

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРА КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ НА ВЫБОР ИНТЕРФЕЙСА ОБМЕНА ДАННЫМИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

А.Ю. Трещёткин<sup>1</sup>

alexander.treschetkin  
@yandex.ru

К.С. Балиж<sup>1</sup>

balizh@yandex.ru

И.К. Былинкин<sup>1</sup>

bylinkin@inbox.ru

В.И. Шевяков<sup>2</sup>

shev@dtd.miee.ru

<sup>1</sup> АО «НИИ «Субмикрон», Москва, г. Зеленоград, Российская Федерация

<sup>2</sup> НИУ МИЭТ, Москва, г. Зеленоград, Российская Федерация

---

### Аннотация

Проведено сравнение методик контроля цифровых высокоскоростных интерфейсов передачи данных. Для оптимизации времени проверок применен параметрический контроль ключевых характеристик высокоскоростного интерфейса передачи данных, для отладки программного обеспечения — функциональный контроль с добавлением искажений передаваемых данных. Рассмотрены особенности контроля интерфейсов с учетом скорости передачи данных, их архитектур и функциональных особенностей. Для систематизации проверок интерфейса применен вариант разбиения методов контроля с привязкой к уровням сетевой модели OSI-интерфейса. Приведены рекомендации по выбору средств измерений для анализа сигналов. Рассмотрены аспекты методик параметрического контроля. Разрабатываемые методики параметрического контроля высокоскоростных интерфейсов позволяют контролировать параметры скачка и джиттера сигнала. Такие измерения представляют собой более сложную задачу, чем измерение времени нарастания сигнала и амплитуды. Приведены результаты сравнения параметров интерфейсов мультиплексного канала информационного обмена, SpaceWire и Serial RapidIO применительно к задаче контролепригодности — важного фактора, влияющего на стоимость и сложность такой разработки

### Ключевые слова

*Контроль, измерение, тестирование, бортовая аппаратура, интерфейсы передачи данных*

Поступила 14.10.2024

Принята 27.06.2025

© Автор(ы), 2025

**Введение.** Для решения задач информационного обмена между бортовой аппаратурой (БА) космических аппаратов (КА) используется большое число разнообразных интерфейсов. Сравнение 15 интерфейсов, применяемых в технике, выполнено в [1]. Четыре интерфейса управления и контроля научной аппаратуры, применяемые в российском сегменте МКС, приведены в [2]. Эволюция вычислительной техники, рассмотренная в [3], происходит совместно с эволюцией интерфейсов информационного обмена БА КА. Основными факторами, влияющими на выбор интерфейсов, являются производительность и надежность. Производительность означает способность интерфейса передавать определенное количество информации за заданный промежуток времени. Надежность характеризует способность интерфейса выполнять свои функции без отказов. Системы с высокими показателями производительности, но низкой стабильностью, могут породить серьезные проблемы при работе БА [4]. Как правило, для повышения надежности используют резервированные интерфейсы, поэтому рассмотрение особенностей большинства стандартных компьютерных интерфейсов нецелесообразно. Автор в [5] указывает на вариативность специфики функционирования БА и в зависимости от выполняемой задачи на особую роль вопросов гибкости интерфейсов, заключающихся в возможности использования интерфейса для решения различных целевых задач.

Важным шагом в унификации бортовых интерфейсов стало внедрение мультиплексного канала информационного обмена (МКО) на основе зарубежного стандарта MIL STD 1553B. Интерфейс МКО и его иностранный аналог, разработанный изначально для авиации, определяют протоколы обмена данными между разными подсистемами на борту летательного аппарата. Он обеспечивает безопасный и надежный обмен данными между различными устройствами. Команды управления и информация передаются по двухпроводной шине, для подключения к которой используют специализированные приемопередатчики и развязывающие трансформаторы. В [6–9] авторы описывают особенности БА с примененным интерфейсом МКО.

SpaceWire — сетевой интерфейс, разработанный для использования в КА. Он обеспечивает высокую пропускную способность и низкую задержку, что делает его подходящим для задач, требующих быстрой передачи данных между различными инструментами и подсистемами на борту. В [10–14] авторы делятся опытом разработки и эксплуатации устройств БА с примененным в ней интерфейсом SpaceWire. Кроме функций передачи информации, в интерфейс заложена возможность передачи синхронизирующих тайм-кодов и прерываний. Для большей вариативности примене-

ния в интерфейсе предусмотрены различные режимы работы, такие как односторонний, двусторонний и асинхронный режимы работы, тип подключения «точка–точка», поэтому для подключения трех и более устройств в единую сеть используют коммутаторы.

Serial RapidIO (SRIO) — высокоскоростной интерфейс, предназначенный для связи между процессорами и периферийными устройствами в высокопроизводительных вычислительных системах. Обеспечивает высокую пропускную способность и низкую задержку, что делает его подходящим для задач, требующих быстрой передачи больших объемов данных, тип подключения аналогичный интерфейсу SpaceWire — «точка–точка». Для подключения трех и более устройств в единую сеть используют коммутаторы. Принципы работы с радиационно-стойкими микросхемами по интерфейсу SRIO приведены в [15–17].

**Характеристики интерфейсов.** Чаще всего сравнение интерфейсов проводится по следующим характеристикам.

*Архитектура.* Мультиплексный канал информационного обмена использует двухпроводную шину для передачи данных и команд управления между контроллером канала и оконечными устройствами (ОУ). Интерфейсы SpaceWire и SRIO используют последовательный канал передачи данных.

*Пропускная способность.* Скорость передачи данных интерфейса SRIO может быть установлена в диапазоне 1,25...3,125 Гбит/с. Скорость передачи данных интерфейса SpaceWire варьируется от 2 до 400 Мбит/с; скорость передачи данных интерфейса МКО ограничена 1 Мбит/с.

*Топология сети.* Мультиплексный канал информационного обмена поддерживает только шинную топологию с не более чем 31 ОУ, в то время как интерфейсы SRIO и SpaceWire могут работать в различных топологиях сети, включая линейную, кольцевую и звездообразную топологии.

*Энергопотребление.* Интерфейсы SRIO и SpaceWire требуют меньше энергии, чем МКО, поскольку используют более низкие уровни напряжения для передачи символов.

*Электронная компонентная база (ЭКБ), стойкая к внешним воздействующим факторам (ВВФ).* Интерфейсы SRIO, SpaceWire и МКО обеспечивают высокую степень надежности и устойчивости к ВВФ.

Надежность передачи данных достигается комплексом мер, таких как подсчет контрольных сумм, контроль канала (flowcontrol), наличие сообщений подтверждения, использование помехоустойчивых стандартов передачи физического уровня, контролепригодность. Контроль интерфейсов является важным этапом в разработке и использовании интерфейсов,

поскольку он позволяет проверить функциональность, надежность и производительность интерфейсов в процессе производства БА КА, выявить и устранить возможные недостатки и проблемы, обеспечить защиту от потери или искажения данных во время их передачи между устройствами. Контроль интерфейсов гарантирует высокое качество и надежность производимой аппаратуры. В целом, контроль интерфейсов является ключевым фактором в обеспечении работоспособности и надежности интерфейсов, таких как МКО, SpaceWire и SRIO.

**Описание интерфейсов.** *Интерфейс МКО (ГОСТ Р 52070–2003).* Архитектура интерфейса МКО основана на концепции мультиплексной резервированной шины с централизованным управлением, что обеспечивает высокую надежность передачи данных между устройствами. Обычно контроллером канала выступает центральный бортовой компьютер, а абоненты интерфейса — это бортовые служебные системы, которые действуют как подчиненные устройства и могут отправлять данные только по запросу от центрального бортового компьютера. Резервированная линия передачи информации обеспечивает работу при частичных отказах и сбоях. Форматы сообщений строго определены стандартом, это упрощает интеграцию различных устройств в систему.

К преимуществам интерфейса МКО можно отнести трансформаторную гальваническую развязку, управляемость системы, невозможность перегрузки линии информацией, большую летную отработку, возможность подключения к линии нескольких резервных каналов устройств и простоту контроля. Основными недостатками являются низкая пропускная способность и недостаточная масштабируемость, что приводит к появлению подсистем с отдельными дополнительными шинами. Следует отметить, что при разработке БА с применением интерфейса МКО для задач сбора телеметрии, передачи прерываний, меток времени, выдачи команд управления и других функций необходимо применение дополнительных интерфейсов. Данный аспект в значительной мере увеличивает число жгутовых соединений, сложность подключения аппаратуры и суммарную массу КА.

*Интерфейс SpaceWire-RUS (ГОСТ Р 70020–2022)* — интерфейс высокоскоростного межприборного информационного обмена и комплексирования БА КА. Стандарт разработан с учетом потребностей в высокоскоростной передаче данных и модульности БА, применяется в общемировой практике и используется в международных космических агентствах. Архитектура интерфейса имеет тип подключения «точка–точка» и расширяется в сетевые топологии типа звезда, кольцо и полносвязанные сети. Такая архитектура не имеет ограничений числа сетевых узлов, что обеспечивает

гибкость в интеграции систем. Типы используемых кабелей и коннекторов стандартизованы. Протокол передачи данных включает в себя механизмы для обнаружения и исправления ошибок. Интерфейс SpaceWire поддерживает скорости передачи данных от 2...400 Мбит/с и совместим со стандартами GigaSpaceWire и SpaceFibre. В стандарте SpaceWire предусмотрены функции синхронизации и передачи прерываний. Низкие энергопотребление и электромагнитное излучение при передаче информации достигаются благодаря использованию дифференциальной передачи сигналов LVDS.

Космическая отрасль сильно консервативна и новые интерфейсы сложно внедрить в разработку. Интерфейс SpaceWire редко используют в среде из-за отсутствия гальванической развязки, низкой скорости по сравнению с интерфейсами широкого применения (PCIe, USB, SATA) и отсутствия сетевых протоколов высокого уровня.

*Интерфейс SRIO* — высокоскоростной интерфейс для передачи данных между множеством устройств. Он широко используется в серверных системах, телефонии, медицинском оборудовании и в других промышленных приложениях. С развитием технологий и увеличением объемов передаваемых данных интерфейс SRIO постоянно совершенствуется и обновляется для обеспечения максимальной производительности и эффективности. Благодаря своей высокой скорости и надежности, SRIO является популярным интерфейсом для передачи данных в современных вычислительных системах. Основными преимуществами SRIO являются высокая скорость передачи данных до 3,125 Гбит/с на канал и передача данных между устройствами без задержки. Его применяют в высокоскоростных вычислительных системах и сетях для ускорения обмена данными между устройствами, процессорами, памятью и периферийными устройствами. Архитектура SRIO основана на последовательной передаче данных и поддерживает различные режимы работы, такие как peer-to-peer, master-slave и multicast.

К преимуществам интерфейса SRIO можно отнести высокую надежность доставляемой информации и минимальное число ошибок благодаря высокоуровневым протоколам с функциями подсчета контрольных сумм и подтверждения успешной отправки сообщений. Высокоуровневые протоколы обеспечивают простоту подключения и использования интерфейса для пользователя. К недостаткам интерфейса SRIO можно отнести небольшое число серийно выпускаемых интерфейсных микросхем, сложности резервирования топологии сети (резервированная топология неустойчива к широкополосным сообщениям), высокую стоимость микросхем,

ограниченную совместимость между различными устройствами и операционными системами.

**Сравнение особенностей контроля интерфейсов.** Методики контроля интерфейсов можно условно подразделить на виды:

- функциональный контроль;
- функциональный контроль с добавлением искажений передаваемых данных;
- параметрический контроль на соответствие стандарту;
- параметрический контроль ключевых характеристик интерфейса.

Для каждого вида тестирования необходимо специализированное оборудование, отличающееся по сложности и стоимости. Функциональный контроль имеет бинарный результат (годен или не годен), но является самым быстрым и недорогим. Функциональный контроль с добавлением искажений передаваемых данных требует дополнительных программных и аппаратных средств, но необходим для отладки программного обеспечения БА. Параметрический контроль на соответствие стандарту выполняется на специализированном стенде и не требуется для каждого образца устройств БА.

Время проведения испытаний БА КА на испытательном стенде ограничено, поэтому его необходимо рационально использовать. В [18] выполнен анализ времени проведения испытаний системы управления на испытательном стенде. Параметрический контроль ключевых характеристик интерфейса является компромиссным вариантом параметрического контроля на соответствие стандарту по времени и глубине контроля. Параметрический контроль, в отличие от функционального, позволяет накапливать статистику изменения параметров и характеристик аппаратуры. Это позволяет предсказывать поведение аппаратуры в процессе использования и в результате воздействия внешних факторов. Отдельные проверки и методы контроля выбирают исходя из опыта работы с аппаратурой. В процессе испытаний и при эксплуатации в методику включаются дополнительные проверки. Алгоритм внедрения в методику новых методов функционального контроля, полученных по результатам отработки нестандартных ситуаций, приведен в [19].

**Сравнение архитектуры и основных особенностей контроля интерфейсов.** Принятую для описания интерфейсов сетевую модель OSI удобно использовать и для систематизации проверок. Параметрические проверки амплитуды, скоса и джиттера сигнала можно отнести к контролю физического уровня. На канальном уровне проверяются границы кадра и контрольные суммы. Работа коммутаторов, правильность маршрутизации

пакетов, в том числе и широковещательных, правильность настройки логических адресов у сетевых узлов проверяются на сетевом уровне. Транспортный, сеансовый и прикладной уровни проверяются функционально.

Каждый уровень сетевой модели OSI можно дополнительно разбить на подуровни. Например, для физического уровня можно дополнительно выделить сигнальный уровень, для канального — символный и обменный уровни, для сетевого — пакетный уровень. При разработке методики контроля необходимо учитывать модель интерфейса.

При выборе оборудования для проверки интерфейса важно правильно определить выполняемые этим оборудованием виды проверок. Представленный на рынке параметрический тестер интерфейса SpaceWire холдинга «Информтест» осуществляет проверки физического и канального уровней. Стенд для тестирования БА с интерфейсом SpaceWire, приведенный в [20], предназначен для проверки сетевого уровня и моделирования топологии бортовой сети КА.

Несмотря на разделение интерфейса на уровни, некоторые проверки нельзя выполнить изолированно, например, точность передачи тайм-кодов в сети SpaceWire. Основными факторами, влияющими на точность передачи тайм-кодов, являются задержка и джиттер тайм-кодов. Рассматривать данные характеристики без учета влияния топологии сети, особенностей работы коммутатора и длины линии передачи невозможно, хотя в сетевой модели интерфейса SpaceWire тайм-коды отнесены к символному уровню.

**Сравнение скорости передачи данных, производительности и параметрического контроля.** С увеличением скорости передачи данных интерфейсов возрастает и сложность контрольно-диагностического оборудования. Это, в свою очередь, приводит к увеличению стоимости компонентов. Высокоскоростные интерфейсы требуют использования более дорогого оборудования и технологий. Например, для осциллографического анализа сигналов высокоскоростных интерфейсов необходим осциллограф с высокими требованиями по полосе пропускания, максимальной частоте дискретизации и памяти отсчетов. Для подключения к линии передачи информации необходимо использовать специализированные дифференциальные щупы. Для автоматизации измерений высокоскоростных сигналов применяются специализированные высокочастотные коммутаторы. Данные ограничения, введенные из-за повышения требований к точностным характеристикам, вносят существенный вклад в конечную стоимость контрольно-испытательной аппаратуры.

В таблице приведены ключевые характеристики интерфейсов МКО, SpaceWire и SRIO и требования к контрольному оборудованию для осциллоскопического анализа сигналов. Для получения не более 5%-ной погрешности измерения полосу пропускания осциллографа выбирают равной измеряемой частоте, умноженной на три. Частота дискретизации при этом должна составлять примерно четыре полосы пропускания осциллографа.

**Характеристики интерфейсов и требования к контрольному оборудованию**

Параметр	МКО	SpaceWire	SRIO
Техническая скорость передачи данных, Мбит/с	1	1,25–400	1250, 2500, 3125
Размах выходного сигнала на выходе передатчика, мВ	6000–9000 (18 000–27 000)*	500–800	500–1000
Допустимое отклонение выходного сигнала от номинального значения не более, пс	25 000	2400	280, 140, 112
Длительность фронта и спада, пс	100 000–300 000	240 000–750	190, 86, 70
Минимальная ширина полосы пропускания осциллографа для анализа сигнала, МГц	3	1200	10 000
Минимальная частота дискретизации осциллографа для анализа сигнала, Мвыб/с	12	5000	40 000
Необходимость использования дополнительных дифференциальных щупов	–	+	+

\* Для подключения с согласующим трансформатором.

Как следует из таблицы, в зависимости от скорости интерфейса к испытательному оборудованию предъявляются более высокие требования по точности, скорости измерения, объему встроенной памяти, так как высокоскоростные интерфейсы имеют меньшие амплитуды напряжений и более строгие требования к крутизне фронтов. Это приводит к увеличению стоимости контрольно-испытательного оборудования.

**Сравнение контролепригодности протоколов.** Современная и перспективная БА имеют в своем составе большое число сопряженных между собой блоков и устройств. При проведении наземной отработки для обеспечения последующей надежной эксплуатации немалую роль играет контролепригодность. При сравнении контролепригодности учитываются глубина и время контроля и стоимость контрольно-диагностического оборудования. Таким образом, для интерфейсов МКО, SpaceWire и SRIO контролепригодность обратно пропорциональна их скорости.

С увеличением числа уровней сетевой модели увеличивается сложность разработки методик контроля и вероятность погрешностей в них. При разработке функционального контроля необходимо тестировать большее число нештатных ситуаций. При разработке методик параметрического контроля появляется необходимость анализа скоса и джиттера сигнала, например, на глазковой диаграмме. Такие измерения представляют собой более сложную задачу, чем измерение времени нарастания сигнала и амплитуды. Поэтому не только разработчики, программисты и инженеры, но и контрольные органы, работающие с такими измерениями, должны иметь высокую квалификацию.

Особенности контроля необходимо учитывать при каждом виде испытаний. Например, быстродействующий транзистор, выполненный по высоким нормам технологии производства, менее стойкий к деградации при воздействии радиации. Этот факт приводит к необходимости проведения дополнительных параметрических проверок характеристик сигнала при испытаниях на внешние воздействия. Однако измерить точные параметры при проведении радиационных испытаний и испытаний на электромагнитную совместимость сложно, потому что нельзя расположить нестойкое контрольно-диагностическое оборудование в непосредственной близости к объекту контроля. Полученные значения изменения характеристик сигнала (как обратимые, так и необратимые) необходимо учитывать при расчете допусков для параметрического контроля при производстве БА.

**Заключение.** В процессе разработки и использования рассмотренных интерфейсов следует отметить, что скорость передачи данных интерфейса является важным фактором, влияющим на стоимость и сложность его контроля. Более высокая скорость передачи данных требует дорогостоящего оборудования и разработки более сложных методик контроля. Излишне быстрые интерфейсы могут быть неэффективными и неоправданно сложными для аппаратуры, не требующей высокой скорости передачи данных.

Рекомендуется применять интерфейсы с оптимальной скоростью передачи данных, при этом следует учитывать такие факторы, как надеж-

ность, эффективность, стоимость разработки и использования интерфейса. Это позволит выбрать наиболее подходящий интерфейс для конкретных задач и условий применения, оптимизировать его работу и улучшить эффективность системы в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горбунов С.Ф., Гришин В.Ю., Еремеев П.М. Сетевые интерфейсы космических аппаратов: перспективы развития и проблемы внедрения. *Наноиндустрия*, 2019, № 5, с. 128–130. EDN: ZHEXCP
- [2] Аюкаева Д.М., Воронин Ф.А., Полуаршинов М.А. и др. Интеграция управляемой научной аппаратуры на борт российского сегмента международной космической станции. *Космическая техника и технологии*, 2020, № 3, с. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.33950/spacetech-2308-7625-2020-3-66-75>
- [3] Дикарев В.А., Кикина А.Ю., Крючков Б.И. и др. Человеко-машинные интерфейсы пилотируемых космических аппаратов: опыт и перспективы. *Воздушно-космическая сфера*, 2021, № 107, с. 54–64. DOI: <https://doi.org/10.30981/2587-7992-2020-107-2-54-64>
- [4] Бевзенко С.А. Исследование эффектов нагрузочного тестирования на производительность и надежность системы. *Universum: технические науки*, 2023, № 114, с. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2023.114.9.16001>
- [5] Лисин Д.В. Метод объединения основного и резервного комплектов аппаратуры управления космическими экспериментами. *Научное приборостроение*, 2024, т. 34, № 2, с. 95–101.
- [6] Быков А.П., Пиганов М.Н. Методика автономных испытаний бортовых радиоэлектронных приборов космических аппаратов. *Труды МАИ*, 2020, № 111. DOI: <https://doi.org/10.34759/trd-2020-111-7>
- [7] Некрасов В.В., Дементьев Д.Ю., Папенькин С.В. и др. Методика проектирования микроконтроллерной системы управления скоростью вращения ротора двигателя-маховика для высокдинамичных космических аппаратов. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*, 2023, № 3, с. 101–118. DOI: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2023-3-8>
- [8] Быков А.П. Модель и метод оценки надежности бортовых радиоэлектронных устройств. *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*, 2021, № 1, с. 17–23.
- [9] Пучков А.В., Максютин А.С. Разработка симулятора для тестирования систем управления электродвигателями космических аппаратов. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. Т. 1. Красноярск, СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, 2022, с. 652–654. EDN: TBQVDG
- [10] Суворова Е.А., Степанов В.Е., Оленев В.Л. Анализ технологии SpaceFibre для высокоскоростных бортовых сетей. *Ракетно-космическая техника*, 2023, т. 7, № 2, с. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.26732/j.st.2023.2.02>

- [11] Максютин А.С., Мурыгин А.В., Ивлеников Д.В. и др. Разработка рабочего места и алгоритмов тестирования бортового оборудования SpaceWire. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2021, т. 22, № 4, с. 613–623.  
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623>
- [12] Максютин А.С., Казайкин Д.С., Дымов Д.В. и др. Разработка методики тестирования сетевых коммутаторов SpaceWire. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2022, т. 23, № 2, с. 197–208.  
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2022-23-2-197-208>
- [13] Солдатов А.И., Ким О.Х., Солдатов А.А. и др. Бесконфликтный, отказоустойчивый и компактный программируемый коммутатор. *Доклады ТУСУР*, 2021, т. 24, № 3, с. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2021-24-3-12-17>
- [14] Максютин А.С., Мурыгин А.В. Анализ информационного взаимодействия в каналах сети SpaceWire. *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*, 2023, № 75, с. 16–25. EDN: RVVESE
- [15] Бумагин А.В., Гондарь А.В., Савельев С.А. Разработка сложно-функционального блока приемопередатчика интерфейса Serial RapidIO 2,5 Гбит/с на основе отечественного технологического процесса для применения в составе радиационно-стойких интегральных микросхем. *Наноиндустрия*, 2019, № 89, с. 120–125. EDN: UYTWPA
- [16] Годунов А.Н., Солдатов В.А., Хоменков И.И. Передача сообщений в коммуникационной среде RapidIO для семейства операционных систем реального времени Багет. *Программная инженерия*, 2020, т. 11, № 1, с. 26–33.  
DOI: <https://doi.org/10.17587/prin.11.26-33>
- [17] Вьюкова Н.И., Галатенко В.А., Павлов А.Н. и др. Отображение параллельных вычислений на распределенные системы, использующие технологию RapidIO. *Программирование*, 2020, № 6, с. 55–66.  
DOI: <https://doi.org/10.31857/S0132347420060084>
- [18] Журавлев А.В., Аксенов К.А. Анализ времени проведения испытаний системы управления на испытательном стенде. *Инженерный вестник Дона*, 2023, № 5, с. 173–184. EDN: IYSEEA
- [19] Комаров В.А., Сарафанов А.В. Повышение качества наземной экспериментальной отработки бортовой радиоэлектронной аппаратуры систем управления космических аппаратов. *Надежность и качество сложных систем*, 2022, № 39, с. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2022-3-8>
- [20] Максютин А.С., Мурыгин А.В. Концепция построения стенда для тестирования бортовой аппаратуры SpaceWire с возможностью программного и аппаратного моделирования реконфигурируемой топологии бортовой сети космического аппарата. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2023, № 2 (145), с. 4–14. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2023-2-4-14>

**Трещёткин Александр Юрьевич** — аспирант, начальник лаборатории наземных отладочных комплексов АО «НИИ «Субмикрон» (Российская Федерация, 124498, Москва, г. Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5, стр. 2).

**Балиж Кирилл Сергеевич** — канд. техн. наук, начальник лаборатории перспективных проектов АО «НИИ «Субмикрон» (Российская Федерация, 124498, Москва, г. Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5, стр. 2).

**Былинкин Иван Кириллович** — начальник отдела разработки технологической, испытательной и отладочной аппаратуры АО «НИИ «Субмикрон» (Российская Федерация, 124498, Москва, г. Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5, стр. 2).

**Шевяков Василий Иванович** — д-р техн. наук, профессор Института интегральной электроники имени академика К.А. Валиева НИУ МИЭТ (Российская Федерация, 124498, Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Трещёткин А.Ю., Балиж К.С., Былинкин И.К. и др. Исследование влияния параметра контролепригодности на выбор интерфейса обмена данными бортовой аппаратуры. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2025, № 4 (153), с. 46–60. EDN: KPTGUC

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CONTROLLABILITY  
PARAMETER ON THE CHOICE OF AN ON-BOARD EQUIPMENT  
DATA EXCHANGE INTERFACE**

**A.Yu. Treschetkin<sup>1</sup>**

alexander.treschetkin  
@yandex.ru

**K.S. Balizh<sup>1</sup>**

balizh@yandex.ru

**I.K. Bylinkin<sup>1</sup>**

bylinkin@inbox.ru

**V.I. Shevyakov<sup>2</sup>**

shev@dtd.miee.ru

<sup>1</sup>JSC “Research Institute “Submicron”, Moscow, Zelenograd, Russian Federation

<sup>2</sup>MIET, Moscow, Zelenograd, Russian Federation

---

**Abstract**

The article compares the methods of monitoring digital high-speed interfaces of data transmission. Parametric control of the key characteristics of the data transmission interface is used to optimize the verification time, and functional control with the addition of distortion of the transmitted data is used to debug the software. The features of interface control are considered, taking into account the data transfer rate, their architectures and functional features. To systematize interface checks,

**Keywords**

*Control, measurement, testing,  
on-board equipment, data  
transmission interface*

the option of dividing control methods with levels of the OSI interface model is being studied. Recommendations on the choice of measuring instruments for signal analysis are given. Aspects of parametric control techniques are considered. The developed methods of parametric control of high-speed interfaces make it possible to control the parameters of the skew and jitter of the signal. Such measurements are a more complex task than measuring the signal rise time and amplitude. The results of comparing the parameters of the interfaces of the MIL-STD 1553, SpaceWire and Serial RapidIO applied to the task of controllability are presented: an important factor influencing the cost and complexity of such a development

Received 14.10.2024

Accepted 27.06.2025

© Author(s), 2025

## REFERENCES

- [1] Gorbunov S.F., Grishin V.Yu., Eremeev P.M. Spacecraft network interfaces: development prospects and implementation problems. *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2019, no. 5, pp. 128–130 (in Russ.). EDN: ZHEXCP
- [2] Ayukaeva D.M., Voronin F.A., Poluarshinov M.A., et al. Integration of controllable scientific equipment into the Russian segment of the International space station. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space Engineering and Technology], 2020, no. 3, pp. 66–75 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.33950/spacetech-2308-7625-2020-3-66-75>
- [3] Dikarev V.A., Kikina A.Yu., Kryuchkov B.I., et al. Retrospectives and prospects in the preliminary design of human-machine interface of manned spacecraft. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera* [Aerospace Sphere Journal], 2021, no. 107, pp. 54–64 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.30981/2587-7992-2020-107-2-54-64>
- [4] Bevzenko S.A. Study of the effects of load testing on system performance and reliability. *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2023, no. 114, pp. 43–49 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2023.114.9.16001>
- [5] Lisin D.V. The method for combining the main and backup sets of space experiment control equipment. *Nauchnoe priborostroenie*, 2024, vol. 34, no. 2, pp. 95–101 (in Russ.).
- [6] Bykov A.P., Piganov M.N. Off-line tests technique for spacecraft onboard electronic devices. *Trudy MAI*, 2020, no. 111 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.34759/trd-2020-111-7>
- [7] Nekrasov V.V., Dementyev D.Yu., Popenkin S.V., et al. Methodology for designing a microcontroller system flywheel rotor speed control for highly dynamic spacecraft. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University Proceedings. Volga Region. Engineering Sciences], 2023, no. 3, pp. 101–118 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2023-3-8>

- [8] Bykov A.P. Reliability performance measure model and method for avionics. *Radio-tekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy* [Radioengineering and Telecommunication Systems], 2021, no. 1, pp. 17–23 (in Russ.).
- [9] Puchkov A.V., Maksyutin A.S. [Development of a simulator for testing spacecraft electric motor control system]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики*. Т. 1 [Actual problems of aviation and cosmonautics. Vol. 1]. Krasnoyarsk, SibGU im. M.F. Reshetneva Publ., 2022, pp. 652–654 (in Russ.). EDN: TBQVDG
- [10] Suvorova E.A., Stepanov V.E., Olenev V.L. Analysis of the spacefibre technology for the high-bandwidth onboard networks. *Raketno-kosmicheskaya tekhnika* [Spacecrafts and Technologies], 2023, vol. 7, no. 2, pp. 100–106 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.26732/j.st.2023.2.02>
- [11] Maksyutin A.S., Murygin A.V., Ivlenkov D.V., et al. Development of workspace and algorithms for testing spacewire onboard equipment. *Sibirskiy aerokosmicheskii zhurnal* [Siberian Aerospace Journal], 2021, vol. 22, no. 4, pp. 613–623 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623>
- [12] Maksyutin A.S., Kazaykin D.S., Dymov D.V., et al. Development of a methodology for testing spacewire network switches. *Sibirskiy aerokosmicheskii zhurnal* [Siberian Aerospace Journal], 2022, vol. 23, no. 2, pp. 197–208 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2022-23-2-197-208>
- [13] Soldatov A.I., Kim O.Kh., Soldatov A.A., et al. Conflict-free, fault-tolerant, and compact programmable switching unit. *Doklady TUSUR* [Proceedings of the TUSUR University], 2021, vol. 24, no. 3, pp. 12–17 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2021-24-3-12-17>
- [14] Maksyutin A.S., Murygin A.V. Analysis of information interaction in the channels of the spacewire network. *Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika* [PNRPU Aerospace Engineering Bulletin], 2023, no. 75, pp. 16–25 (in Russ.). EDN: RVVESE
- [15] Bumagin A.V., Gondar A.V., Savelyev S.A. Developing rad hard serial rapidio 2.5 g interface transceiver IP based on Russian technological process. *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2019, no. 89, pp. 120–125 (in Russ.). EDN: UYTWPA
- [16] Godunov A.N., Soldatov V.A., Khomenkov I.I. Message transfer in the RapidIO interconnect for Baget real-time operating systems family. *Programmnyaya inzheneriya* [Software Engineering], 2020, vol. 11, no. 1, pp. 26–33 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.17587/prin.11.26-33>
- [17] Vyukova N.I., Galatenko V.A., Pavlov A.N., et al. Mapping parallel computations to distributed systems based on RapidIO technology. *Program. Comput. Soft.*, 2020, vol. 46, no. 6, pp. 418–427. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0361768820060080>
- [18] Zhuravlev A.V., Aksenov K.A. Analysis of the testing time of the control system on the test bench. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2023, no. 5, pp. 173–184 (in Russ.). EDN: IYSEA
- [19] Komarov V.A., Sarafanov A.V. Increasing the quality of ground experimental research of onboard electronic equipment for satellite control systems. *Nadezhnost*

*i kachestvo slozhnykh system* [Reliability & Quality of Complex Systems], 2022, no. 39, pp. 61–69 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2022-3-8>

[20] Maksyutin A.S., Murygin A.V. The concept of constructing a stand to test the spacewire onboard equipment with possibility of software and hardware simulation of reconfigurable topology of the spacecraft onboard network. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2023, no. 2 (145), pp. 4–14 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2023-2-4-14

**Treschetkin A.Yu.** — Post-Graduate Student, Head of the Laboratory of Ground Debugging Complexes, JSC “Research Institute “Submicron” (Georgievskiy prospekt 5, str. 2, Moscow, Zelenograd, 124498 Russian Federation).

**Balizh K.S.** — Cand. Sc. (Eng.), Head of the Laboratory of Advanced Projects, JSC “Research Institute “Submicron” (Georgievskiy prospekt 5, str. 2, Moscow, Zelenograd, 124498 Russian Federation).

**Bylinkin I.K.** — Head of the Department for Development of Technological, Test and Debugging Equipment, JSC “Research Institute “Submicron” (Georgievskiy prospekt 5, str. 2, Moscow, Zelenograd, 124498 Russian Federation).

**Shevyakov V.I.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, K.A. Valiev Institute of Integrated Electronics, MIET (Shokina ploshchad 1, Moscow, Zelenograd, 124498 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Treschetkin A.Yu., Balizh K.S., Bylinkin I.K., et al. Investigation of the influence of the controllability parameter on the choice of an on-board equipment data exchange interface. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2025, no. 4 (153), pp. 46–60 (in Russ.). EDN: KPTGUC