

УДК 629.78

Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623

Для цитирования: Максютин А. С., Мурыгин А. В., Ивленков Д. В., Дымов Д. В. Разработка рабочего места и алгоритмов тестирования бортового оборудования SpaceWire // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 4. С. 613–623. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623.

For citation: Maksyutin A. S., Murugin A. V., Ivlenkov D. V., Dymov D. V. Development of workspace and algorithms for testing SpaceWire onboard equipment. *Siberian Aerospace Journal*. 2021, Vol. 22, No. 4, P. 613–623. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623.

Разработка рабочего места и алгоритмов тестирования бортового оборудования SpaceWire

А. С. Максютин^{1,2*}, А. В. Мурыгин², Д. В. Ивленков¹, Д. В. ДЫМОВ¹

¹АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: Ellis1998@yandex.ru

В зарубежной космической отрасли на протяжении долгого времени используется одна из наиболее передовых и активно развивающихся технологий передачи информации на борту космического аппарата – SpaceWire. Данная технология обеспечивает высокоскоростную передачу больших объемов информации, создание единой инфраструктуры высокоскоростной обработки данных для соединения датчиков, элементов системы обработки данных и блоков массовой памяти. В России SpaceWire постепенно внедряется и используется на перспективных космических аппаратах. Для проверки соответствия бортовой аппаратуры таких аппаратов требованиям стандарта SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 существует необходимость в разработке рабочего места, описанного в данной статье. Рабочее место предназначено для того, чтобы к нему можно было подключить бортовое оборудование SpaceWire и запустить тесты, проверяющие определенные параметры информационного обмена, регламентируемые стандартом. В статье представлена общая структура рабочего места, а также описание каждого из его элементов в отдельности вместе с изложением их функционала. Также в статье описаны разработанные алгоритмы тестирования. Среди них можно выделить проверку на соответствие коэффициенту битовых ошибок требуемому значению, проверку поддержки метода удаления заголовка коммутаторами SpaceWire, а также проверку на соответствие требованиям к транспортным протоколам RMAP и СТП-ИСС. Алгоритмы данных тестов представлены в виде блок-схем и подробного текстового описания. Сами тесты реализованы в виде программного кода на языке С. В качестве подтверждения корректности работы разработанных тестов было проведено практическое тестирование устройств SpaceWire, среди которых можно выделить две платы полезной нагрузки для космического аппарата «НОРБИ», а также сверхбольшую интегральную схему 1931КХ014 программируемого коммутатора для сетей SpaceWire. Приведено краткое описание используемых в работе устройств тестирования в виде изложения их функционала, применимого к разрабатываемому рабочему месту тестирования.

Ключевые слова: бортовая аппаратура, космические аппараты, стенды тестирования, алгоритмы тестирования, SpaceWire.

Development of workspace and algorithms for testing SpaceWire onboard equipment

A. S. Maksyutin^{1,2*}, A. V. Myrygin², D. V. Ivlenkov¹, D. V. Dymov¹

¹JSC Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”
52, Lenin St., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: Ellis1998@yandex.ru

For a long time, the foreign space industry has been using one of the most advanced and actively developing technologies for transmitting information on board a spacecraft – SpaceWire. This technology provides high-speed transmission of large amounts of information, creation of a unified infrastructure for high-speed data processing to connect sensors, data processing system elements and mass memory blocks. In Russia, SpaceWire is gradually being introduced and used on promising spacecraft. To verify the compliance of the onboard equipment of such devices with the requirements of the SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 standard, there is a need to develop a workplace described in this article. The workplace is designed so that SpaceWire onboard equipment can be connected to it and tests can be run that check certain parameters of information exchange regulated by the standard. The article presents the general structure of the workplace, as well as a description of each of its elements separately, together with a description of their functionality. The article also describes the developed testing algorithms. Among them, it is possible to distinguish a check for the compliance of the bit error coefficient with the required value, a check for the support of the header removal method by SpaceWire switches, as well as a check for compliance with the requirements for the RMAP and STP-ISS transport protocols. The algorithms of these tests are presented in the form of flowcharts and a detailed text description. The tests themselves are implemented in the form of program code in the C language. As a confirmation of the correctness of the developed tests, practical testing of SpaceWire devices was carried out, among which two payload boards for the NORBY spacecraft can be distinguished, as well as an ultra-large integrated circuit 1931KH014 of a programmable switch for SpaceWire networks. A brief description of the testing devices used in the work is given in the form of a presentation of their functionality applicable to the testing workplace being developed.

Keywords: onboard equipment, spacecraft, test stands, testing algorithms, SpaceWire.

Введение

Унификация используемых компьютерных интерфейсов на протяжении долгого времени являлась проблемой при проектировании космических аппаратов (КА). Для отечественных КА значимым в унификации бортовых интерфейсов стало внедрение мультиплексного канала информационного обмена (МКИО) на основе зарубежного стандарта MIL-STD-1553B. На его основе были выпущены две версии отечественных стандартов: ГОСТ 26765.52–87 и заменивший его ГОСТ Р 52070–2003 [1], который до сих пор служит фундаментом унификации бортовых интерфейсов КА. При этом сохранились потребности в увеличении скорости передачи и обработки информации, снижении энергопотребления, массы и стоимости космической техники, для чего требуется внедрение новых технологий передачи информации на основе достижений современной микроэлектроники.

Целенаправленную попытку изменить данную ситуацию предприняло Европейское космическое агентство (European space agency (ESA)). Европейской ассоциацией по стандартизации в области космической техники (European Cooperation for Space Standartization (ECSS)), рабо-

тающей в рамках европейской космической программы, в 2003 году была принята первая версия стандарта SpaceWire – «Соединения, узлы, маршрутизаторы и сети». В 2009 г. был принят действующий стандарт SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C Rev.1, основанный на стандартах IEEE 1355-1995, TIA/EIA-644 и IEEE Standard 1596.3-1996 [2].

Разработка рабочего места

Неотъемлемой частью научно-технической деятельности в современном мире становятся технологии аппаратного и программного моделирования. Проведение экспериментальных исследований сложных технических систем, как правило, связано с экономическими и технологическими трудностями. В этой связи увеличивается роль специализированных инструментов, позволяющих моделировать технические системы до их изготовления и в дальнейшем использовать построенные модели при разработке и эксплуатации оборудования [3].

На сегодняшний день технология SpaceWire широко используется в космической отрасли всеми крупными космическими агентствами и применяется во многих текущих космических миссиях ESA, NASA и JAXA [4]. В связи с этим возникает вопрос о том, как тестировать оборудование, поддерживающее данную технологию. Сейчас в России не выявлено комплексного решения данной проблемы. В связи с этим была начата разработка стенда комплексного тестирования бортовых сетей SpaceWire.

Стенд представляет собой комплекс, который отрабатывает аспекты, связанные с построением бортовой сети, а также проверяет отдельные приборы на соответствие стандарту SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C Rev.1, а также стандартам транспортных протоколов RMAP ECSS-E-ST-50-52C [5] и СТП-ИСС [6]. Он состоит из нескольких модулей. Модульная структура дает возможность дальнейшей реконфигурации стенда в зависимости от решаемой задачи. Первый модуль этого стенда (рабочее место) описывается в данной статье.

На рабочее место тестирования бортовой аппаратуры возложена задача отработки аспектов на уровне прибора. Оборудование модуля должно обеспечивать передачу данных между двумя устройствами, реализуя простейшую сеть. Следовательно, в модуле может быть использовано два узла бортовой аппаратуры, подлежащих тестированию. Один из таких объектов тестирования может быть заменен имитатором.

Управление передачей данных осуществляется при помощи внешнего программно-вычислительного модуля (ПВМ-1), представляющего собой персональный компьютер (ПК) со специальным программным обеспечением (СПО-1). Данное СПО-1 представляет собой написанную на языке программирования С программу. Данная программа позволяет протестировать соответствие коэффициента битовых ошибок (BER) требуемому значению, проверку поддержки коммутаторами метода удаления заголовка, поддержку механизмов, регламентируемых транспортными протоколами RMAP и СТП-ИСС. В модуле будет присутствовать тестер «Тип-1», который позволяет производить соответствующие специфике модуля проверки. Для рассмотренных проверок таким тестером является 4Links Diagnostic SpaceWire Interface. Данное устройство позволяет передавать, получать и обрабатывать пакеты данных, управлять параметрами соединения, записывать информацию о прошедших операциях [7].

В качестве технологического оборудования в модуле используется маршрутизатор предназначенный для соединения 4Links Diagnostic SpaceWire Interface с объектами тестирования, а также чтобы в дальнейшем данный модуль мог соединяться с другими модулями реализуемого стенда с последующей организацией различных топологий сети.

Структура блока рабочего места (РМ) тестирования бортовой аппаратуры (БА) приведена на рис. 1.

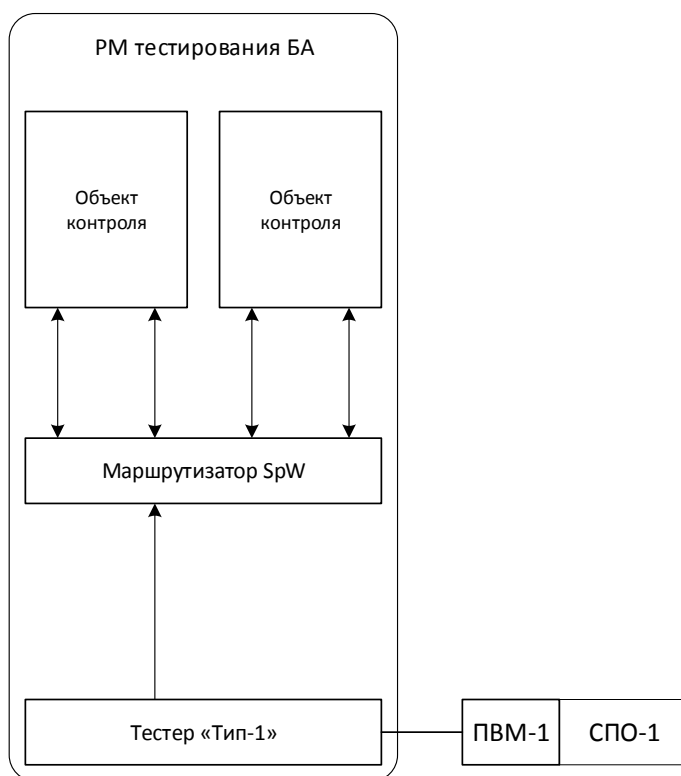


Рис. 1. Структура блока рабочего места тестирования бортовой аппаратуры

Fig. 1. Structure of the on-board equipment testing workplace unit

Алгоритмы тестирования

Для РМ БА были разработаны алгоритмы тестирования, часть из которых реализована в виде СПО-1. Далее каждый из них описывается более подробно:

1. Одним из тестов на символьном уровне является проверка на соответствие BER, равному 10^{-12} для скорости в 100 Мбит/с [8]. Поэтому был разработан следующий алгоритм тестирования.

Перед началом тестирования необходимо подключить первый порт тестируемого узла к первому порту тестирующего устройства.

На начальном этапе происходит установка линка между приемником и передатчиком. После успешного соединения происходит формирование массива данных из заранее определенного количества пакетов определенной длины, а затем их отправка. После того, как пакет приходит на приемник, он побитово сравнивается с ожидаемым пакетом (в коде приемника заранее прописаны ожидаемые пакеты). Происходит увеличение переменной, являющейся счетчиком искаженных битов. Когда передан последний пакет, происходит расчет BER как отношение искаженно принятых битов к их общему количеству. Данное число сравнивается с требуемым, и по этому результату выводится сообщение о соответствии оборудования требованиям по BER или не соответствии. Блок-схема данного алгоритма тестирования представлена на рис. 2.

2. На сетевом уровне в качестве одного из тестов происходит проверка поддержки коммутаторами SpaceWige метода удаления заголовка. При осуществлении данного метода заголовки пакетов, включающие в себя адрес узла назначения, отбрасываются при прохождении через порт коммутатора.

Перед началом тестирования необходимо подключить первый порт коммутатора к первому порту тестирующего устройства. Для оставшихся портов для передачи коммутатора использовать loopback кабели [9].

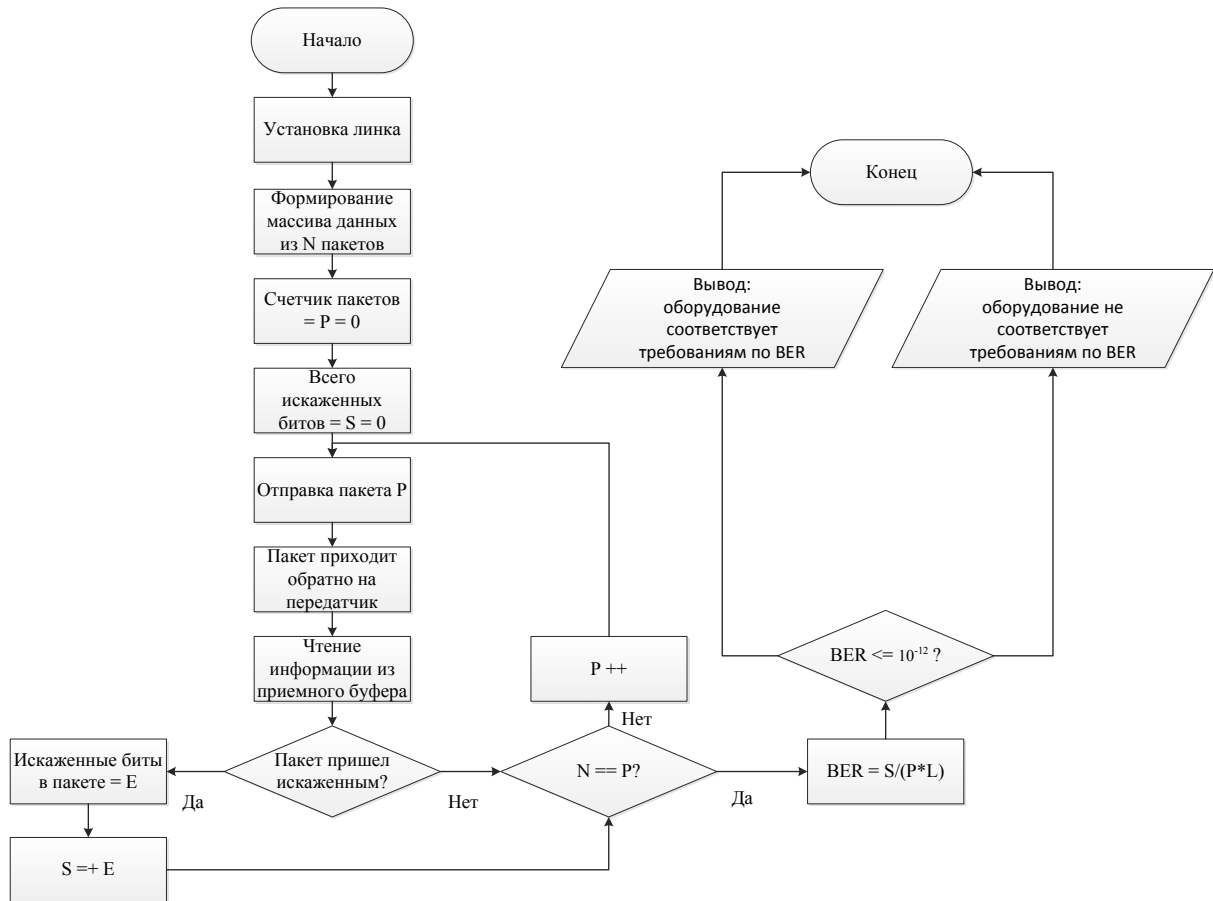


Рис. 2. Блок-схема алгоритма тестирования коэффициента битовых ошибок

Fig. 2. Block diagram of the bit error rate testing algorithm

Устанавливается соединение. После этого формируется фиксированный пакет данных с указанием путевого адреса, который указывает на все задействованные порты коммутатора без повторений. Далее пакет посылается на коммутатор, с которого после прохождения через все порты должен приходиться обратно. В зависимости от того, пришел пакет обратно или нет, выводится соответствующее сообщение. Блок-схема алгоритма тестирования метода удаления заголовка коммутатора приведена на рис. 3.

Данный тест является первым тестом для сетевого уровня стандарта SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C Rev.1. На его основе разрабатывается проверка путевой и логической адресации. При использовании путевой адресации адрес назначения определяется как последовательность номеров выходных портов маршрутизатора, которые используются для ориентации пакета в сети [10]. При логической адресации каждый узел назначения имеет уникальный номер или логический адрес, связанный с ним [11]. Также запланирована разработка алгоритма тестирования принципа «червячной маршрутизации» [12].

3. На транспортном уровне для проверки поддержки тестируемого оборудования заданных механизмов протокола СТП-ИСС разработаны алгоритмы тестов:

- отправка трех типов сообщений (КУ, обычное, срочное);
- прием пакета максимального размера;
- прием/ отправка пакета подтверждения.

В качестве примера предлагается рассмотреть отправку сообщения и прием пакета подтверждения тестируемым устройством. Данные алгоритмы можно реализовать в рамках одного теста.

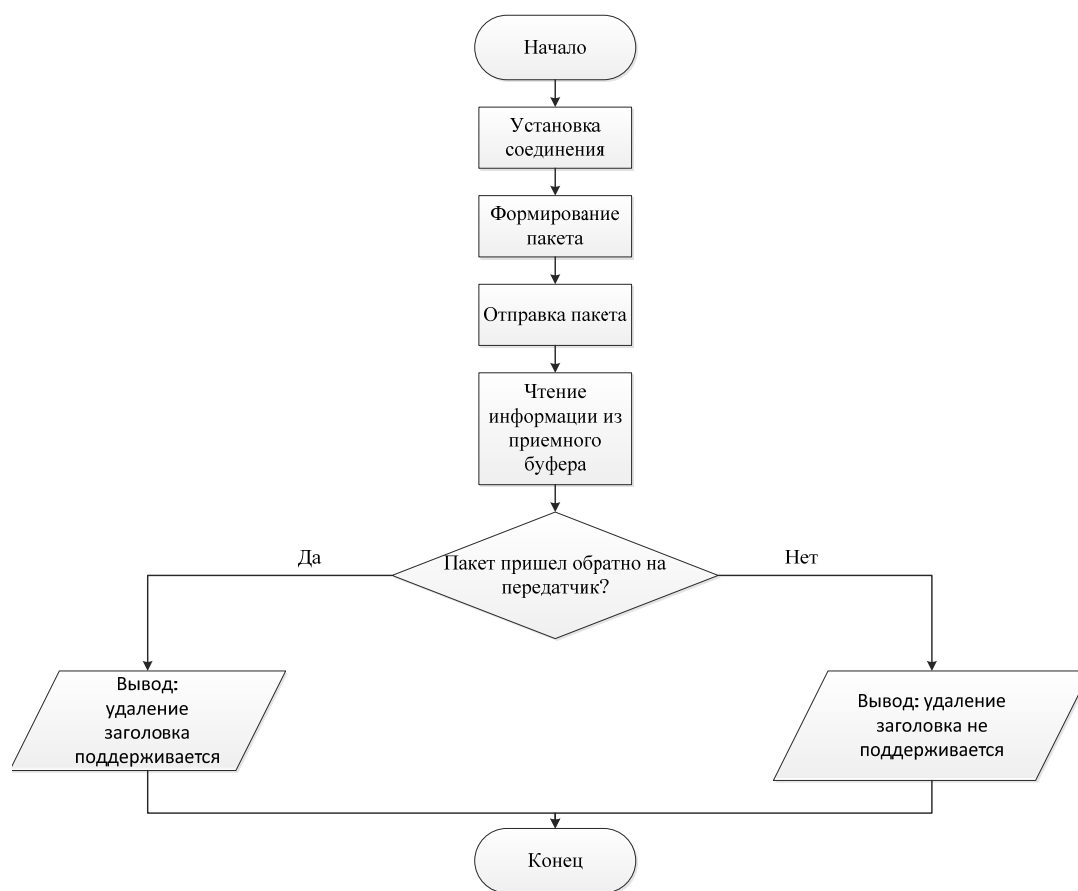


Рис. 3. Блок-схема алгоритма тестирования метода удаления заголовка

Fig. 3. Block diagram of the algorithm for testing the header removal method

Управляющее устройство посредством ПО организует передачу информации между двумя узлами, один из которых будет являться тестируемым оборудованием. В одном случае данное оборудование будет являться передатчиком, в другом – приемником. Это можно реализовать, так как узлы могут работать в полнодуплексном режиме [13]. В данной статье в качестве примера рассматривается случай, при котором тестируемое устройство является передатчиком.

На начальном этапе происходит установка соединения между передатчиком и приемником. Далее выводится сообщение о выборе теста, который пользователь желает запустить, – отправка команды управления (КУ), срочного сообщения или обычного сообщения. Пользователь производит соответствующий выбор. Подробно один из блоков тестирования будет рассмотрен далее. После прохождения одного из этих тестов выводится сообщение с предложением завершения всего теста. Пользователь может продолжить тестирование, выбрав вариант «нет», в случае чего он будет отослан к этапу выбора теста команды. В противном случае тестирование завершается. Блок-схема данного алгоритма тестирования представлена на рис. 4.

В качестве примера рассматривается алгоритм 1 (КУ). Блок-схема для КУ и информационных пакетов будет являться идентичной. Управляющим устройством на передатчике формируется фиксированный пакет КУ (с установленным в 1 битом ответа). Запускается передача. Параллельно этому на приемнике запускается сторожевой таймер. Приемник ожидает пакет. КУ должна передаваться на приемник. Если же передача пакетов не происходит, то на приемнике истекает сторожевой таймер. При истечении таймера на экран выводится сообщение о том,

что оборудование не поддерживает передачу пакетов КУ. Тест завершается. Если КУ получена приемником, то формируется и отправляется пакет подтверждения. В случае если пакет подтверждения получен передатчиком, то выводится соответствующее сообщение об успешном прохождении теста. В противном случае выводится сообщение о неудаче. После этого тест завершается. Блок-схема теста отправки КУ и получения пакета подтверждения согласно транспортному протоколу СТП-ИСС представлена на рис. 5.

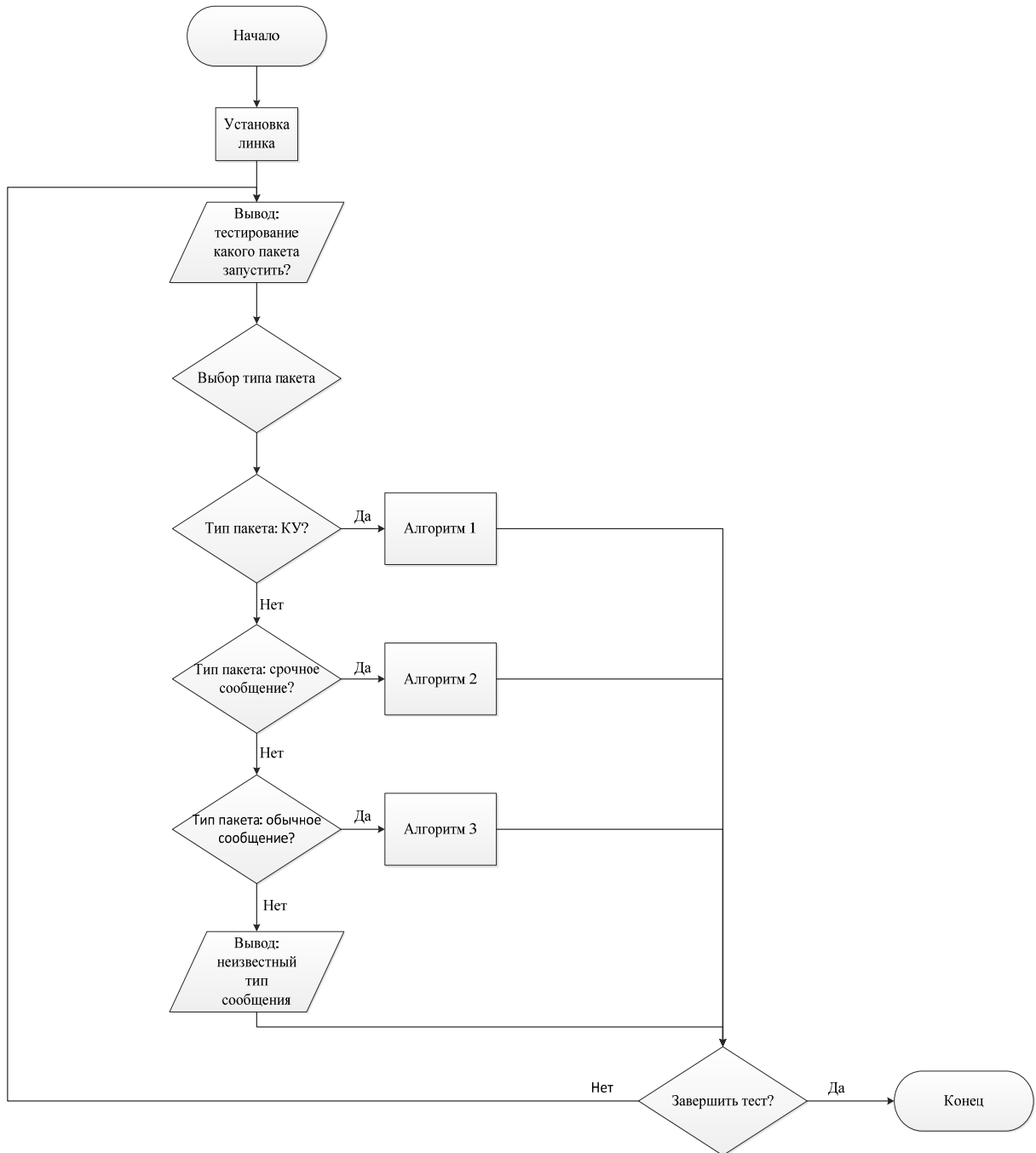


Рис. 4. Блок-схема общего алгоритма тестирования поддержки транспортного протокола СТП-ИСС

Fig. 4. Block diagram of the general algorithm for testing support or the STP-ISS transport protocol

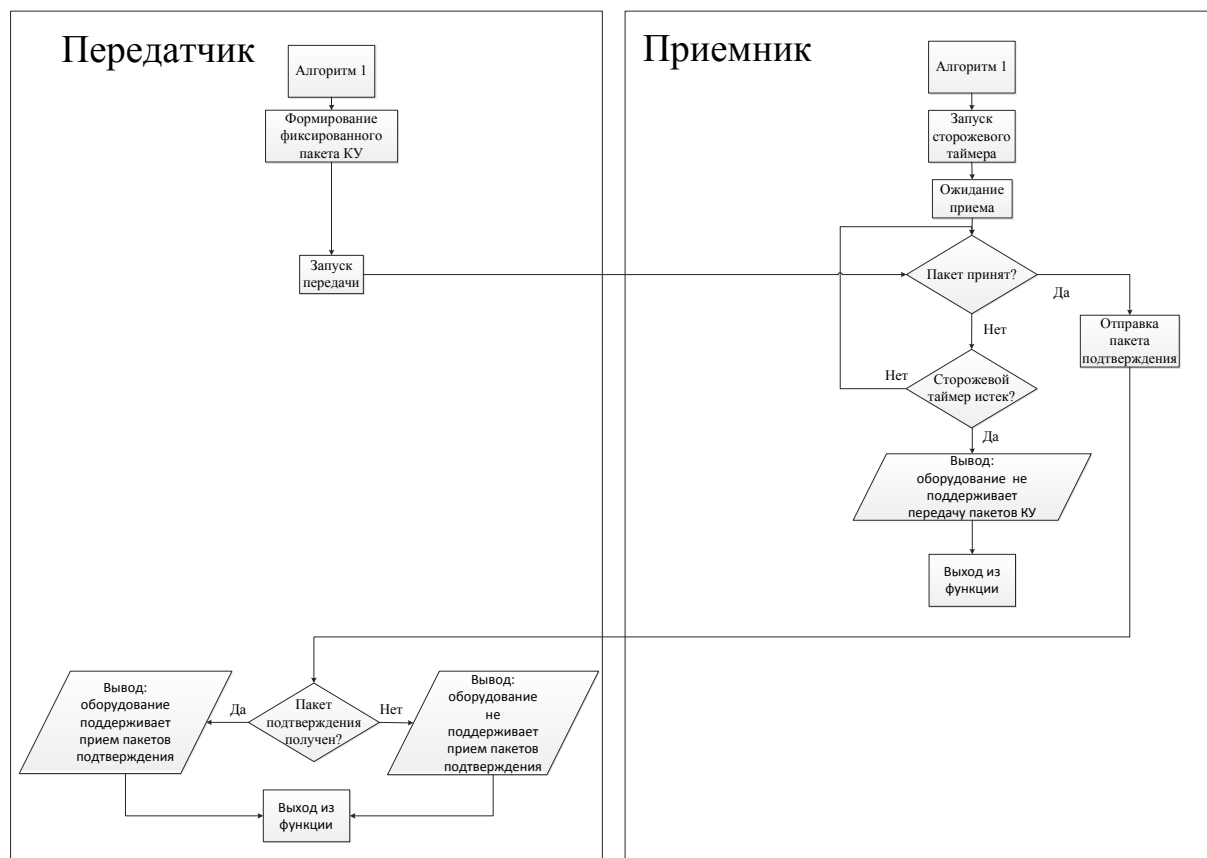


Рис. 5. Блок-схема теста отправки КУ и получения пакета подтверждения согласно транспортному протоколу СТП-ИСС

Fig. 5. Block diagram of the test of sending the control command and receiving the confirmation packet according to the STP-ISS transport protocol

Для транспортного протокола RMAP были разработаны аналогичные СТП-ИСС алгоритмы тестирования, однако они не были реализованы программно. В связи с этим данные тесты не выносятся на обозрение в рамках данной статьи.

Практическое тестирование

Вышеописанные тесты были опробованы на реальном оборудовании SpaceWire. Для теста поддержки метода удаления заголовка была использована сверхбольшая интегральная схема 1931KX014 программируемого коммутатора для сетей SpaceWire [14]. Так, в ходе тестирования было выявлено, что данный коммутатор поддерживает данный метод.

Для теста соответствия оборудования требованиям по BER (10^{-12} для скорости в 100 Мбит/сек) были использованы две платы полезной нагрузки для КА «НОРБИ» [15]. Для данного оборудования BER не превысил требуемых пределов.

Для теста поддержки бортовым оборудованием транспортного протокола СТП-ИСС были также использованы две платы полезной нагрузки для КА «НОРБИ». Данное оборудование успешно прошло все ранее рассмотренные тесты (отправка трех типов сообщений (КУ, обычное, срочное), прием пакета максимального размера, прием/отправка пакета подтверждения).

Заключение

В ходе работы над данным проектом была разработана общая структура рабочего места тестирования БА КА и представлен его функционал. Разработано несколько алгоритмов тестиро-

вания, реализованных впоследствии на языке программирования С. Произведено опробование разработанных алгоритмов на оборудовании SpaceWire. В дальнейшем будут решаться следующие задачи:

- программная реализация алгоритмов тестирования для проверки соответствия оборудования требованиям стандарта транспортного протокола RMAP;
- разработка алгоритмов тестирования для расширения функционала рабочего места;
- добавление новых модулей стенда тестирования для имитации бортовой сети КА.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ Р 52070–2003. Интерфейс магистральной последовательной системы электронных модулей. М. : Изд. стандартов, 2003. 3 с.
2. Горбунов С. Ф., Гришин В. Ю., Еремеев П. М. Сетевые интерфейсы космических аппаратов: перспективы развития и проблемы внедрения // Наноиндустрия. 2019. № 89. С. 128–130.
3. Ноженкова Л. Ф., Исаева О. С., Грузенко Е. А. Метод системного моделирования бортовой аппаратуры космического аппарата // Вычислительные технологии. 2015. № 3. С. 33–45.
4. Parkes S., Armbruster P. SpaceWire: A spacecraft onboard network for real-time communications [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/4196676_SpaceWire_A_spacecraft_onboard_network_for_real-time_communications (дата обращения: 15.07.2021).
5. ECSS-E-50-11 Draft F. Remote memory access protocol (normative) [Электронный ресурс]. URL: <http://spacewire.esa.int/content/Standard/documents/SpaceWire%20RMAP%20Protocol%20Draft%20F%204th%20Dec%202006.pdf> (дата обращения: 20.07.2021).
6. Разработка, анализ и проектирование транспортного протокола СТП-ИСС для бортовых космических сетей SpaceWire / Шейнин Ю. Е., Оленев В. Л., Лавровская И. Я. и др. // Изв. самарского науч. центра рос. акад. наук. 2014. № 6–2. С. 632–639.
7. User manual for the 4Links Diagnostic SpaceWire Interface [Электронный ресурс]. URL: https://4links.co.uk/application/files/2615/9136/0012/User_Manual_DSI.pdf (дата обращения: 04.09.2021).
8. Особенности измерения параметров каналов с цифровой модуляцией [Электронный ресурс]. URL: <https://media-sputnik.net/osobennosti-izmereniya-parametrov-kanalov-s-cifrovoy-modulyacziej-3> (дата обращения: 12.09.2021).
9. Введение петлевого кабеля [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.fibresplitter.com/news/introduction-of-loopback-cable-24290794.html> (дата обращения: 20.09.2021).
10. Российские IP-ядра стандарта SpaceWire [Электронный ресурс]. URL: <https://kit-e.ru/fpga/rossijskie-ip-yadra-standarta-spacewire-2/> (дата обращения: 25.09.2021).
11. Логическая адресация [Электронный ресурс]. URL: <http://osnovy-setei.ru/logicheskaya-adresaciya.html> (дата обращения: 01.10.2021).
12. Солохина Т., Петричкович Я., Шейнин Ю. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределительных комплексов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2007. № 1. С. 38–49.
13. Различия между полнодуплексным и полудуплексным режимами связи [Электронный ресурс]. URL: <https://itigic.com/ru/differences-between-full-duplex-and-half-duplex/> (дата обращения: 29.10.2021).
14. Руководство по эксплуатации ДВУК.431433.061-003РЭ1. Схемы интегральные 1931КХ014. 2020.
15. Программируемые логические интегральные схемы – ПЛИС [Электронный ресурс]. URL: <https://digteh.ru/digital/PLD/> (дата обращения: 06.11.2021).

References

1. *GOST R 52070–2003. Interfejs magistral'nyj posledovatel'nyj sistemy jelektronnyh modulej* [State Standard R 52070–2003. The interface is a backbone serial system of electronic modules]. Moscow, Standardinform, 2003. 3 p.
2. Gorbunov S. F., Grishin V. Yu., Ereemeev P. M. [Network interfaces of spacecraft: prospects of development and problems of implementation]. *Nanoindustriya*. 2019, No. 89, P. 128–130 (In Russ.).
3. Nozhenkova L. F., Isaeva O. S., Gruzenko E. A. [Method of system modeling of onboard spacecraft equipment]. *Computing technologies*. 2015, No. 3, P. 33–45 (In Russ.).
4. Parkes S., Armbruster P. SpaceWire: A spacecraft onboard network for real-time communications. Available at: https://www.researchgate.net/publication/4196676_SpaceWire_A_spacecraft_onboard_network_for_real-time_communications (accessed: 15.07.2021).
5. ECSS-E-50-11 Draft F. Remote memory access protocol (normative). Available at: <http://spacewire.esa.int/content/Standard/documents/SpaceWire%20RMAP%20Protocol%20Draft%20F%204th%20Dec%202006.pdf> (accessed: 20.07.2021).
6. Sheinin Yu. E., Olenev V. L., Lavrovskaya I. Ya. et al. [Development, analysis and design of the STP-ISS transport protocol for SpaceWire onboard space networks]. *Izvestiya samarskogo nauchnogo centra rossiysskoy akademii nauk*. 2014, No. 6–2, P. 632–639 (In Russ.).
7. User manual for the 4Links Diagnostic SpaceWire. Interface Available at: https://4links.co.uk/application/files/2615/9136/0012/User_Manual_DSI.pdf (accessed: 04.09.2021).
8. *Osobennosti izmereniya parametrov kanalov s cifrovoy moduljaciey* [Features of measuring the parameters of channels with digital modulation] (In Russ). Available at: <https://media-sputnik.net/osobennosti-izmereniya-parametrov-kanalov-s-cifrovoj-modulyacziej-3> (accessed: 12.09.2021).
9. *Vvedenie petlevogo kabelya* [Introduction of loop cable]. (In Russ). Available at: <http://ru.fibresplitter.com/news/introduction-of-loopback-cable-24290794.html> (accessed: 20.10.2021).
10. *Rossiyskie IP-yadra standarta SpaceWire* [Russian IP cores of the SpaceWire standard]. (In Russ). Available at: <https://kit-e.ru/fpga/rossijskie-ip-yadra-standarta-spacewire-2/> (accessed: 25.09.2021).
11. *Logicheskaya adresaciya* [Logical addressing] (In Russ). Available at: <http://osnovy-setei.ru/logicheskaya-adresaciya.html> (accessed: 01.10.2021).
12. Solokhina T., Petrichkovich Ya., Sheinin Yu. [SpaceWire technology for parallel systems and on-board distribution complexes]. *Jelektronika: nauka, tehnologija, biznes*. 2007, No. 1, P. 38–49. (In Russ.)
13. *Razlichiya mezhdru polnodupleksnym i poludupleksnym rezhimami svyazi* [Differences between full-duplex and half-duplex communication modes] (In Russ.). Available at: <https://itigic.com/ru/differences-between-full-duplex-and-half-duplex/> (accessed: 29.10.2021).
14. *Rukovodstvo po ekspluatacii DVUK.431433.061-003RE1. Skhemy integral'nye 1931KKH014* [Operating manual DVUK.431433.061-003RE1. Integrated circuits 1931KH014]. 2020. (In Russ.).
15. *Programmiruemye logicheskie integral'nye skhemy – PLIS* [Programmable logic integrated circuits – FPGA] (In Russ.). Available at: <https://digteh.ru/digital/PLD/> (accessed: 06.11.2021).

Максютин Андрей Сергеевич – инженер, АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»; аспирант кафедры информационно-управляющих систем, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ellis1998@yandex.ru.

Мурыгин Александр Владимирович – доктор технических наук, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: avm514@mail.ru.

Ивленков Денис Викторович – инженер; АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: ivlenkovdv@iss-reshetnev.ru.

Дымов Дмитрий Валерьевич – начальник базового центра системного проектирования бортовой аппаратуры космических аппаратов; АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: dymov@iss-reshetnev.ru.

Maksyutin Andrey Sergeevich – Engineer, JSC Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”; postgraduate student of the Department of Information and Control Systems, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: ellis1998@yandex.ru.

Murygin Alexander Vladimirovich – Dr. Sc., Head of the Department of Information and Control Systems; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: avm514@mail.ru.

Ivlenkov Denis Viktorovich – Engineer; JSC Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”. E-mail: ivlenkovdv@iss-reshetnev.ru.

Dymov Dmitry Valer'evich – Head of the Basic System Design Center for Onboard Spacecraft Equipment; JSC Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”. E-mail: dymov@iss-reshetnev.ru.
