

УДК 621.391

Анализ надежности аппаратуры локальной вычислительной сети¹

Карпенко Е. А., Мухтаров А. А., Шегал А. А.

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
ул. Мира, 32, Екатеринбург, 620078, Российская Федерация
ashegal@mail.ru*

Получено: 28 июля 2019 г.

Отрецензировано: 13 сентября 2019 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2019 г.

Аннотация: *В работе представлен материал по анализу и расчету надежности аппаратуры ЛВС Института радиоэлектроники и информационных технологий (ИРИТ — РТФ). Показано, что надежность сети отвечает требованиям современных стандартов. Приводятся рекомендации по модернизации ЛВС, которые позволяют на основе имеющегося оборудования повысить показатели качества ЛВС.*

Ключевые слова: *Локальная вычислительная сеть (ЛВС), надежность, аппаратура связи, линия связи, коммутационные узлы.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Карпенко Е. А., Мухтаров А. А., Шегал А. А. Анализ надежности аппаратуры локальной вычислительной сети // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 3. С. 401—410.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Карпенко, Е. А. Анализ надежности аппаратуры локальной вычислительной сети / Е. А. Карпенко, А. А. Мухтаров, А. А. Шегал // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2019. — Т. 2, № 3. — С. 401—410.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 29-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2019 (Севастополь, РФ, 8—14 сентября 2019 г.).

Reliability analysis of local area network equipment

Evgenij A. Karpenko, Andrey A. Mukhtarov, and Anna A. Shegal
Ural Federal University n. a. first President of Russia B. N. Yeltsin
32, Mira Str., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation
ashegal@mail.ru

Received: July 28, 2019

Peer-reviewed: September 13, 2019

Accepted: September 16, 2019

Abstract: *Paper presents the material of the analysis and calculation of LAN equipment reliability of the Institute of radio electronics and information technology (IRIT–RTF). It is shown that the network reliability meets the requirements of modern standards. Recommendations about upgrade of a LAN which allow to raise LAN figures of merit on the basis of the available equipment are provided.*

Keywords: *Local area network (LAN), reliability, communication equipment, communication line, switching nodes.*

For citation (IEEE): Evgenij A. Karpenko et al. “Reliability analysis of local area network equipment,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 3, pp. 401–410, 2019. (In Russ.).

1. Введение

В соответствии с национальной программой «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] во всех сферах общественной деятельности поставлена задача перехода к цифровым данным.

Решение этой задачи, в частности, зависит от качества предоставления разнообразных информационно-вычислительных услуг пользователям сетей путем организации удобного и надежного доступа к сетевым ресурсам.

Успешная работа Института радиоэлектроники и информационных технологий (ИРИТ — РТФ) и его взаимодействие с другими подразделениями Уральского федерального университета (УРФУ) непосредственно зависит от качества работы ЛВС ИРИТ — РТФ.

Целью предлагаемой работы является исследование надежности ЛВС института, для чего требуется решить следующие задачи:

- провести анализ структуры ЛВС ИРИТ — РТФ;
- выполнить расчет надежности ЛВС;
- на основании анализа работы сети и расчета ее надежности разработать технические решения по модернизации сети.

2. Структура ЛВС ИРИТ — РТФ

ЛВС имеет топологию типа «звезда» (рисунок 1): все узлы связаны с центральным узлом сети (узел А3) с использованием оптической линии связи. На каждом этаже находится по два узла (в коммутационных шкафах), один в левом крыле, второй в правом. Каждый коммутационный шкаф подключает по медной линии все терминальные устройства, находящиеся в аудиториях своего крыла.

Уровень ядра ЛВС построен на базе маршрутизирующих коммутаторов Cisco Catalyst 4500. На коммутаторах ядра сети терминируются магистральные виртуальные сети, образующие магистральный сегмент ЛВС.

Уровень распределения ЛВС организован на базе стеков коммутаторов Cisco Catalyst 3750 и Cisco Catalyst 3850. К коммутаторам распределения подключается оборудование уровня доступа.

Уровень доступа ЛВС реализован на базе коммутаторов Cisco Catalyst 2960 и Cisco Express 500: при этом к коммутатору Cisco Catalyst 2960 идет подключение последующих коммутаторов Cisco Express 500 с использованием соединения типа «звезда» (рисунок 2). Узлы доступа размещены в коммутационных шкафах А0, А1, А2, А3, А4, А5, А6, А7, А8, А9.

Отдельным элементом ЛВС является серверная ферма. Серверы подключаются к коммутатору Cisco Catalyst 3750G.

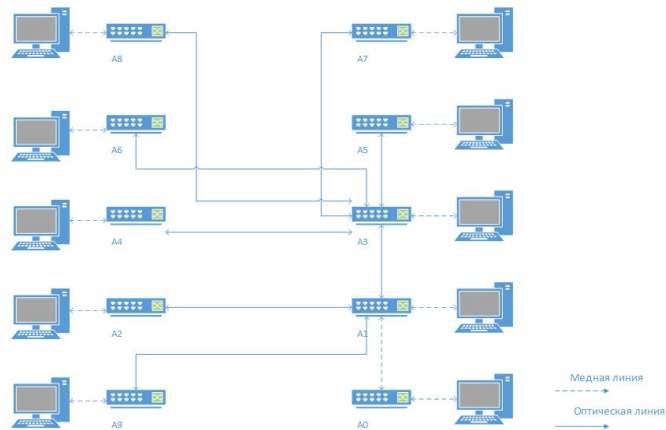


Рис. 1. Схема ЛВС ИРИТ — РТФ: цокольный этаж – коммутационные шкафы (узлы) А9, А0; первый этаж — коммутационные шкафы А2, А1; второй этаж — коммутационные шкафы А4, А3; третий этаж — коммутационные шкафы А6, А5; четвертый этаж — коммутационные шкафы А8, А7.

Fig. 1. The IRIT – RTF LAN scheme: ground floor – nodes A9, A0; ground floor – A2, A1; second floor – A4, A3; third floor – A6, A5; fourth floor – A8, A7

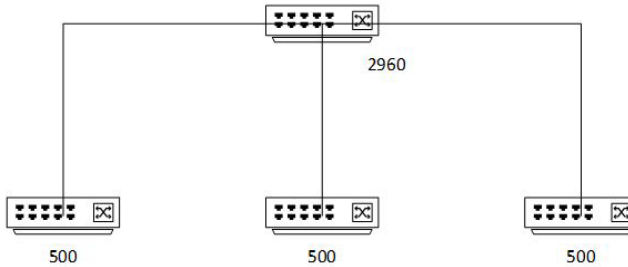


Рис. 2. Схема подключения узлов доступа. 2960 — обозначает коммутатор Cisco Catalyst 2960; блок 500 — коммутатор Cisco Express 500

Fig. 2. Access nodes connection diagram. 2960 refers to the Cisco Catalyst 2960 Switch; Block 500 — Cisco Express 500 Switch

На рисунке 3 для примера приводится компоновка телекоммуникационной стойки А 2, расположенной вблизи аудитории Р-125, а в таблице 1 характеристика ее оборудования.

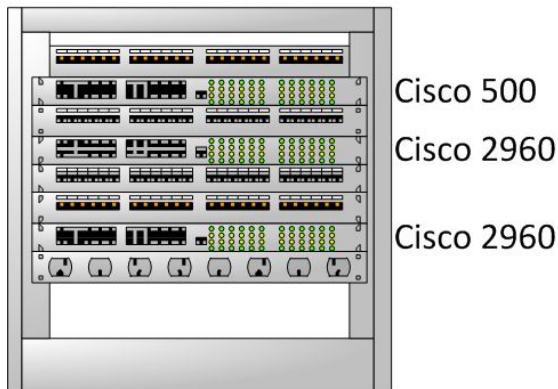


Рис. 3. Компоновка телекоммуникационной стойки А2

Fig. 3. A2 telecommunication rack layout

Таблица 1. Характеристики телекоммуникационной стойки А2

Table 1. A2 Telecom Features

№	Обозначение	Наименование	Кол.
1	Коммутатор Cisco 500, 24 Port	WS-CE500-24TT V02	1
2	Коммутатор Cisco, Catalyst 2960, 24 Port	WS-C2960-24-S V03	1
3	Коммутатор Cisco Catalyst 2960-S, 48 Port	WS-C2960S-48TS-S	1
4	Патч-панель RJ-45 Cat.5, 24 Port		4
5	Сетевой фильтр		1

3. Расчет показателей надежности ЛВС ИРИТ — РТФ

Для анализа надежности ЛВС воспользуемся рекомендациями [2] и применим метод построения структурной схемы надежности (Reliability block diagram – RBD). RBD является графическим представлением работоспособного состояния системы [3], показывающим логическую связь функционирующих блоков, необходимых для успешной работы системы.

В качестве показателя надежности восстанавливаемых блоков используется [4] стационарный коэффициент готовности — K_g , который определяется как

$$K_g = T_n / (T_n + T_v), \tag{1}$$

где T_n – средняя наработка (среднее время работы) между отказами блока, T_v – среднее время восстановления блока.

В соответствии со схемой соединения абонента к сети (для примера рассматривается подключения абонента для левого крыла первого этажа к телекоммуникационному узлу А2, рисунок 4), представим ее структурную схему надежности (рисунок 5). Подобных подключений для ЛВС ИРИТ — РТФ насчитывается 10.

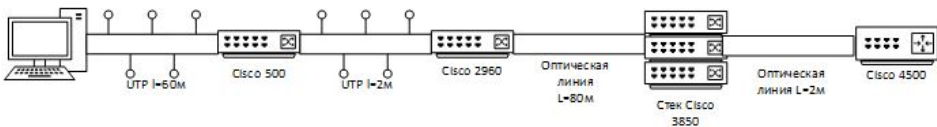


Рис. 4. Схема подключения абонента к сети ИРИТ — РТФ для левого крыла 1 этажа.

Fig. 4. The scheme of connecting a subscriber to the IRIT—RTF network for the 1st floor

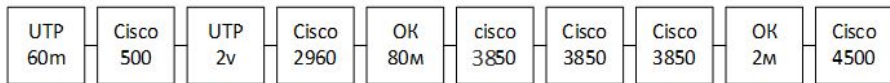


Рис. 5. Структурная схема соединения компонентов ЛВС по надежности для левого крыла 1 этажа. UTP60м, UTP2м — медный провод длиной 60 м и 2 м; блоки ОК80м, ОК2м — оптический кабель длиной 80 и 2 м соответственно.

Fig.5. The structural diagram of the LAN connections components. UTP60m, UTP2m – copper cable 60 m and 2 m long; blocks ОК80m, ОК2m – optical cable 80 and 2 m long, respectively

Согласно [5, 6] для последовательной по надежности схеме соединения элементов коэффициент готовности системы определяется как

$$K_{гс} = \prod K_i, \tag{2}$$

где $K_{гс}$ — коэффициент готовности системы подключения абонента к узлу А2, K_i — коэффициент готовности любого i -блока ($i = 1, 2, \dots, 10$), представленного на рисунке 5.

Таким образом,

$$K_{гсА2} = K_{УТП60м} * K_{сиско500} * K_{УТП2м} * K_{сиско2960} * K_{ОК80м} * K_{сиско3850} * K_{сиско3850} * K_{сиско3850} * K_{ОК2м} * K_{сиско4500} \quad (3)$$

Для расчета требуемых показателей надежности воспользуемся технической документацией для сетевого оборудования [7—11] и рассчитаем коэффициенты готовности устройств (таблица 2).

Таблица 2. Показатели надежности для сетевого оборудования

Table 2. Reliability indicators for network equipment

Сетевое устройство	Время наработки на отказ — Тн (час)	Интенсивность отказов — λ (1\час)	Время восстановления — Тв (ч)	Коэффициент готовности — Кг
Cisco Catalyst 2960-24TT-L	407707	$2,45 \cdot 10^{-6}$	2	$K_{сиско2960} = 0,99999$
Cisco Catalyst WS-C4500X-24X-ES	209330	$4,77 \cdot 10^{-6}$	2	$K_{сиско4500} = 0,99999$
Cisco Catalyst Express 500-24LC	282705	$3,53 \cdot 10^{-6}$	2	$K_{сиско500} = 0,99999$
Cisco Catalyst WS-C3850-24S	300760	$3,32 \cdot 10^{-6}$	2	$K_{сиско3850} = 0,99999$
Cisco Catalyst 3750X-24T	189704	$5,27 \cdot 10^{-6}$	2	$K_{сиско3750} = 0,99999$

Длина линий связи подключения абонентов для всех узлов ЛВС ИРИТ — РТФ приводится в таблице 3.

Таблица 3. Длина линий связи подключения коммутационных узлов к абоненту
Table 3. The length of communication lines connecting switching nodes to the subscriber

Наименование	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
УТР(м)	60	55	57	60	58	50	49	48	60
Cisco 500	+	+	+	+	+	+	+	+	+
УТР(м)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cisco 2960	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ОК(м)	30	2	50	2	80	45	90	70	130
Стек 3850				+	+	+	+	+	+
Стек 3750	+	+	+						
ОК (м)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cisco 4500x	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Для вычисления коэффициентов готовности линий связи воспользуемся выражением, предложенным в [6]:

$$T_{н}(L) = T_{нз} (L_{з}/L), \quad (4)$$

где $T_n(L)$ — зависимость средней наработки между отказами линии связи от ее длины L , $T_{нэ}$ — средняя наработка между отказами для линии связи эталонной длины, $L_э$ — эталонная длина кабельной линии.

Известно [6], что среднее число отказов оптического кабеля длиной 100 км за год (8760 ч) — $\lambda_{ОК} = 0,34$ отк/год.

Следовательно, рассматривая установившийся режим [4], для которого $T_{нОК} = 1/\lambda_{ОК}$, можно определить, что средняя наработка между отказами оптической линии связи длиной 100 км = 25773 ч.

Для кабеля категории UTP длиной 100 м наработка между отказами $T_{нУТР} = 16337066$ ч.

Заметим, что значение показателя $T_{нУТР}$ (как и аналогичные значения T_n — среднего времени между отказами, представленные в таблице 2) выглядит фантастическим, поскольку оно превышает 10 столетий! Конечно, так однозначно («вульгарно», как отмечал один из первых выпускников РТФ УПИ, д. т. н. Алимов Ю. И. [12]) подходить к этим расчетам нельзя, поскольку данные отражают только вероятность появления внезапного отказа, а старение, отказы искусственного происхождения (умышленные и неумышленные), «моральный износ» не рассматриваются!

С другой стороны, например, для современных цифровых АТС значение коэффициента готовности $K_{гс}$ должно быть $\geq 0,999995$ [13], что подразумевает подобные характеристики средней наработки между отказами компонентов. Зная длину линий связи (таблица 3) и воспользовавшись (4), можно определить значение $T_n(L)$ для всех кабельных соединений.

Согласно [6] среднее время восстановления любого типа кабеля не зависит от его длины. Для оптического кабеля принимается $T_{в ОК} = 4, 24$ ч, а для кабеля категории UTP $T_{в УТР} = 1$ ч.

С учетом (1, 4) и данных, представленных таблицей 3, определим коэффициенты готовности линий связи для наихудшего случая (самых длинных линий связи).

В результате получим, $K_{г УТР} \geq 0,99999997$; $K_{г ОК} \geq 0,9999998$.

Подставляя в (3) исходные данные для расчета, получим для абонентов, подключаемых к коммутационному узлу А2, стационарный коэффициент готовности: $K_{гА2} = 0,999900004$.

Проводя аналогичные расчеты для остальных коммутационных узлов сети, с учетом данных, представленных в таблицах 2 – 3, рассчитаем надежность ЛВС ИРИТ — РТФ: $K_{г ЛВС} = 0,999$.

В соответствии с требованиями к устойчивости функционирования сети передачи данных [14], значение коэффициента готовности — $K_{г}$ должно быть $\geq 0,99$, поэтому можно сделать вывод, что аппаратная надежность ЛВС ИРИТ — РТФ соответствует требованиям стандарта.

4. Рекомендации по модернизации сети

В ходе анализа работы оборудования ЛВС ИРИТ — РТФ выявлено, что часть узлов не справляется с нагрузкой по скорости передачи информации, кроме того, для бесперебойной работы локальной сети необходимо организовать резерв ядра ЛВС, поскольку выход из строя коммутационного узла А3 выводил из строя всю сеть. По указанным причинам был разработан план модернизации ЛВС ИРИТ — РТФ на базе существующего оборудования.

Основная идея заключается в расформировании стеков коммутаторов, построенных на оборудовании Cisco Catalyst 3750 и Cisco Catalyst 3850. Первоначально стек коммутаторов Cisco Catalyst 3750 находился в коммутационном шкафу А1, стек коммутаторов Cisco Catalyst 3850 — в шкафу А3.

Для решения поставленной задачи предлагается установить сетевое оборудование по коммутационным шкафам в соответствии с рисунком 6, вследствие чего будет получено увеличение пропускной способности узла до 10 G. Как следует из рисунка 6, все узлы сети будут подключены к ядру — двум коммутаторам Cisco Catalyst 4500, территориально разделенным. Сами коммутаторы Cisco Catalyst 4500 соединяются друг с другом по технологии Cisco VSS, которая позволяет объединить два физических коммутатора в один логический. Оба коммутатора являются активными и обеспечивают передачу пакетов. При этом управление коммутаторами осуществляется только одним из устройств (по существу, реализуется нагруженное резервирование замещением ядра ЛВС).

5. Выводы

1. Исследована структура и оборудование, применяемое для реализации ЛВС ИРИТ — РТФ.
2. Выполнен расчет надежности ЛВС ИРИТ — РТФ. Надежность сети соответствует требованиям, предъявляемым стандартом [14] к устойчивости работы сети связи общего пользования.
3. Предложены мероприятия, которые позволяют увеличить пропускную способность узла ЛВС до 10 Гбит/с за счет расформирования стеков коммутаторов, построенных на оборудовании Cisco Catalyst 3750 и Cisco Catalyst 3850.
4. Рекомендуется реализовать нагруженное резервирование замещением ядра сети, которое будет построено на двух коммутаторах Cisco Catalyst 4500, территориально разделенных.

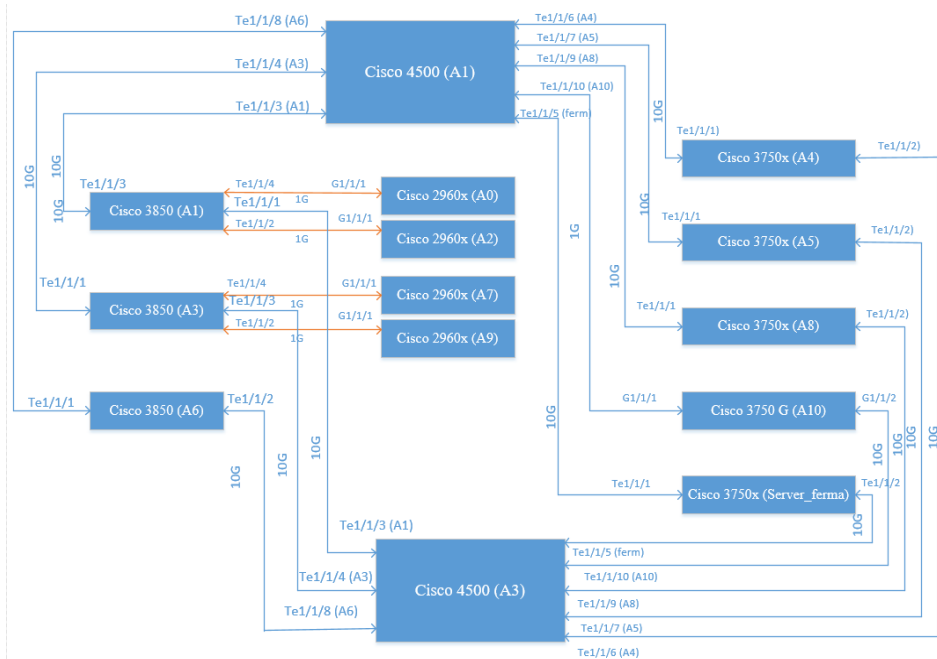


Рис. 6. Предлагаемая схема модернизации ЛВС ИРИТ — РТФ, где А — узел коммутации, server_ferma — коммутатор для подключения серверов.

Fig. 6. The proposed IRIT–RTF LAN modernization scheme, where A is the switching node, server_ferma is the switch for connecting the servers

Список литературы

1. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р.
2. ГОСТ Р 51901.5—2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. М. : Стандартинформ, 2005. 45 с.
3. ГОСТ Р 51901.14—2007. Менеджмент риска. Структурные схемы надежности и булевы функции. М. : Стандартинформ, 2008. 24 с.
4. ГОСТ 27.002—2015. Надежность в технике. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2016. 28 с.
5. Беляев Ю. К., Богатырев В. А., Болотин В. В. Надежность технических систем. М. : Радио и связь, 1985. 608 с.
6. Шувалов В. П., Егунов М. М., Минина Е. А. Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей. М. : Горячая линия — Телеком, 2015. 168 с.
7. Cisco 2960 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2960-series-switches/product_data_sheet0900aecd80322c0c.html (дата обращения: 22.05.2018).
8. Cisco 4500x datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-4500-x-series-switches/data_sheet_c78-696791.html (дата обращения: 22.05.2018).

9. Cisco express 500 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/switches/catalyst-express-500-series-switches/70485-cat-exp-500-config.html> (дата обращения: 22.05.2018).
10. Cisco 3750 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3750-series-switches/product_data_sheet_0900aecd803_71991.html (дата обращения: 22.05.2018).
11. Cisco 3850 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3850-series-switches/datasheet_c78-720918.html (дата обращения: 22.05.2018).
12. Алимов Ю. И. Элементы теории эксперимента. Опытная проверка утверждений математической статистики : учебное пособие для студентов радиотехнического факультета УПИ. Свердловск, Из-во Уральского политехнического института, 1978. 92 с.
13. Приказ Мининформсвязи от 27 сентября 2007 года № 113 / www.minsvyaz.ru.
14. ГОСТ 53111—2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. М. : Стандартинформ, 2008. 11 с.

Информация об авторах

Карпенко Евгений Андреевич — выпускник 2018 г. Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, направление подготовки 11.04.02 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи (Россия, Екатеринбург).

Мухтаров Андрей Александрович — инженер отдела обеспечения деятельности Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Россия, Екатеринбург).

Шегал Анна Айзиковна — канд. техн. наук, доцент Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Россия, Екатеринбург).

Information about the authors

Evgenij A. Karpenko is a graduate of the Institute of Radioelectronics and Information Technologies of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, direction of training 11.04.02 – Infocommunication technologies and communication systems (Russia, Ekaterinburg).

Andrey A. Mukhtarov – engineer of the department for the activity of the Institute of Radioelectronics and Information Technologies of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Russia, Ekaterinburg).

Anna A. Shegal is a Candidate of Engineering Sciences, associate professor of the Institute of Radioelectronics and Information Technologies of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Russia, Ekaterinburg).