи, необходимо создавать математическую модель, для которой на начальном этапе нужно провести анализ существующих концепций, методов и подходов научно-методического аппарата к самодиагностированию (СД) электронных и микропроцессорных систем.

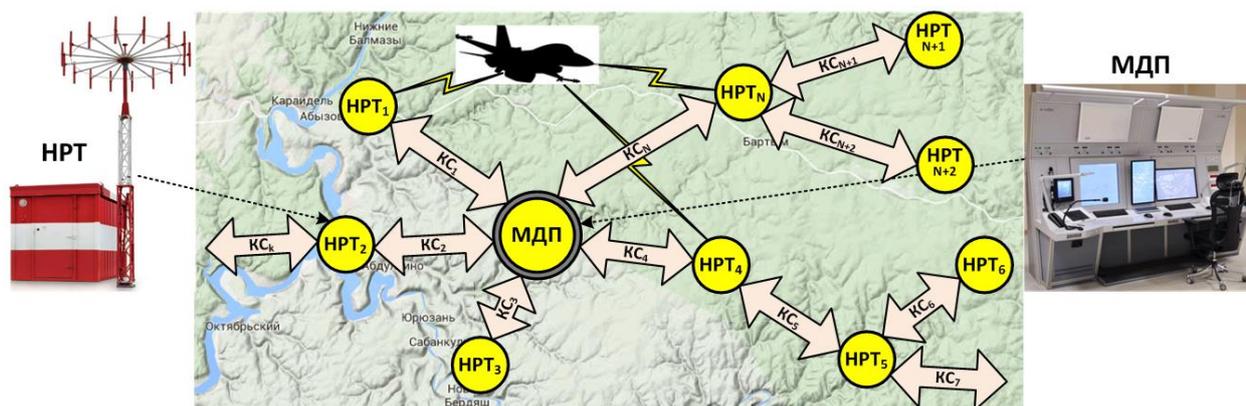


Рис. 1. Наземная распределенная радиотехническая система наблюдения

Постановка задачи

Структурная схема взаимодействия НРТ и МДП представлена на рис. 2. Здесь сигналы от доплеровской антенны и фазированной антенной решетки (ФАР) поступают на аналоговый автоматический радиопеленгатор (АРП) и радиолокатор (РЛ) НРТ соответственно. Построенный на основе процессоров (CPU) и памяти (MEM) блок цифровой обработки сигналов (ЦОС) формирует поток данных о пеленге и радиолокационные данные, которые затем передаются в каналы связи основной (КС) и резервный (КС_р) с помощью каналообразующей аппаратуры (КОА), состоящей из нескольких CPU и MEM. Поскольку НРТ является необслуживаемым, для него необходима автономная система энергообеспечения, которая также имеет в своем составе CPU и MEM, и нуждается в СД. Аналогичная КОА МДП принимает потоки данных от множества НРТ по КС и вводит их в многопроцессорную систему обработки. Подсистемы хранения, мониторинга и система энергообеспечения МДП также содержат CPU и MEM.

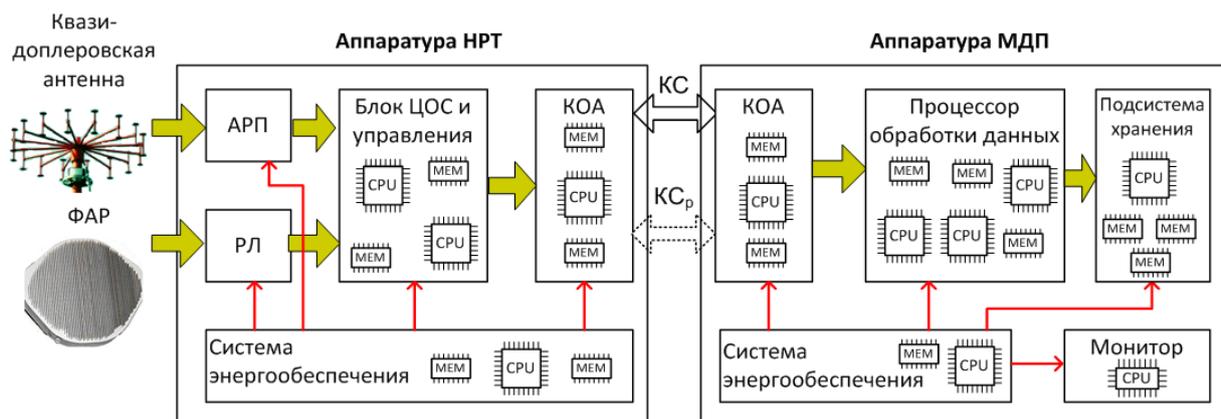


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия НРТ и МДП

Поскольку, как видно из рис. 2, аппаратура НРТ и МДП построена по принципу сложной многопроцессорной системы, целесообразно рассматривать подходы, ориентированные на СД распределенных микропроцессорных систем с каналами связи.

Аналитический обзор

Известен способ [2] определения технического состояния многопроцессорных вычислительных систем путем анализа графа синдромов. В нем определение исправных и неисправных CPU, представленных моделью Препарата-Метца-Чена (ПМЧ), осуществляется посредством предварительной идентификации хотя бы одного исправного, путем выделения и совместного анализа простых путей и двухвершинных подграфов. С помощью исправных CPU по таблице синдромов определяются неисправные и остальные – исправные. Концептуально такой способ подходит для СД процессорных модулей внутри МДП и НРТ.

В подходе [3] представлена организация распределенного СД технического состояния модулей и линий связи (ЛС) цифровых систем, использующая диагностическую модель Барси-Грандони-Маестрини (БГМ), где исправный модуль проверяет, находятся ли пути между исправными, проводится обработка и дешифрация результатов выполненных проверок. Представляется, что этим методом можно осуществлять СД РСН в целом, на системном уровне.

В [4] рассматриваются две модели (ПМЧ) для распределенных систем. При нарушении условия t -диагностирования, дешифрация синдрома выделяет минимальное число блоков, дополнительная проверка которых позволит однозначно определить техническое состояние. Модель позволяет задать критерии цикличности СД и определить максимально возможное число одновременно отказавших блоков РСН, при которых система остается диагностируемой.

Организация [5] диагностирования цифровых систем со структурой симметричного двудольного графа по модели БГМ и точностью до компонента (CPU, MEM, ЛС) использует равное число компонентов 2-х типов: CPU и MEM. На время диагностирования разнотипные устройства объединяются в проверяемые подсистемы одинакового состава. Такой метод можно рассмотреть для детального СД КОА РСН, однако не исключены сложности при его реализации.

В [6] и [13] предложен метод (модель БГМ) СД модулей и ЛС цифровых систем с реконфигурацией, допускающий устойчивые кратные отказы ограниченного числа компонентов. В основу [6] положен принцип расширяющихся областей. В [13] допускается еще одиночный отказ в процессе СД и осуществляется многократный запуск процесса со сравнением результатов двух последних. Метод [6] подходит для СД верхнего уровня РСН, так как адаптирован к изменчивости ее топологии. При использовании [13] в РСН для устранения отказавших компонентов необходимо предусмотреть смену рабочих конфигураций и скользящее резервирование.

В [7] на основе БГМ модели разработан подход к СД отказа в цифровых системах по принципу расширяющихся областей, допускающий устойчивые отказы ограниченного числа компонентов и один отказ за время диагностирования. В соответствии с подходом в РСН придется проводить двукратный запуск процесса СД со сравнением результатов.

В [8] представлен путевой метод СД (модель ПМЧ) технического состояния модулей и ЛС цифровых систем с использованием нулевых путей для выбора проверяющих модулей и передачи оценок результатов проверок. Сначала находятся исправные модули, затем запускается процесс СД состояния остальных компонентов. Метод следует учитывать при создании специального протокола передачи диагностических данных в КС РСН.

В [9] предложен выведенный из модели БГМ подход к организации параллельного контроля больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки, выполняемого посредством 1) параллельной проверки компонентов подсистем первичной раскладки, 2) смежных с узлами первичной и включающих ЛС подсистем справа и снизу. Не смотря на различие в топологиях, последовательность операций этого подхода можно рассматривать при реализации алгоритмов контроля МДП, НРТ и КС в РСН.

В подходе [10] к СД (модель БГМ) устройств и ЛС неоднородных цифровых систем с равным числом CPU и MEM (проверяет CPU) связанные разнотипные устройства объединяются в подсистемы. Допускаются устойчивые отказы ограниченного числа компонентов, отказы во время СД не возникают. Имеющийся в системе диагностический монитор, инициирующий процессы контроля и СД можно использовать в МДП РСН.

В [11] рассматривается системное диагностирование по модели ПМЧ в присутствии множественных неисправностей, анализируются условия, при которых состояние каждого модуля определяется только по исходам тестирования физически связанных с ним модулей (условия самоопределимости). Введен класс локально (t_r/t) -диагностируемых систем, где t – кратность неисправностей, t_r - для которых обеспечивается определение состояния всех модулей системы. Интересной видится возможность обеспечить локальную диагностируемость элементов РСН путем введения избыточности по числу тестов.

В [12] рассмотрены оценки параметров N -модульных самодиагностируемых вычислительных систем с коммутируемым диагностическим графом и моделью ПМЧ. Получены верхние оценки для: $h \leq N + 2t$, где h – число тестовых проверок, достаточных для идентификации состояний всех модулей, t – число неисправных модулей; $z = \log T$, где z – число тактов диагностического эксперимента, позволяющее идентифицировать исправный модуль, T – допустимое число неисправных модулей. Предложенный в подходе [12] алгоритм синтеза диагностического графа необходимо учесть при разработке алгоритмов СД РСН.

В [14] (модель ПМЧ) разработан способ восстановления работоспособности для отказоустойчивых цифровых систем с динамической избыточностью. Способ реконфигурации отказоустойчивого графа использует избыточные хорды для устранения влияния отказавших хорд. Создавая динамическую избыточность в топологии и компонентах РСН можно эффективно восстанавливать ее работоспособность путем однократного диагностирования отказавших компонент.

В [15] по модели ПМЧ исследуется СД модульных вычислительных систем при кратных неисправностях и ненадёжных тестах. Надежность теста, выполняемого неисправным модулем, можно обеспечить усложнением программно-аппаратной части РСН, что приведет к ее удорожанию и увеличению времени контроля, поскольку потребуется хранить эталон в устойчивой к отказам МЕМ и для сравнения применять аппаратуру повышенной надежности. Выявленный в подходе класс скоростных ненадёжных тестов позволяет улучшить показатели эффективности СД РСН.

Выводы

Все рассмотренные подходы основаны на 2-х моделях Препарата-Метца-Чена и Барси-Грандони-Маестрини, причем в модели ПМЧ процесс СД для выявления отказов выполняется один раз, в БГМ – многократно. Также можно выделить специализацию методов по применимости к определенным компонентам РСН:

- цифровые модули внутри НРТ и МДП;
- каналы связи;
- процессор МДП.

Более детально применение методов СД к элементам аппаратуры РСН на различных уровнях её иерархии показано в таблице 1.

Реализация модулей РСН на микропроцессорах и ПЛИС обеспечит их СД с заданными цикличностью, детализацией, и другими параметрами с возможностями диагностирования в режиме реального времени и адаптации к изменениям топологии и структуры РСН при её модификации или модернизации. Для сокращения времени СД и упрощения аппаратуры и программного обеспечения РСН рекомендуется применять ненадежные тесты.

Таблица 1 – Применение методов диагностирования к элементам РСН

Элемент РСН	Метод СД	Примечание
Топология РСН	3, 6, 12, 13, 14	СД верхнего уровня иерархии
НРТ	2, 4, 7	СД и диагностирование соседних НРТ
АРП	11	Аналоговые модули, имеют контрольные точки своего технического состояния
РЛ	11	
Блок ЦОС и управления	9, 10	Реализует алгоритмы СД НРТ
КОА НРТ	5, 10	СД каналов связи и блока ЦОС
Система энергообеспечения НРТ	9, 11	Диагностирует только себя
МДП	2, 4, 7	СД и диагностирование соседних НРТ напрямую и удаленных НРТ через соседние
КОА МДП	5, 10	СД каналов связи и процессора

Элемент РСН	Метод СД	Примечание
Процессор обработки данных	10	Реализует алгоритмы СД МДП и РСН
Подсистема хранения	11	Диагностируют только себя
Монитор	9, 10	
Система энергообеспечения МДП	9, 11	
Каналы связи	3, 6, 8, 13, 14	Передают, в том числе, диагностическую информацию

Литература

1. Аминев Д. А., Журков А. П., Козырев А. А., Увайсов С. У. Алгоритмы работы программного обеспечения микропроцессорных систем контроля аппаратуры пеленгаторной позиции // Труды НИИР. 2014. № 3. С. 11–17.
2. Пархоменко П. П. Определение технического состояния многопроцессорных вычислительных систем путем анализа графа синдромов // Автоматика и телемеханика. 1999, № 5, С. 126–134.
3. Ведешенков В. А. Организация самодиагностирования технического состояния цифровых систем // Автоматика и телемеханика. 2003. № 11. С. 165–182.
4. Богданов Ю. Ю. О двух диагностических моделях распределенных цифровых систем // Автоматика и телемеханика. 1986. № 8. С. 127–134.
5. Ведешенков В. А. Организация диагностирования цифровых систем со структурой симметричного двудольного графа // Проблемы управления. 2009. № 6. С. 59–67.
6. Ведешенков В. А. Самодиагностирование цифровых систем с реконфигурацией // Проблемы управления. 2003. № 4. С. 39–51.
7. Ведешенков В. А. Подход к самодиагностированию возникающего отказа в цифровых системах // Автоматика и телемеханика. 2005. № 4. С. 127–140.
8. Ведешенков В. А. Путевой метод самодиагностирования цифровых систем // Автоматика и телемеханика. 2005. № 3. С. 154–168.
9. Ведешенков В. А. Подход к контролю больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки // Проблемы управления. 2007. № 2. С. 35–39.
10. Ведешенков В. А. Подход к самодиагностированию неоднородных цифровых систем // Автоматика и телемеханика. 2006. № 1. С. 162–177.
11. Димитриев Ю. К. Частичное и полное локальное диагностирование в вычислительных системах с циркулянтной структурой // Автоматика и телемеханика. 2008. № 7. С. 136–145.
12. Белявский В. Е., Валуцкий В. Н., Романкевич А. М., Романкевич В. А. Самодиагностируемые многомодульные системы: некоторые оценки тестирования // Автоматика и телемеханика. 1999. № 8. С. 148–153.

13. Ведешенков В. А. Самодиагностирование возникающих отказов и их устранение в цифровых системах с реконфигурацией // Проблемы управления. 2004. № 3. С. 48–61.

14. Ведешенков В. А. Процедура восстановления работоспособности отказоустойчивых цифровых систем с динамической избыточностью // Автоматика и телемеханика. 2003. № 5. С. 167–179.

15. Димитриев Ю. К., Задорожный А. Ф. Применение ненадёжных тестов для самодиагностики модульных вычислительных систем при кратных отказах // Математические основы надёжности вычислительных и управляющих систем. 2010. № 2. С. 59–73.

References

1. Aminev D. A., Zhurkov A. P., Kozyrev A. A., Uvaysov S. U. Algoritmy raboty programmnoho obespechenija mikroprocessornyh sistem kontrolja apparatury pelengatornoj pozicii [The algorithms used in the software of microprocessor systems monitoring equipment direction finding position]. *Trudy NIIR*, 2014, no. 3, pp. 11–17 (in Russian).

2. Parhomenko P. P. Checking multiprocessor computer systems for serviceability by analyzing their syndrome graphs. *Automation and Remote Control*, 1999, no. 5, pp. 126–134 (in Russian).

3. Vedeshenkov V. A. Self-Diagnosis of Digital Systems. *Automation and Remote Control*, 2003, no. 11, pp. 1794–1809.

4. Bogdanov Yu. Yu. Two diagnostic models of distributed digital systems. *Automation and Remote Control*, 1986, no. 8, pp. 127–134 (in Russian).

5. Vedeshenkov V. A. Organization of diagnosing of digital systems with symmetric bipartite graph structures. *Control Sciences*, 2009, no. 6, pp. 59–67 (in Russian).

6. Vedeshenkov V. A. System-level self-diagnosis of reconfigurable systems. *Control Sciences*, 2003, no. 4, pp. 39–51 (in Russian).

7. Vedeshenkov V. A. An approach to self-diagnosis of a newly developed fault in digital systems. *Automation and Remote Control*, 2005, no. 4, pp. 620–632.

8. Vedeshenkov V. A. A route-oriented self-diagnosis method for digital systems. *Automation and Remote Control*, 2005, no. 3, pp. 479–491.

9. Vedeshenkov V. A. An approach to checking large-scale digital systems with toroidal grid-type structure. *Control Sciences*, 2007, no. 2, pp. 35–39 (in Russian).

10. Vedeshenkov V. A. An approach to self-diagnosis of nonuniform digital systems. *Automation and Remote Control*, 2006, no. 1, pp. 148–160.

11. Dimitriev Yu. K. Partial and complete local diagnosis in computer systems with circulant structure. *Automation and Remote Control*, 2008, no. 7, pp. 1223–1230.

12. Belyavskiy V. E., Valuiskii V. N., Romankevich A. M., Romankevich V. A. Self-diagnosable multimodular systems: some estimates of testing. *Automation and Remote Control*, 1999, no. 8, pp. 148–153 (in Russian).

13. Vedeshenkov V. A. System-level self-diagnosis of arising faults and their elimination in reconfigurable systems. *Control Sciences*, 2004, no. 3, pp. 48–61 (in Russian).

14. Vedeshenkov V. A. Operability Restoration Procedure for Fault-Tolerant Digital Systems with Dynamic Redundancy. *Automation and Remote Control*, 2003, no. 5, pp. 824–834.

15. Dimitriev Yu. K., Zadorozhny A. F. Application of unreliable tests for self-diagnostics of modular computing systems at multiple faults. *Prikladnaya Diskretnaya Matematika*, 2010, no. 2, pp. 59–73 (in Russian).

Статья поступила 23 октября 2015 г.

Информация об авторах

Журков Александр Петрович – аспирант Департамента электронной инженерии. Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета Высшая школа экономики. Область научных интересов: диагностирование радиотехнических систем; системы управления связью. E-mail: petrovyc@gmail.com

Адрес: 123458, Россия, г. Москва, Таллинская ул., д. 34.

Аminev Дмитрий Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ИУ-4 "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры". Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: системы и сети передачи данных; радиоэлектронная аппаратура. E-mail: aminev.d.a@ya.ru

Гусева Полина Александровна – студент 4-го курса кафедры ИУ-4 "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры". Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: моделирование радиотехнических систем; сбор и обработка информации. E-mail: appolinarina.94@mail.ru

Мирошниченко Сергей Сергеевич – студент 4-го курса кафедры ИУ-4 "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры". Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: моделирование радиотехнических систем; проектирование цифровой аппаратуры. E-mail: lurokpro@gmail.com

Петросян Петр Арамович – студент 4-го курса кафедры ИУ-4 "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры". Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: моделирование радиотехнических систем; сбор и обработка информации. E-mail: petrosyan-petr@mail.ru

Адрес: 105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Analysis of the Possibilities of Self-Diagnosis Approaches to Distributed Electronic Surveillance System

A. P. Zhurkov, D. A. Aminev, P. A. Guseva,
S. S. Miroshnichenko, P. A. Petrosjan

Formulation of the problem: in spite of the rapid development of global navigation satellite positioning systems, video surveillance and machine vision, radar and radio direction finding is widely used now, as in remote and underdeveloped areas of radar and show no automatic radio direction finders (RDF) is one of the main means of ensuring flights. Distributed radio system monitoring (RSM) consists of equipment local control point (LCP), communication channels and maintenance-free radio terminals (MRT), which, depending on the conditions of accommodation can be removed from the MRT over distances up to several hundred kilometers. Therefore, problem diagnosis and failure detection MRT and all RSM as a whole is actual. **The aim is** to search and study of scientific and methodical approaches of diagnosing complex distributed, multiprocessor computers and radio systems for their use in the task of creating a method and a mathematical model of the automated diagnosis of spatially distributed RSN. We consider the basic theory of diagnosing distributed radio, digital and multi-processor systems. Is a summary of selected approaches and their application with respect to the RSM. **Result:** Draw localization and identified conceptually the approach to certain elements distributed RSM – RDF, radar, blocks of digital data processing and control, power systems, channel-forming equipment, communication channels and so on.

Keywords: diagnostics, radio system, a communications network, the mathematical apparatus, control, microprocessor, memory, communication channel, radio direction finding, radar.

Information about Authors

Aleksandr Petrovich Zhurkov - The postgraduate student of the Department of Electronic Engineering. Moscow Institute of Electronics and Mathematics National Research University Higher School of Economics. Field of research: diagnostics of technical systems; communication control system. E-mail: petrovyc@gmail.com

Address: Russia, 123458, Moscow, ul. Tallinskaya, 34.

Dmitrij Andreevich Aminev – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor of the Department of "Design and technology of electronic equipment". Bauman Moscow State Technical University. Field of research: systems and data networks, electronic instruments. E-mail: aminev.d.a@ya.ru

Polina Aleksandrovna Guseva – Student of the Department of "Design and technology of electronic equipment". Bauman Moscow State Technical University. Field of research: modeling of radio systems; collecting and processing information. E-mail: appolinaria.94@mail.ru

Sergej Sergeevich Miroshnichenko – Student of the Department of "Design and technology of electronic equipment". Bauman Moscow State Technical University. Field of research: modeling of radio systems; digital hardware design. Tel.:

E-mail: lurokpro@gmail.com

Petr Aramovich Petrosjan – Student of the Department of "Design and technology of electronic equipment". Bauman Moscow State Technical University. Field of research: modeling of radio systems; collecting and processing information. E-mail: petrosyan-petr@mail.ru

Address: Russia, 105005, Moscow, ul. Baumanskaya 2-ya, 5.