

СЕКЦИЯ 8

Информационные технологии в судостроении

Копьев А.Н., Землянов И.С., Кузнецов Д.И.

АО «ОНИИП», Омск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОГО РАДИО В КОРАБЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ СВЯЗИ

В настоящее время от создаваемого программного обеспечения требуются большая универсальность и возможность расширения. В комплексах радиосвязи применение технологий программно-определяемой радиосистемы (SDR) позволяет динамически добавлять и обновлять виды работы радиосистемы, в частности типы модуляций сигнала без необходимости внесения изменений в основное приложение. Разрабатываемые и выпускаемые в Омске средства радиосвязи обеспечивают работу по SDR-технологиям. Корабельные комплексы связи, создаваемые на базе данных технических средств, содержат в своем составе вычислители, которые можно условно назвать центрами обработки данных (ЦОД), отвечающие за реализацию технологии SDR. Программная часть ЦОД содержит элементы спецификации SCA, по которой строятся SDR-радиосистемы, стоящие на снабжении в западных странах. При этом в ЦОД: происходит полностью программная обработка цифровых сигналов, модули являются взаимозаменяемыми, для описания компонентов системы и сопутствующих требований по установке используются XML-файлы, обработка сигнала идет по модульно-конвейерному принципу. В статье раскрыт опыт построения информационно-управляющей системы интегрированного комплекса связи «Ураган-Н».

Ключевые слова: SDR-технология, центр обработки данных, СПО ЦОД, интегрированный комплекс связи «Ураган-Н», спецификация SCA, Ethernet.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Копьев А.Н., Землянов И.С., Кузнецов Д.И. Применение технологии программно-определяемого радио в корабельном комплексе связи. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 177–183.

УДК 621.396.932

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-177-183

SECTION 8

Information technologies in shipbuilding

Kopiev A., Zemlyanov I., Kuznetsov D.

JSC ONIIP, Omsk, Russia

APPLICATION OF SOFTWARE-DEFINED RADIO (SDR) TECHNOLOGIES IN SHIPBOARD COMMUNICATION SYSTEMS

The software developed today is expected to meet enhanced versatility and expansion capacity requirements. Software-defined radio systems (SDR) in radio communication make it possible to dynamically add and update radio communication functions, in particular types of signal modulations without modification of the main application. Radio communication tools developed and produced in Omsk support SDR-based technologies. Shipboard communication systems developed on the basis of this hardware include so-called data processing centres (DPC), implementing SDR technologies. DPC software contains elements of the SCA specification used to build up SDR systems operated in the western countries. DPC support full software-driven processing of digital signals, the modules are interchangeable and the system's components and installation requirements are described in XML files, signal processing is done using modular pipeline principles. The paper shares experience gained from the development of information management system for the integrated radio communication complex Uragan-N.

Key words: SDR technology, data processing centre, integrated communication system Uragan-N, SCA specification, Ethernet.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Kopiev A., Zemlyanov I., Kuznetsov D. Application of software-defined radio (SDR) technologies in shipboard communication systems. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 177–183 (in Russian).

UDC 621.396.932

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-177-183



Впервые термин Software Defined Radio (SDR, программно-определяемая радиосистема) ввел в 1991 г. Джозеф Митола (Joseph Mitola). Согласно известным публикациям, SDR – технология, которая позволяет с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность [9]. Поддержка совместных действий, необходимость улучшения возможностей перенастройки системы и снижения затрат на эксплуатацию и обслуживание – все это привело к созданию спецификации SCA, предназначенной для определения единого подхода создания SDR-технологий [8].

SCA – независимый от конечной реализации архитектурный фреймворк, содержащий спецификации стандартизации инфраструктуры SDR [8]. SCA определяет логическую инфраструктуру и абстрактное представление аппаратных средств и компонентов ПО цифровой обработки, входящих в формирующее сигнал приложение. SCA также характеризует функции системы и интерфейсы управления, загрузки и конфигурирования приложений, формирующих сигнал, внутри системы.

Таким образом, спецификация SCA:

- обеспечивает общую инфраструктуру для развертывания распределенного приложения;
- обеспечивает быстрое внедрение новых технологий;
- обеспечивает инфраструктуру для расширения и интеграции;
- повышает возможность повторного использования модулей;
- снижает объем единовременных затрат при проектировании системы.

Элементы, присущие спецификации SCA, нашли применение при разработке специального программ-

ного обеспечения для разработанного в АО «ОНИИП» интегрированного комплекса радиосвязи (ИКС) «Ураган-Н», предназначенного для работы на надводных кораблях различных проектов. На рис. 1 представлен внешний вид модификации комплекса.

Аппаратные и программные средства интегрированы в единую систему комплекса на основе сетевых технологий и обеспечивают работу в существующих и перспективных радиосетях и радиолиниях, используемых на флоте [2]. Они соответствуют требуемому уровню своевременности, быстродействия и безопасности связи благодаря комплексному применению различных трактов связи и каналообразующего оборудования.

Модификации ИКС могут быть реализованы в различных вариантах исполнения для корабля любого ранга и назначения [1]. При этом обеспечивается интеграция необходимого заказчику набора подсистем и технических средств. Кроме того, за счет применения SDR-технологии могут быстро внедряться перспективные технические средства и комплексы.

Использование Ethernet-технологии и программно-аппаратных шлюзов с открытой архитектурой, стандартными интерфейсами, единой операционной средой и автоматическим опознаванием подключаемых аппаратно-программных модулей позволяет обеспечивать практически неограниченный модернизационный ресурс ИКС [4].

В экспортном варианте комплектации ИКС обеспечивает выполнение следующих функций:

- прием и передача радиосигналов СВ-диапазона (от 1,5 до 3,0 МГц), КВ-диапазона (от 3,0 до 30,0 МГц), УКВ-диапазона (от 30,000 до 59,999 МГц; от 100,000 до 149,975 МГц; от 150,000 до 173,975 МГц; от 220,000 до



Рис. 1. Внешний вид одной из модификаций интегрированного комплекса связи «Ураган-Н»

Fig. 1. External view of the integrated communication system Uragan-N (one of available modifications)

- 399,975 МГц) для ведения радиосвязи в режимах открытой телефонии (классы излучения в УКВ-диапазоне – АЗЕ, F3E, G3E, A1D, F1D; в КВ диапазоне – J3E, F3E), открытой телеграфии (класс излучения – A1A). Возможность использования в составе комплекса аппаратуры шифрования определяется существующей возможностью подключения дополнительных технических средств, требуемых заказчику [6];
- одновременная работа 2 передающих трактов в КВ-диапазоне, 3 приемных трактов СВ-КВ-диапазона; 2 приемо-передающих трактов в УКВ-диапазоне;
 - транспорт, распределение, коммутация, формирование и обработка информации, принимаемой и передаваемой по каналам внешней и внутренней связи абонентами корабля;
 - дистанционный контроль состояния технических средств ИКС;
 - дистанционное управление состоянием (включено, выключено) и режимами работы (рабочая частота, уровень мощности, класс излучения и пр.) технических средств ИКС;
 - формирование (расформирование) трактов радиосвязи (дистанционное управление коммутационным оборудованием и передачей информации в локальной вычислительной сети);
 - автоматическое (автоматизированное) формирование расписания работы радиосредств корабля и обеспечение работы по расписанию;
 - автоматическое протоколирование смены состояния и режимов работы всех ТС ИКС, команд операторов и пр. факторов, вызвавших смену состояния и режима работы составных частей изделия;
 - запись/воспроизведение и документирование передаваемой информации;
 - реализация протоколов информационного обмена (радиолиний) для требуемых радионаправлений и радиосетей;
 - компьютерная поддержка принятия решений операторов автоматизированных рабочих мест (АРМ);
 - обеспечение режима радиомолчания;
 - подключение к ИКС по стыкам Ethernet; С1-ТЧ; С1-ТГ; С1-И; ИПРС; RS-232; «провод-команда» дополнительных устройств и систем, требуемых заказчику [5].

Для оснащения кораблей разрабатываются модификации комплекса, обладающие более широким спектром функциональных возможностей [4].

Применение сетевых инфокоммуникационных технологий, реализованных в ИКС, позволяет:

- обеспечить доступ к средствам радиосвязи по внешним информационным направлениям с большинства боевых постов надводного корабля;
- реализовать объединение информационных ресурсов корабля в единое автоматизированное информационное пространство радиоэлектронного вооружения корабля;
- переключать каналы радио- и спутниковой связи с одного корабля группировки на оконечное абонентское оборудование любого другого корабля;
- обеспечить долгосрочный модернизационный ресурс посредством доработки программного обеспечения SDR-оборудования без замены аппаратной платформы комплекса [3].

На 2017–2019 гг. запланирована поставка ИКС «Ураган-Н» на несколько десятков кораблей ВМФ. Гибкость, которая присуща комплексу, обусловлена применением системы распределенных вычислителей, стыкующихся с различным парком оконечного оборудования, в том числе и с устаревшей техникой, наличия виртуальных адаптеров, использования единого центра формирования трактов передачи информации, а также за счет применения SDR-технологий для передачи и приема информации [7].

Упрощенная структурная схема комплекса связи, отражающая место в структуре комплекса отдельных средств вычислительной техники, представлена на рис. 2.

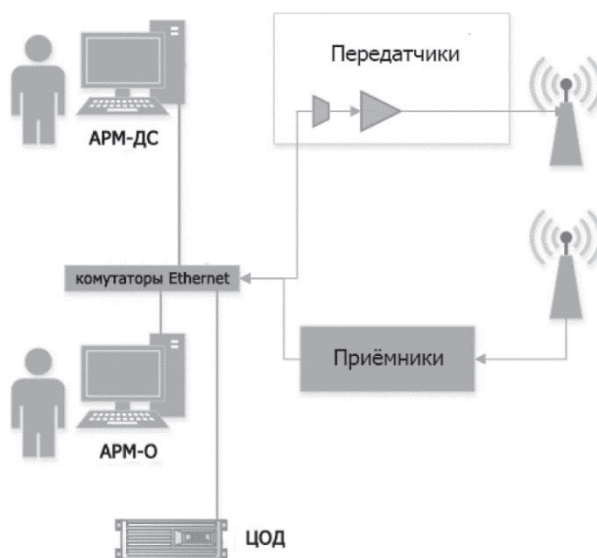


Рис. 2. Упрощенная структурная схема интегрированного комплекса связи «Ураган-Н»

Fig. 2. Simplified block diagram of Uragan-N

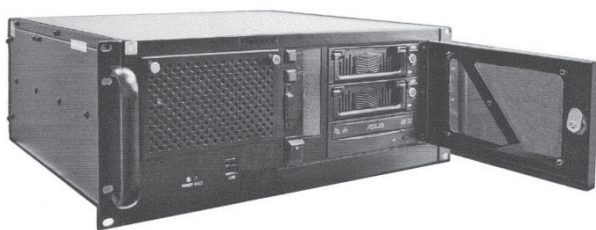


Рис. 3. Внешний вид промышленного компьютера
Fig. 3. Industrial computer

Как уже отмечалось, вычислителем, определяющим возможность практической реализации SDR-технологии в интегрированном комплексе связи, является ЦОД, который может быть реализован на базе промышленного ПК. Внешний вид взятого для примера промышленного ПК представлен на рис. 3. Специальное программное обеспечение (СПО) ЦОД обеспечивает обработку и передачу сигналов между техническими средствами и автоматизированной информационной управляющей подсистемой интегрированного комплекса связи (АИУП ИКС), и должно содержать следующие программные компоненты: сетевой модуль, библиотеку разбора пакетов транспортного протокола, библиотеку классов пакетов транспортного протокола стыков (ТПС), виртуальный адаптер, библиотеки фреймворка Qt, модуль протокола RTP. Состав программных компонентов меняется в зависимости от модификации комплекса.

Для описания компонентов системы и сопутствующих требований по установке используются XML-файлы.

В настоящее время, как уже отмечено в аннотации, от программ требуется большая универсальность и возможность расширения. Самый простой способ увеличения гибкости и расширяемости программы заключается в добавлении поддержки дополнительных модулей – плагинов.

Основное приложение предоставляет сервисы, которые плагин может использовать. К ним относится предоставляемая плагину возможность регистрировать себя в основном приложении, а также протокол обмена данными с другими плагинами. Плагины являются зависимыми от сервисов, предоставляемых основным приложением, и зачастую отдельно не используются. В противоположность им, основное приложение независимо оперирует плагинами, предоставляя конечным пользователям возможность динамически добавлять и обновлять плагины без необходимости внесения изменений в основное приложение.

Архитектура ЦОД, изображенная на рис. 4, реализуется по данному принципу.

Архитектуру составляют следующие модули: библиотека PCAP (Packet Capture), модуль взаимодействия с PCAP, виртуальный адаптер, приложение, библиотека QT.

Поддержка данным изделием технологии SDR обеспечивает ограниченное только возможностями используемого вычислителя расширение реализуемых функций, в том числе за счет введения новых модемов, высокоскоростных и высоконадежных радиолиний, а также дополнительных программных модулей, позволяющих обеспечить поддержку необходимых протоколов информационного обмена и произвести сопряжение между отдельными техническими средствами без изменения электрических схем подключаемого устройства.

Сетевой модуль взаимодействует с пакетом PCAP и позволяет:

- получать и отправлять пакеты автоматизированному рабочему месту и адаптерам технических средств. Одна из последних модификаций разработанного на Омском производственном объединении «Иртыш» адаптера технических средств представлена на рис. 5. Существуют и другие модификации данного изделия;
- отслеживать сеть, по которой получен пакет, и отправлять ответ на него в ту же сеть;

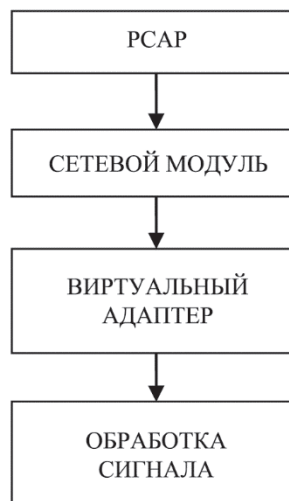


Рис. 4. Архитектура специального программного обеспечения центра обработки данных

Fig. 4. Data processing center software architecture



Рис. 5. Внешний вид одной из модификаций адаптера технических средств

Fig. 5. External view of adapter (one of available modifications)

- обеспечивать подключение к указанным сетевым интерфейсам и сообщать об их отсутствии или нерабочем состоянии;
- осуществлять возможную поддержку фильтрации для получаемых пакетов по MAC-адресам.

Модуль Realtime Transport Protocol (RTP) реализует работу с полями заголовка и предоставляет доступ к данным пакета, а именно: автоматический учет номеров пакетов, время каждого пакета, чтение и запись данных.

СПО ЦОД в реализованной авторами версии обеспечивает многоканальную модуляцию радиосигналов. Входная информация для модулятора поступает через сетевой интерфейс Ethernet по протоколу ТПС в формате соответствующего стыка. Выходные потоки модулированных сигналов передаются также через интерфейс Ethernet по протоколу RTP на цифровые возбудительные устройства, и далее на радиопередающее устройство (РПДУ). Пакеты RTP содержат цифровой сигнал в виде последовательных квадратурных отсчетов. Для обеспечения многоканальности при работе в формате протокола ТПС приложение принимает пакеты, приходящие на несколько (по количеству каналов) MAC-адресов. Каждый MAC-адрес соответствует отдельному каналу. Модулированный сигнал, упаковывается в RTP-пакет и по протоколу UDP отправляется возбудительному устройству по адресу, соответствующему текущему каналу.

На сегодняшний день в ЦОД может быть программно реализовано 48 видов телефонных и телеграфных модуляций. Сформированные сигналы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к уровню внеполосного излучения, краевым искажениям, неравномерности АЧХ внутри полосы пропускания.

«Кондиционность» выдаваемого на передатчик сигнала обеспечивается путем ряда мер цифровой обработки, заключающихся в применении:

- регенератора для восстановления формы и длительности входного телеграфного сигнала, а также устранения джиттера;
- автоматической регулировки усиления для выравнивания громкости входного голосового телефонного сигнала;
- компрессора для уменьшения пикфактора сигнала;
- полосового фильтра для удовлетворения условиям внеполосного излучения;
- калибровки выходного сигнала для устранения возможного переполнения в условиях операций с фиксированной точкой.

Помимо функций модуляции, ЦОД выполняет информационный обмен с подключаемой через сеть Ethernet оконечной аппаратурой комплекса. При наличии у данной аппаратуры интерфейса Ethernet осуществляется прямое подключение. Если такой технической возможности нет, то используются адаптеры технических средств. Кроме того, ЦОД выполняет функции виртуального адаптера технических средств и способствует информационному обмену между спутниковыми, КВ, УКВ-средствами связи, являющимися составными частями разработанного комплекса связи.

В случае необходимости число вычислителей типа ЦОД могут быть увеличено. Критериями увеличения числа вычислителей могут быть:

- загрузка центрального процессора до 85–90 %;
- задержка вычисления одной итерации больше приемлемого значения;
- постоянная активность обращения к жесткому диску (не должна превышать 80 % в течение заданного промежутка времени);
- нехватка пропускной способности сетевой карты одного вычислителя.

Перед каждым производителем комплексов радиосвязи всегда стоит вопрос: зашивать ли программу в микропроцессоры используемых средств радиосвязи или перенести ее на отдельный вычислитель? В случае, когда вся цифровая обработка и управление выполняются на отдельном универсальном вычислителе, цена комплекса связи уменьшается из-за того, что устройство становится более простым в исполнении, устраняется дублирование функций цифровой обработки сигналов. Но если устройство реализует функции, которые должны быть выполнены в режиме реального времени, или когда невозможно их реализовать с использованием универсального ПК, рекомендуется применять специализированные программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Выбор между данными двумя возможными способами работы комплекса должен решаться в ходе его разработки.

Контроль и управление вычислителем ЦОД должно осуществляться путем взаимодействия с АРМ должностного лица, в данном случае – дежурного по связи корабля.

В настоящий момент времени ПО ЦОД работает в операционной системе Astra Linux, но т.к. ПО изделия написано в фреймворке, обеспечивающем кроссплатформенность, можно перенести разработанную программу в другую операционную систему по требованию заказчика.

Проведенные в лабораторных условиях испытания показали работоспособность созданного программного обеспечения, и оно может быть рекомендовано к установке на вычислители перспективных модификаций корабельного комплекса связи.

Дальнейшим направлением развития вычислителей типа ЦОД является увеличение их роли в информационном обмене на корабле, реализация в ЦОД всех перспективных алгоритмов цифровой обработки сигналов, а также всех морских радиолиний КВ-диапазона, увеличение вычислительной мощности за счет введения нескольких дополнительных вычислителей. Ниже приведен полный перечень функций, которые могут быть возложены на вычислители:

- обработка, хранение системы резервного копирования и восстановления данных, а также информации о работе служб связи;
- возможность взятия на себя часть функционала АИУП ИКС НК для разгрузки АРМ оператора и дежурного по связи;
- возможность стыковки с другими корабельными информационными системами, например, системой навигации, системой ГМССБ;
- обмен данными между пользователями сторонних информационных сетей на корабле и комплексе связи;
- отслеживание состояния датчиков, отвечающих за живучесть корабля, для информационной поддержки личного состава и оповещения о выходе из строя технических средств;
- поддержка функционала сервера точного времени, а также осуществление функций синхронизации процессов передачи информации в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты;
- перенос всех функций цифровой обработки информации от каналовобразующих технических средств на единый вычислитель;
- трансляция сигналов навигации, управления и контроля энергетическими установками, а также функций радиоэлектронной борьбы и радиолокации;

- упаковка информации от отдельных пользователей (сжатие, помехоустойчивое кодирование, разбиение на кадры);
- выполнение функций автоматического запроса повторной передачи (Automaticrepeatrequest – ARQ) в двухсторонних радиолиниях;
- выполнение функций автоматизированного входящего в связь (Automaticlinkestablishment – ALE), адаптивного изменения скорости связи, адаптивного изменения канала связи и частоты в двусторонних радиолиниях.

По мнению авторов, применение данных нововведений будет способствовать удешевлению ИКС «Ураган-Н» за счет упрощения аппаратуры связи, уменьшению дублирования функций цифровой обработки сигналов, а также снижению стоимости, связанному с уменьшением числа аппаратно выполненных адаптеров.

В заключение еще раз подчеркнем, что вычислители ЦОД уже осуществляют 48 телефонных и телеграфных видов модуляций, способны работать со старыми техническими средствами или брать на себя часть их функционала. Благодаря SDR-технологии возможности ЦОД можно легко расширять, добавляя новые программные модули. В случае необходимости ЦОД может взять на себя дополнительный функционал, расширяющий возможности перспективного комплекса связи в части предоставления должностным лицам корабля информационных, справочных и прочих услуг.

Программная часть ЦОД содержит присущие спецификации SCA элементы SDR-технологии, такие как:

- полностью программная обработка сигналов;
- обработка сигнала идет по модульно-конвейерному принципу;
- модули являются взаимозаменяемыми;
- для описания компонентов системы и сопутствующих требований по установке используются XML-файлы.

Библиографический список

References

1. *Катанович А.А., Нероба Г.С.* Комплексы и системы связи надводных кораблей. СПб.: Судостроение, 2006. [A. Katanovich, G. Neroba. Communication systems and suites for surface ships. SPb.: Sudostroenie, 2006. (In Russian)].
2. *Катанович А.А., Ершов В.Н.* Комплексы и системы связи ВМФ. СПб.: Судостроение, 2014. [A. Katanovich, V. Ershov. Naval communication systems and suites. SPb.: Sudostroenie, 2014. (In Russian)].

3. Корабельные комплексы связи нового поколения [Электрон. ресурс] / Сайт АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения». URL: http://www.oniip.ru/predpriyatie/smi_o_nas/opisanie.php?ID=1239 (дата обращения 15.09.2017). [Ship communication systems of new generation [Electronic resources] / Website ONIIP. URL: http://www.oniip.ru/predpriyatie/smi_o_nas/opisanie.php?ID=1239 (access date 15.09.2017). (In Russian)].
4. Корабельный унифицированный комплекс связи [Электрон. ресурс] / Сайт Сайт FREEPATENT. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2520371> (дата обращения 6.09.2017). [Standardized ship communication system [Electronic resources] / Website FREEPATENT. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2520371> (access date 6.09.2017). (In Russian)].
5. Омские разработки для корабельных комплексов связи [Электрон. ресурс] / Сайт АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения». URL: http://www.oniip.ru/predpriyatie/smi_o_nas/opisanie.php?ID=1461 (дата обращения 12.09.2017). [Omsk developments for ship communication systems [Electronic resources] / Website ONIIP. URL: http://www.oniip.ru/predpriyatie/smi_o_nas/opisanie.php?ID=1461 (access date 12.09.2017). (In Russian)].
6. Интегрированные комплексы связи для надводных кораблей ВМФ РФ [Электрон. ресурс] / Сайт АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения». URL: http://www.oniip.ru/predpriyatie/smi_o_nas/opisanie.php?ID=1147 (дата обращения 10.09.2017). [Integrated communication systems for Russian Navy ships. [Electronic resources] / Website ONIIP. URL: http://www.oniip.ru/predpriyatie/smi_o_nas/opisanie.php?ID=1147 (access date 10.09.2017). (In Russian)].
7. Карпенко А.В. Корабельный комплекс средств связи «УРАГАН-Н» [Электрон. ресурс] / Сайт «Невский Бастион. История оружия и военной техники». URL: <http://nevskii-bastion.ru/uragan-n/> (дата обращения 8.09.2017). [A. Karpenko. Ship communication system URAGAN-N [Electronic resources] / Website Nevskii Bastion. History of weapons and military equipment. URL: <http://nevskii-bastion.ru/uragan-n/> (access date 8.09.2017). (In Russian)].
8. SCA: два десятилетия инноваций SDR [Электрон. ресурс] / Сайт «АстроСофт». URL: <https://www.astrosoft.ru/articles/radar/sca-dva-desyatiletija-innovatsiy-sdr/> (дата обращения 8.09.2017). [SCA: two decades of SDR innovations [Electronic resources] / Website AstroSoft. URL: <https://www.astrosoft.ru/articles/radar/sca-dva-desyatiletija-innovatsiy-sdr/> (access date 8.09.2017). (In Russian)].
9. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ / Сайт «Беспроводные технологии». URL: <http://wireless-e.ru/articles/technologies/200> (дата обращения 9.09.2017). [A. Silin. Software Defined Radio Technology. Theory, principles and examples of hardware platforms / Website Wireless technologies. <http://wireless-e.ru/articles/technologies/200> (access date 9.09.2017). (In Russian)].

Сведения об авторах

Копьев Александр Николаевич, инженер-программист АО «ОНИИП». Адрес: 644009, Омск, ул. Масленникова, д. 231. Телефон: 8 (3812) 51-49-81; E-mail: otd20@oniip.ru.

Землянов Иван Сергеевич, к.т.н., начальник НИЛ 20 отделения АО «ОНИИП». Адрес: 644009, Омск, ул. Масленникова, д. 231. Телефон: 8 (3812) 51-49-81; E-mail: otd20@oniip.ru.

Кузнецов Дмитрий Игоревич, инженер-программист АО «ОНИИП». Адрес: 644009, Омск, ул. Масленникова, д. 231. Телефон: 8 (3812) 51-49-81; E-mail: otd20@oniip.ru.

About the authors

Kopiev A., Software engineer JSC ONIIP. Address: Ul. Maslennikova 231, Omsk 644009, Russia. Tel.: 8 (3812) 51-49-81; E-mail: otd20@oniip.ru.

Zemlyanov I., Candidate of Technical Sciences, Head of NIL 20th dept. JSC ONIIP. Address: Ul. Maslennikova 231, Omsk 644009, Russia. Tel.: 8 (3812) 51-49-81; E-mail: otd20@oniip.ru.

Kuznetsov D., Software engineer JSC ONIIP. Address: Ul. Maslennikova 231, Omsk 644009, Russia. Tel.: 8 (3812) 51-49-81; E-mail: otd20@oniip.ru.

Поступила / Received: 25.02.18
Принята в печать / Accepted: 18.04.18
© Копьев А.Н., Землянов И.С., Кузнецов Д.И., 2018

