

УДК 004.7

## Перспективы и проблемные вопросы обеспечения интероперабельности интегрированных космических систем

Макаренко С. И., Карутин А. Н.

**Актуальность.** В настоящее время актуальным направлением развития космических систем является их интеграция. В частности, в рамках развития отечественной орбитальной группировки рассматривается тенденция объединения существующих систем спутниковой связи (ССС), систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и спутниковой радионавигационной системы (СРНС) в единую интегрированную космическую систему. Показана связанная с этой тенденцией возрастающая актуальность обеспечения интероперабельности в таких интегрированных космических системах. **Целью работы** является концептуальное описание приложения подхода к обеспечению интероперабельности, представленного в ГОСТ Р 55062-2012, применительно к новому типу информационных систем – интегрированных космических систем, а также обоснование новых направлений исследований в интересах разработки конкретных организационно-технических мер объединения космических систем, которые ранее функционировали отдельно. **Результаты.** В статье представлены барьеры интероперабельности, подход к обеспечению интероперабельности интегрированных космических систем, состоящий в применении отечественной модели интероперабельности и методики ее достижения, представленных в ГОСТ Р 55062-2012, а также направления дальнейших исследований по разработке организационно-технических мер обеспечения интероперабельности интегрированных космических систем. **Элементами новизны работы** является использование известного теоретического базиса интероперабельности, представленного в ГОСТ Р 55062-2012, для формирования актуальных организационно-технических мер обеспечения интероперабельности, применительно к новому объекту исследования – к интегрированной космической системе. **Практическая значимость.** Материал статьи может использоваться для дальнейших исследований в области интероперабельности космических систем, конструкторами космических систем СССР, ДЗЗ и СРНС для выработки единых организационно-технических мер, технологий, стандартов и протоколов их взаимодействия, с наземной инфраструктурой и с потребителями.

**Ключевые слова:** интероперабельность, космическая система, космический аппарат, космический комплекс, спутниковая система связи, система дистанционного зондирования Земли, спутниковая радионавигационная система.

### Введение

В настоящее время развитие информационных и управляющих систем ведется в направлении их интеграции и повышения уровня информационной совместимости. При этом, основополагающим свойством, на основе которого интегрируются различные информационные системы является свойство *интероперабельности* – способности двух или более информационных систем или их компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена [1].

#### Библиографическая ссылка на статью:

Макаренко С. И., Карутин А. Н. Перспективы и проблемные вопросы обеспечения интероперабельности интегрированных космических систем // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 228-247. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-4-228-247

#### Reference for citation:

Makarenko S. I., Karutin A. I. Prospects and problematic issues of ensuring the interoperability of integrated space systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2021, no. 4, pp. 228-247 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2021-4-228-247

Вышеуказанные тенденции по интеграции и к повышению уровня информационной совместимости также относятся и к космическим системам. Например, в настоящее время в Российской Федерации (РФ) утверждается подпрограмма «Сфера». В данной подпрограмме в интегрированную космическую систему объединяются существующие и перспективные системы спутниковой связи (ССС) и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), с одновременным формированием новых организационно-технических решений и сервисов, направленных на повышение информационной совместимости и интеграции вышеуказанных космических систем, которые до настоящего момента функционировали отдельно. В дальнейшем, тенденция развития космических систем и комплексов, по всей видимости, будет идти в направлении интеграции отдельных систем СССР, ДЗЗ, а также спутниковых навигационных систем (СРНС) в единую интегрированную космическую систему. В этом случае, фактически, речь будет идти о необходимости формирования нового научно-практического задела в области интеграции различных космических систем на основе обеспечения интероперабельности. Именно интероперабельность должна стать тем теоретическим базисом, на основе которого будут выработаны конкретные научные и практические решения по интеграции различных космических систем, наземной космической инфраструктуры, отдельных изделий и комплексов. Особенную важность задача обеспечения интероперабельности приобретает при создании многоспутниковых низкоорбитальных космических систем различного назначения, в том числе, на основе малых космических аппаратов (КА), тренд на использование которых получил широкое распространение в последнее время.

Целью статьи является концептуальное описание приложения существующего отечественного подхода к обеспечению интероперабельности, представленного в ГОСТ Р 55062-2012 [1], применительно к новому типу информационной системы – интегрированной космической системе, а также обоснование новых направлений исследований в интересах разработки конкретных организационно-технических мер объединения космических систем, которые ранее функционировали отдельно.

Данная работа продолжает цикл публикаций [2-7] посвященных проблеме интероперабельности и ее обеспечению применительно к информационным и сетевым системам.

## 1. Используемые термины и определения

Вопросы относящихся к интероперабельности космических систем тесно связаны с некоторыми понятиями, которые следует четко определить до рассмотрения последующего материала статьи.

*Барьер интероперабельности* – какое-либо препятствие или ограничение, затрудняющее обмен информацией или использование информации, полученной в результате обмена.

*Взаимодействие* – процессы воздействия различных объектов или систем друг на друга посредством обмена информацией.

*Данные* – поддающееся многократной интерпретации представление информации в формализованной знаково-символьной форме, пригодной для сбора, хранения, передачи, обработки или представления в информационных системах.

*Данные дистанционного зондирования Земли* – первичные данные, получаемые непосредственно с помощью аппаратуры дистанционного зондирования Земли, установленной на борту космического аппарата, и передаваемые или доставляемые на Землю из космоса посредством электромагнитных сигналов, фотопленки, магнитной ленты или какими-либо другими способами, а также материалы, полученные в результате обработки первичных данных, осуществляемой в целях обеспечения возможности их использования.

*Интеграция* – объединение отдельных частей, элементов или подсистем в единое целое.

*Интегрированная космическая система* – совокупность согласованно действующих и взаимосвязанных космических систем, предназначенных для решения совместных задач.

*Интегрированная система* – система, отдельные части которой объединены функционально, структурно, путем информационного обмена, или на основе единой цели функционирования.

*Интероперабельная система* – система, элементы, компоненты, подсистемы которой беспрепятственно обмениваются информацией и используют информацию, полученную в результате такого обмена.

*Интероперабельность* – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена.

*Интерфейс* – совокупность средств и правил взаимодействия отдельных систем, элементов или объектов.

*Информационная система (ИС)* – система, предназначенная для формирования, передачи, хранения, поиска, обработки и представления информации, а также соответствующие ресурсы (организационные, технические, финансовые и т.д.), которые обеспечивают данные процессы.

*Информационная совместимость* – способность двух или более объектов взаимодействовать друг с другом посредством обмена информацией. Применительно к материалу данной статьи термин «информационная совместимость» используется применительно к отдельным частным параметрам взаимодействия космических систем, их подсистем и элементов. При этом подразумевается, что обеспечение интероперабельности соответствует обеспечению информационной совместимости всех вышеуказанных элементов взаимодействующих систем на организационном, семантическом и техническом уровнях. Таким образом, понятие «информационная совместимость» соотносится с понятием «интероперабельность» так же как «частное» к «общему».

*Информационный процесс* – процесс, связанный с формированием, сбором, хранением, передачей, обработкой или представлением информации в информационной системе.

*Информация* – сведения, независимо от формы их представления, относительно фактов, событий, вещей, идей и понятий, которые в определенном контексте имеют конкретный смысл (семантическое значение) и интерпретацию. В обобщенном виде можно записать: «информация» = «данные» + «смысл».

*Качество интероперабельности* – степень соответствия достигнутых показателей интероперабельности требуемым значениям.

*Космическая система* – совокупность согласованно действующих и взаимосвязанных космических аппаратов и других технических средств космического комплекса и наземного специального комплекса, предназначенных для решения целевых задач.

*Космический аппарат* – техническое устройство, предназначенное для функционирования в космическом пространстве с целью решения задач в соответствии с назначением космического комплекса или космической системы.

*Критерий обеспечения интероперабельности* – признак, правило, мера суждения, на основании которых проводится оценка достигнута ли требуемая степень интероперабельности или нет.

*Метасистема* – система более высокого уровня абстракции, своеобразная «система систем», включающая в себя различные разнородные системы, функционирующие на основе различных принципов и взаимодействующие между собой особым образом.

*Навигационные данные* – пространственные координаты, составляющие вектора скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения поправки показаний часов потребителя в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства.

*Орбитальная группировка космических аппаратов (ОГ КА)* – совокупность космических аппаратов, расположенных на орбитах в соответствии с баллистической структурой и объединенных общностью решаемых задач в составе космической системы или комплекса.

*Организационная интероперабельность* – интероперабельность на уровне общих целей, бизнес-процессов, нормативно-правовых актов взаимодействующих систем.

*Подход к обеспечению интероперабельности* – совокупность приемов исследования, получения новых знаний, разработки методов, методик, алгоритмов, способов и технологий решения задач, которые направлены на обеспечение интероперабельности.

*Показатель интероперабельности* – совокупность характеристик, функций характеристик или величин, качественно и количественно оценивающих степень достижения интероперабельности.

*Протокол* – совокупность правил взаимодействия объектов или функциональных элементов системы.

*Семантическая интероперабельность* – интероперабельность на уровне интерпретации смысла информации, которой обмениваются взаимодействующие системы.

*Система* – комбинация взаимодействующих элементов, организованных для достижения одной или нескольких поставленных целей.

*Система дистанционного зондирования Земли* – космическая система, предназначенная для получения данных о состоянии поверхности Земли и находящихся на ней объектов на основе использования принципов оптики, радиолокации или радиоэлектронного мониторинга, состоящая из космического сегмента, образованного космическими аппаратами ДЗЗ, и наземного сегмента, образованного пунктами приема информации (ППИ), расположенными на Земле.

*Система спутниковой связи* – космическая система, использующая один или несколько космических аппаратов, обеспечивающая обслуживание пользователей с целью удовлетворения их потребностей в определенном наборе услуг связи.

*Совместимость* – способность системы взаимодействовать и функционировать с другими системами без каких-либо ограничений.

*Сообщение* – конечный набор данных, содержащий информацию о каком-либо отдельном факте, явлении или событии, который является базовой семантически-неделимой частью процесса передачи информации.

*Спутниковая радионавигационная система* – космическая система, предназначенная для определения пространственных координат, составляющих вектора скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения поправки показаний часов потребителя в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства.

*Техническая интероперабельность* – интероперабельность на уровне технических средств, аппаратных и программных комплексов, их интерфейсов и протоколов обмена информацией, а также форматов представления информации.

*Уровень интероперабельности* – степень абстракции, детализации и спецификации описания процесса обмена информацией и использования информации, полученной в результате такого обмена. В настоящее время в отечественном подходе к достижению интероперабельности выделяют три уровня: технический, семантический и организационный.

*Формат данных* – порядок расположения и форма представления данных в виде отдельных блоков, содержащих помимо непосредственно самих данных, еще и служебную информацию, облегчающую и упорядочивающую формирование, сбор, хранение, передачу, обработку или визуализацию данных.

*Элемент системы* – часть системы, которая рассматривается как его единое наименьшее целое, при этом внутренняя структура элемента или дальнейшая его декомпозиция на составные части не является предметом данного исследования.

## **2. Анализ существующих подходов к обеспечению интероперабельности**

Начиная с 1990-х годов в ведущих зарубежных странах, и прежде всего в США, развернуты работы по комплексированию различных информационных и управляющих систем в единые информационно-управляющие метасистемы. Создание таких метасистем потребовало проведение масштабных теоретиче-

ских исследований в области интероперабельности (эволюция этих исследований кратко представлена в работе [2]). Координацию этих исследований на международном уровне осуществлял консорциум «Network Centric Operations Industry Council» (NCOIC) [8]. Данный консорциум разработал большое количество руководящих документов для обеспечения интероперабельности, основными из которых является «Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model» (SCOPE-модель) [9] и «NCOIC Interoperability Framework» (NIF) [10]. Развивая и внедряя передовой зарубежный опыт исследований в предметную область интероперабельности в РФ были развернуты крупномасштабные исследования в Институте радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова под руководством проф. А.Я. Олейникова [11-18]. Под его руководством был разработан отечественный подход к обеспечению интероперабельности, зафиксированный в национальном ГОСТ Р 55062-2012 «Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения» [1], который ввел в действие эталонную модель интероперабельности (рис. 1), рассматривающей интероперабельность на трех ее основных уровнях: организационном, семантическом и техническом.

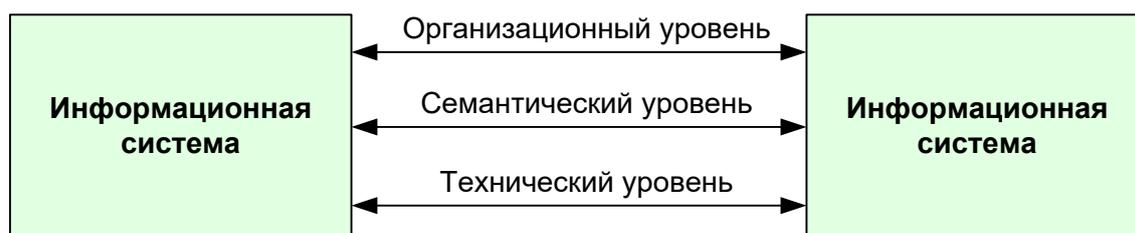


Рис. 1. Эталонная трехуровневая модель интероперабельности в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012

Несмотря на кажущуюся схожесть, термин «интероперабельность» является гораздо более широким понятием нежели «техническая совместимость» или «информационная совместимость». Так, если обеспечение этих совместимостей предполагает формирование и внедрение общих интерфейсов, протоколов и стандартов обмена данными, то интероперабельность помимо этих мероприятий (рис. 1) требует решения множества других задач, учета совокупности различных аспектов и параметров на всех трех уровнях эталонной модели, зафиксированных в ГОСТ Р 55062-2012: организационном, семантическом и техническом.

*Технический уровень интероперабельности* соответствует обеспечению единых стандартов формирования, передачи, хранения, поиска, обработки и представления информации. На этом же уровне должны решаться задачи обеспечения совместимости форматов данных, во всех вышеуказанных процессах, а для сетевой инфраструктуры – единство телекоммуникационных протоколов и требований к качеству обслуживания. На этом же уровне отдельно выделяются вопросы информационной безопасности и рассматривается функционирование различных технических подсистем, подсистем управления и связи, а также про-

чих аппаратно-программных комплексов. Здесь также рассматриваются вопросы технологической готовности различных технических комплексов и систем к информационному взаимодействию между собой, а также эргономики человеко-машинного взаимодействия. В целом технический уровень решает практически все задачи информационной совместимости разнообразных технических, радиоэлектронных, аппаратных и программных средств.

*Семантический уровень интероперабельности* соответствует внедрению единых стандартов правильной интерпретации смысла циркулирующей в системе информации: команд управления, данных телеметрической информации, данных пользователей, данных и сигналов от бортовой аппаратуры полезной нагрузки и т.д. Применительно к космическим системам значимость этого уровня приобретает особое значение в связи с наметившейся тенденцией к внедрению систем искусственного интеллекта (ИИ) в контур управления многоспутниковыми космическими системами (например, такими как ССС Starlink), а также использование ИИ для обработки и комплексирования данных ДЗЗ. И если человек-оператор интуитивно интерпретирует смысл всей поступающей информации, то для систем ИИ все это является сложной и нетривиальной задачей. Именно на семантическом уровне технические средства ИИ должны обеспечить компиляцию смысла большого количества данных, поступающей от различных источников, верно интерпретировать и оценить обстановку, принимать адекватные решения в ответ на те или иные действия. С все большим внедрением систем ИИ в контур управления космических систем, а также в подсистемы обработки данных полезной нагрузки (прежде всего – данных ДЗЗ) значимость этого уровня интероперабельности будет возрастать, поскольку именно на нём формализуются процессы компиляции и обработки смысла информации, преобразования ее в знания и обмен этими знаниями между системами ИИ, входящими в состав различных космических систем, а через человеко-машинные интерфейсы – с операторами и лицами, принимающими решения.

*Организационный уровень интероперабельности* соответствует общим нормативно-правовым актам, регламентирующим общие задачи обеспечения совместимости всех сил и средств, обеспечивающих проектирование, эксплуатацию и модернизацию информационных систем. На данном уровне формулируются цели и задачи всех органов управления, порядок их взаимодействия, а также требования к средствам управления и связи. Разрабатываются руководящие документы, стандарты, рекомендации, концепции и доктрины, которые определяют стратегии создания и развития информационных систем с учетом обеспечения их совместимости между собой на всем протяжении их жизненного цикла (создание, эксплуатация, утилизация).

После разработки ГОСТ Р 55062-2012 дальнейшие исследования, проводимые в настоящее время в области интероперабельности в РФ, были направлены на разработку модели интероперабельности, гармонизированной с SCOPE-моделью [9] и с ГОСТ Р 55062-2012 [1], а также концепции интероперабельности, гармонизированной с NIF [10] и ГОСТ Р 55062-2012 [1].

Принципиально важной для практического обеспечения интероперабельности является модель интероперабельности, представляющая и взаимно упорядочивающая различные аспекты интероперабельности на трех ее основных уровнях: техническом, семантическом, организационном (рис. 2). В настоящее время данная модель не является завершенной и исследования по ее разработке и повышению полноты «наполнения» отдельных аспектов и параметров еще продолжаются. К наиболее проработанным аспектам и параметрам в составе модели интероперабельности относятся п. 2.1-2.3 и 3.2-3.5 (рис. 2), относящиеся к семантической и технической интероперабельности и опубликованные в работах [4, 6, 7, 24, 25]. По остальным аспектам и параметрам модели ведется исследовательская работа.



Рис. 2. Отечественная модель интероперабельности – основные аспекты и параметры

Отметим, что эта модель представляет собой аналог некоторой «дорожной карты», позволяющей разработчикам новых систем или специалистам, выполняющим интеграцию уже существующих систем, оценить те основные аспекты и параметры, которые значимо влияют на достижение интероперабельности, проверить их выполнение, при необходимости разработав и внедрив в системы новые организационно-технические решения и процедуры, направленные на повышение уровня интероперабельности. Вместе с тем, аспекты и пара-

метры, представленные в модели интероперабельности, носят в основном описательный и абстрактный характер и должны адаптироваться и интерпретироваться специалистами отдельно и самостоятельно, применяя данную модель в каждой отдельной предметной области. Это связано с тем, что модель обладая определенным уровнем общности и универсальности, не может охватить и учесть все особенности взаимодействия конкретных информационно-управляющих систем в различных областях.

Применительно к обеспечению интероперабельности космических систем отметим, что исследования по данному вопросу ведутся международным комитетом Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) [19], в состав которого входят более 10 национальных космических агентств, включая и российскую государственную корпорацию (ГК) «Роскосмос». Данный комитет к настоящему времени разработал более 50 открытых стандартов, более 20 технических руководств и подготовил более 40 обзоров в области обеспечения интероперабельности космических систем, прежде всего, относящихся к обеспечению технической интероперабельности, как при организации передачи данных внутри и между космическими системами, так при разработке архитектурных и технических решений.

Известные немногочисленные научные публикации по тематике интероперабельности космических систем (например [20-23]) посвящены, в основном, семантической интероперабельности данных ДЗЗ, полученных от различных космических систем, работающих на основе различных принципов (оптических, инфракрасных, радиолокационных и т.д.), а также интероперабельности навигационных сигналов различных СРНС (ГЛОНАСС, GPS, Galileo и т.д.). При этом, в известных публикациях, единый системный подход к обеспечению интероперабельности космических систем отсутствует, а известные работы по этой тематике носят частный и разобщенный характер.

В отечественной космической отрасли различные аспекты интероперабельности широко рассмотрены и описаны еще со времен СССР, в основном, применительно к организационному уровню. В частности, внедрены стандарты, регламентирующие процедуру создания, производства и эксплуатации ракетных и космических комплексов. Однако, эти стандарты были разработаны, в первую очередь, применительно к созданию специализированных систем и комплексов, поэтому их применение при создании коммерческих космических систем зачастую избыточно или даже скорее убыточно из-за растягивания сроков разработки и испытаний.

С 1991 г. в структуре Росстандарта РФ образован и действует технический комитет ТК 321 «Ракетно-космическая техника» (РКТ), в состав которого входят 22 ведущие организации ракетно-космической отрасли, под общим председательством АО «ЦНИИмаш». Технический комитет ТК 321 «Ракетно-космическая техника» включает в себя ряд подкомитетов (ПК), которые отвечают за разработку стандартов соответствующего назначения:

- ПК 1 «Средства выведения» (АО «РКЦ «Прогресс»);
- ПК 2 «Автоматические космические аппараты» (АО «ИСС»);
- ПК 3 «Пилотируемые космические аппараты» (ПАО «РКК «Энергия»);

- ПК 4 «Ракетные двигатели» (АО «НПО Энергомаш»);
- ПК 5 «Системы управления» (ФГУП «НПЦАП»);
- ПК 6 «Бортовые и наземные радиотехнические системы и ЭКБЗ. Электромагнитная совместимость и защита от статического электричества» (АО «Российские космические системы»);
- ПК 7 «Объекты наземной космической инфраструктуры» (АО «ЦЭНКИ»);
- ПК 8 «Технологическое и метрологическое обеспечение РКТ» (ФГУП «НПО «Техномаш»);
- ПК 9 «Качество, надежность, безопасность РКТ. Конструкторские нормы, требования» (АО «ЦНИИмаш»);
- ПК 10 «Прочность, теплообмен и аэрогазодинамика РКТ» (АО «ЦНИИмаш»);
- ПК 11 «Материалы, покрытия для РКТ» (АО «Композит»);
- ПК 12 «Внешние воздействующие факторы» (НИИЯФ МГУ);
- ПК 13 «Использование результатов космической деятельности» (АО «ЦНИИмаш»);
- ПК 14 «Данные дистанционного зондирования Земли» (АО «ЦНИИмаш»).

Отметим, что в настоящее время в составе ТК 321 «Ракетно-космическая техника» отсутствует подкомитет на который были бы возложены функции разработки стандартов и руководящих документов по системному формированию требований к обеспечению интероперабельности применительно к космическим системам.

Таким образом, анализ стандартов и руководящих документов, разработанных CCSDS и ТК 321 «Ракетно-космическая техника», показывает, что они не могут быть «напрямую» применимы для обоснования исчерпывающих решений по обеспечению интероперабельности при интеграции новых отечественных космических систем. Такие решения могут быть получены только путем учета всех особенностей уже существующих и перспективных систем, углубленным анализом барьеров интероперабельности, возникающих при интеграции этих систем, формированием набора эксклюзивных организационно-технических решений на основе конкретизации аспектов и параметров модели интероперабельности (рис. 2) применительно к каждой конкретной вышеуказанной системе и к метасистеме в целом, формируемой в результате их интеграции. При этом, разумеется, при формировании этих решений должен учитываться передовой мировой опыт обеспечения интероперабельности космических систем.

### **3. Барьеры интероперабельности при интеграции космических систем**

Объединение существующих и перспективных систем, особенно низкоорбитальных, в интегрированную космическую систему предполагает преодоление барьеров интероперабельности – препятствий и ограничений, затрудня-

ющих обмен информацией между отдельными системами. К числу основных барьеров интероперабельности в рассматриваемом случае можно отнести следующее.

На организационном уровне:

- совершенствование правового регулирования в области обеспечения деятельности предприятий ракетно-космической промышленности;
- отсутствие единой нормативно-правовой базы, регламентирующей порядок разработки, введения в строй и эксплуатации интегрированной космической системы, состоящей из систем различного назначения;
- отсутствие единых целей функционирования интегрированной космической системы, в рамках которых одновременно бы использовались системы различного назначения;
- отсутствие показателей, моделей и методик оценки эффективности достижения целей функционирования интегрированной космической системы, по которым возможно оценить, как качество интеграции систем, так и достижение целей для которых производится такая интеграция;
- отсутствие единого жизненного цикла интегрированной космической системы;
- корректировка нормативно-правовой базы, создания нормативно-технической документации в области развития российского рынка космических услуг и системы операторской деятельности.

На семантическом уровне – отсутствие единой системы поиска, интерпретации и формирования метаданных (в том числе – высокоуровневых онтологий) в отношении информации, поступающей от различных систем ДЗЗ, работающих на основе различных принципов (оптических, инфракрасных, радиолокационных и т.д.).

На техническом уровне:

- отсутствие единых форматов данных, используемых в космических системах, при формировании, сборе, передаче, хранении, обработке и представлении (визуализации) информации;
- отсутствие в космических системах единых протоколов и интерфейсов информационного обмена, позволяющих информации беспрепятственно циркулировать между системами;
- отсутствие в космических системах единых процедур формирования, сбора, передачи, хранения, обработки и представления (визуализации) информации;
- отсутствие в единых процедурах автоматизации управления как информационными процессами, так и самими системами, а также интегрированной космической системой, в которую эти системы входят в качестве составных частей;
- отсутствие единых процедур автоматизации процесса принятия решений на всем протяжении жизненного цикла данных систем, в сложных или нештатных ситуациях во время эксплуатации, отсутствие автома-

тизированных систем поддержки принятия решений для космических систем;

- отсутствие в системах единых требований и формальных процедур обеспечения информационной безопасности;
- отсутствие в системах единых требований и стандартов превентивного обеспечения технической и информационной готовности космических систем к совместимости и интеграции между собой;
- отсутствие единых принципов построения архитектуры КА и универсальных платформ КА в интересах организации серийного производства КА различного функционального назначения крупными партиями.

Таким образом, можно констатировать, что для интеграции космических систем в настоящее время имеется большое количество барьеров интероперабельности, преодоление которых имеет принципиально важное значение. Для преодоления вышеуказанных барьеров интероперабельности требуется немедленно развернуть широкомасштабные системные исследования в области интероперабельности с учетом специфики ракетно-космической техники, а также тенденций создания интегрированных космических систем.

#### **4. Предложения по обеспечению интероперабельности при интеграции космических систем**

Одним из направлений создания интегрированной космической системы, является объединение в нее существующих и перспективных систем ССС, ДЗЗ и СРНС. Вариант такого объединения представлен на рис. 3.

Необходимо отметить, что для космических систем (например, ССС, ДЗЗ и СРНС) важность обеспечения тех или иных аспектов интероперабельности на организационном и техническом уровнях различна. Те аспекты, которые важны для одной системы, могут быть несущественны для другой. Важность, основных аспектов интероперабельности для космических систем связи, ДЗЗ и СРНС представлена в таблице 1.

Данные, представленные в таблице 1, носят предварительный характер. Реальные организационно-технические меры по интеграции систем ССС, ДЗЗ и СРНС должны основываться на глубоком и тщательном анализе этих систем, предполагаемой схемы совместного функционирования, барьеров интероперабельности. Пункты таблицы 1, применительно к каждой конкретной космической системы должны быть существенно расширены и конкретизированы, с выходом на конкретные организационно-технические решения как для каждой системы в целом, так и для их составных частей – космического и наземного сегментов, а также для абонентских терминалов пользователей и пунктов приема информации ДЗЗ. Именно это является направлением дальнейших исследований авторов.

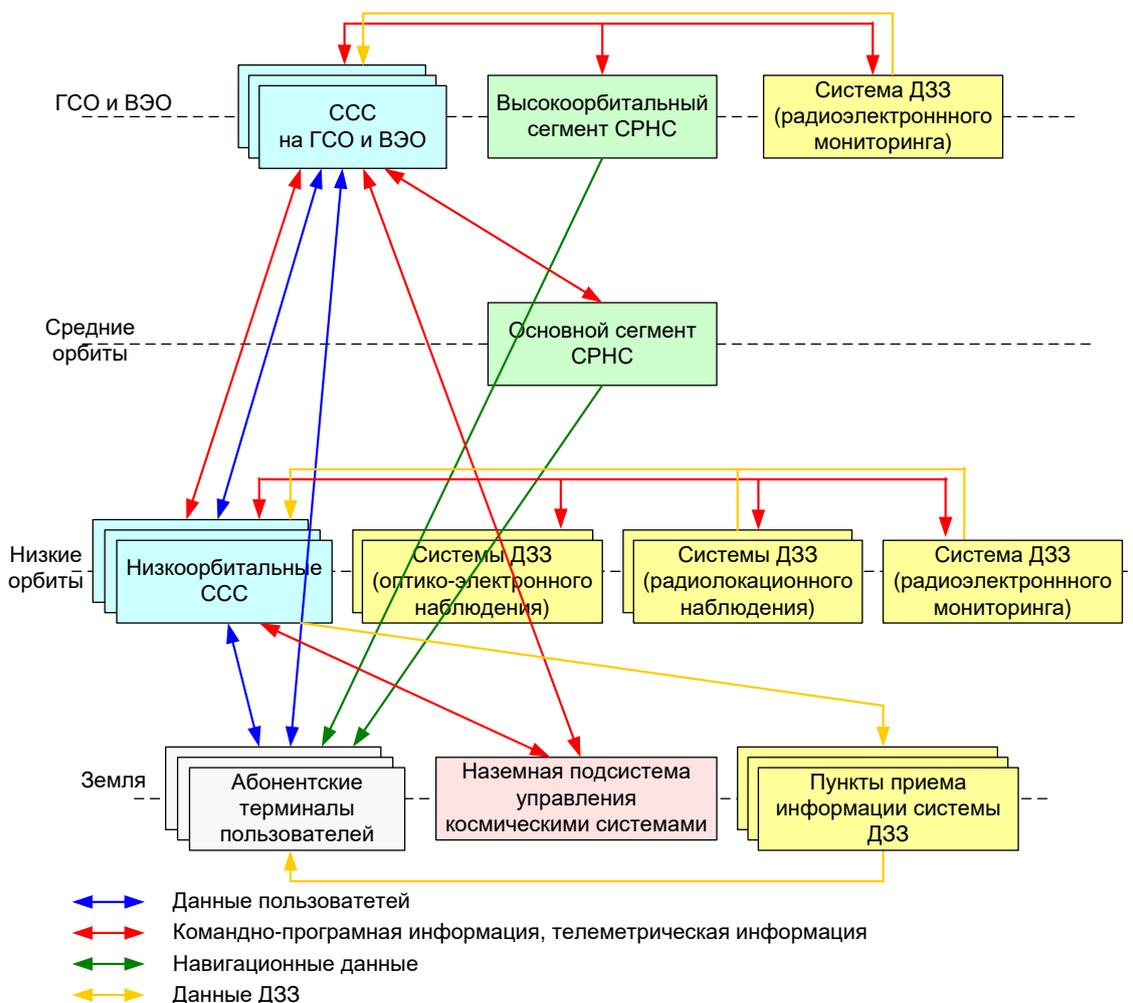


Рис. 3. Вариант объединения систем ССС, ДЗЗ и СРНС в единую интегрированную космическую систему (обозначения на рисунке: ГСО – геостационарная орбита; ВЭО – высокоэллиптическая орбита)

### Выводы

Задача интеграции различных космических систем является сложной организационной и научно-технической задачей. Это подтверждается обширным фронтом исследовательских работ, развернутых в интересах интеграции систем связи и ДЗЗ, осуществляемых в РФ в рамках подпрограммы «Сфера».

Решение задачи создания интегрированных космических систем должно опираться на теоретический базис в области интероперабельности, образованный отечественным стандартом ГОСТ Р 55062-2012 [1], моделью интероперабельности [4, 6, 7, 24, 25], а также отечественными стандартами и рекомендациями комитета CCSDS с учетом их корректировки.

Таблица 1 – Значимые аспекты интероперабельности для различных систем, при их объединении в единую интегрированную космическую систему

| Аспекты интероперабельности   | ССС | Системы ДЗЗ | СРНС    |
|---|-----|-------------|---------|
| <b>Организационный уровень интероперабельности</b>  |     |             |         |
| Правовое регулирование в области обеспечения деятельности предприятий ракетно-космической промышленности  | +   | +           | +       |
| Нормативно-правовые акты, регламентирующие порядок разработки, введения в строй и эксплуатации интегрированной космической системы, состоящей из систем различного назначения | +   | +           | +       |
| Согласованность целей систем между собой, наличие интегральных целей, методического аппарата оценки эффективности их достижения   | +   | +           | +       |
| Методический аппарат оценки эффективности качества интероперабельности систем, достижения интегральных целей функционирования   | +   | +           | +       |
| Нормативно-правовая база, создания нормативно-технической документации в области развития российского рынка космических услуг и системы операторской деятельности             | +   | +           | +       |
| Параметры организационной готовности объектов к внутри- и межсистемному взаимодействию  | +   | +           | +       |
| <b>Семантический уровень интероперабельности</b>  |     |             |         |
| Процедуры автоматического распознавания объектов, формирования метаданных, семантических сетей и онтологий, комплексирования информации, поступающей от различных систем      | –   | +           | –       |
| <b>Технический уровень интероперабельности</b>  |     |             |         |
| Параметры совместимости форматов данных   | –   | +           | –       |
| Параметры совместимости форматов сообщений  | +   | $\pm^1$     | –       |
| Параметры совместимости форматов сигналов   | +   | $\pm^1$     | +       |
| Параметры совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания   | +   | $\pm^1$     | –       |
| Параметры совместимости процедур формирования, поиска, хранения, обработки и представления информации   | –   | +           | –       |
| Параметры совместимости процедур передачи информации  | +   | $\pm^1$     | –       |
| Параметры автоматизации сетевого взаимодействия   | +   | $\pm^1$     | –       |
| Параметры автоматизации принятия решений и управления космической системой  | +   | +           | +       |
| Параметры информационной безопасности   | +   | +           | $\pm^2$ |
| Параметры эргономики человеко-машинных интерфейсов  | +   | +           | +       |
| Параметры технологической готовности объектов к внутри- и межсистемному взаимодействию  | +   | $\pm^1$     | –       |

Примечания:

<sup>1</sup> данные требования распространяются на системы ДЗЗ в части взаимодействия с СССР при доставке потребителям данных ДЗЗ;

<sup>2</sup> требования по обеспечению информационной безопасности распространяются на навигационные каналы для специальных потребителей, а также на информацию, циркулирующую в подсистеме управления СРНС.

При этом проводимая интеграция не может быть основана на «механическом» применении вышеуказанных стандартов и документов, а требует проведения широкомасштабных исследований по разработке конкретных теоретических (модели, методы, методики) и практических (способы, протоколы, интерфейсы) решений по интеграции сопрягаемых систем, а также для их составных частей – космического и наземного сегментов, абонентских терминалов пользователей и т.д. Именно разработка таких теоретических и практических решений является направлением дальнейших исследований авторов.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774 и государственной темы НИР СПИИРАН № 0073-2019-0004.*

### Литература

1. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. Макаренко С. И., Олейников А. Я., Черницкая Т. Е. Модели интероперабельности информационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 215-245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
3. Козлов С. В., Макаренко С. И., Олейников А. Я., Растягаев Д. В., Черницкая Т. Е. Проблема интероперабельности в сетевых системах управления // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 12. С. 16. DOI: 10.30898/1684-1719.2019.12.4.
4. Макаренко С. И., Черницкая Т. Е. Аспекты совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках оценки интероперабельности сетевых систем // Журнал радиоэлектроники. 2020. № 10. С. 7. DOI: 10.30898/1684-1719.2020.10.4.
5. Башлыкова А. А., Козлов С. В., Макаренко С. И., Олейников А. Я., Фомин И. А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетевых системах управления // Журнал радиоэлектроники. 2020. № 6. С. 15. DOI: 10.30898/1684-1719.2020.6.13.
6. Черницкая Т. Е., Макаренко С. И., Растягаев Д. В. Аспекты информационной безопасности в рамках оценки интероперабельности сетевых систем // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 113-121. DOI: 10.25586/RNU.V9187.20.04.P.113.
7. Макаренко С. И. О некоторых параметрах поиска и обработки информации при обеспечении технической интероперабельности сетевых систем // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 3. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.3.5.
8. Network-Centric Operations Industry Consortium (NCOIC). 2020. – URL: <https://www.ncoic.org> (дата доступа: 20.04.2021).

9. Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. – NCOIC, 2008. – 154 p.

10. NCOIC Interoperability Framework (NIF v. 2.1) and NIF Solution Description Reference Manual (NSD-RM v. 1.2). – NCOIC, 2008. – 125 p.

11. Гуляев Ю. В., Журавлев Е. Е., Олейников А. Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 3. С. 12. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf> (дата доступа: 20.04.2021).

12. Гуляев Ю. В., Олейников А. Я. Состояние и перспективы развития технологии открытых систем // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006. № 3. С. 7-18.

13. Олейников А. Я., Разинкин Е. И. Профиль интероперабельности в области электронной коммерции // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 4. С. 74-79.

14. Журавлев Е. Е., Иванов С. В., Каменщиков А. А., Корниенко В. Н., Олейников А. Я., Широбокова Т. Д. Особенности методики обеспечения интероперабельности в ГРИД-среде и облачных вычислениях // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Т. 7. № 3. С. 675-682.

15. Быстров Р. П., Корниенко В. Н., Олейников А. Я. Интероперабельность, информационное противоборство и радиоэлектронная борьба // Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 15-34.

16. Олейников А. Я., Егоров Г. А., Журавлев Е. Е., Королев А. С., Кочуков А. Н., Широбокова Т. Д. Применение технологии открытых систем для создания интегрированных информационных систем промышленных предприятий // Радиопромышленность. 2006. № 2. С. 90-107.

17. Олейников А. Я., Каменщиков А. А. Роль интероперабельности в цифровой экономике и обороноспособности страны // ИТ-Стандарт. 2017. № 4 (13). С. 31-35.

18. Технология открытых систем. Монография / Под ред. А.Я. Олейникова – М.: Янус-К, 2004. – 288 с.

19. Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) [Электронный ресурс]. 2021. – URL: <https://public.ccsds.org> (дата доступа: 20.04.2021).

20. Parker J. J., Bauer F. H., Ashman B. W., Miller J. J., Enderle W., Blonski D. Development of an Interoperable GNSS Space Service Volume // Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018). 2018. С. 1246-1256.

21. Borowitz M. An Interoperable Information Umbrella // Strategic Studies Quarterly. 2021. Т. 15. № 1. С. 116-132. – URL: <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26984770> (дата доступа: 20.04.2021).

22. Domenico B., Caron J., Davis E., Nativi S., Bigagli L. GALEON: Standards-based Web Services for Interoperability among Earth Sciences Data Systems // 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing. – Denver, CO, USA, 2006. – С. 313-316. DOI: 10.1109/IGARSS.2006.85.

23. Кудашев Е. Б., Филонов А. Н. Распределенная геоинформационная инфраструктура спутниковых данных // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. № 6. С. 79-90.

24. Макаренко С. И., Соловьева О. С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетевых систем // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 4. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.4.10.

25. Макаренко С. И., Соловьева О. С. Семантическая интероперабельность взаимодействия элементов в сетевых системах // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 6. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.6.3.

### References

1. GOST R 55062-2012. Informacionnye tekhnologii (IT). Sistemy promyshlennoj avtomatizacii i ih integraciya. Interoperabel'nost'. Osnovnye polozheniya [Information technology (IT). Industrial automation systems and their integration. Interoperability. Fundamentals]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p. (in Russian).

2. Makarenko S. I., Oleynikov A. Y., Chernitskaya T. E. Models of interoperability assessment for information systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 4, pp. 215-245 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.

3. Kozlov S. V., Makarenko S. I., Oleinikov A. Ya., Rastyagaev D. V., Chernitskaya T. E. Interoperability problem in net-central management systems. *Journal of Radio Electronics*, 2019, no. 12, pp. 16. (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2019.12.4.

4. Makarenko S. I., Chernitskaya T. E. Aspects of compatibility of network protocols, interfaces and requirements for quality of service in the framework of assessing the interoperability of network-centric information management systems. *Journal of Radio Electronics*, 2020, no. 10, pp. 7 (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2020.10.4.

5. Bashlykova A. A., Kozlov S. V., Makarenko S. I., Oleynikov A. Ya., Fomin I. A. An approach to ensuring interoperability in network-centric control systems. *Journal of Radio Electronics*, 2020, no. 6, pp. 15 (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2020.6.13.

6. Chernitskaya T. E., Makareno S. I., Rastyagaev D. V. Aspects of Information Assurance Within Net-Centric Information and Control Systems Interoperability Evaluation. *Vestnik of Russian New University. Series Complex systems: models, analysis, management*, 2020, no. 4, pp. 113-121. DOI: 10.25586/RNU.V9187.20.04.P.113.

7. Makarenko S. I. On some parameters of information search and processing while ensuring the technical interoperability of network-centric systems. *Journal of Radio Electronics*, 2021, no. 3 (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2021.3.5.

8. Network-Centric Operations Industry Consortium (NCOIC). 2020. Available at: <https://www.ncoic.org> (accessed 20 April 2021).

9. *Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0*. NCOIC, 2008. 154 p.

10. *NCOIC Interoperability Framework (NIF v. 2.1) and NIF Solution Description Reference Manual (NSD-RM v. 1.2)*. NCOIC, 2008. 125 p.

11. Gulyaev Yu. V., Zhuravliov E. E., Oleinkov A. Ya. The methodology of standardization for address the interoperability of information systems of broad classes. *Journal of Radio Electronics*, 2012, no. 3. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf> (accessed 20 April 2021) (in Russian).

12. Gulyaev Yu. V., Oleinkov A. Ya. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologii otkrytyh sistem [State and prospects of open systems technology development]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*, 2006, no. 3, pp. 7-18 (in Russian).

13. Oleinkov A. Ya., Razinkin E. I. Profil interoperabelnosti v oblasti elektronnoj kommercii [E-Commerce interoperability profile]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*, 2013, no. 4, pp. 74-79 (in Russian).

14. Zhuravlev E. E., Ivanov S. V., Kamenshchikov A. A., Kornienko V. N., Oleynikov A. Ya., Shirobokova T. D. Aspects of methodology of ensuring interoperability in the Grid-environment and cloud computing. *Computer Research and Modeling*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 675-682 (in Russian).

15. Bystrov R. P., Korniyenko V. N., Oleynikov A. Ya. Interoperability, information antagonism and radio-electronic fight. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2018, no. 5, pp. 15-34 (in Russian).

16. Olejnikov A. Ya., Egorov G. A., Zhuravlev E. E., Korolev A. S., Kochukov A. N., Shirobokova T. D. Primenenie tekhnologii otkrytyh sistem dlya sozdaniya integrirovannyh informacionnyh sistem promyshlennyh predpriyatij [Application of open systems technology for creation of integrated information systems of industrial enterprises]. *Radio industry*, 2006, no. 2, pp. 90-107 (in Russian).

17. Oleinikov A. Ya., Kamenshchikov A. A. The role of interoperability in the digital economy and defense capability of the country. *IT-Standart*, 2017, vol. 13, no. 4, pp. 31-35 (in Russian).

18. *Tekhnologiya otkrytyh sistem. Monografiya [Open systems technology. Monograph]*. By edit. A.Ya. Olejnikov. Moscow, Yanus-K Publ., 2004. 288 p. (in Russian).

19. Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS). 2021. Available at: <https://public.ccsds.org> (accessed 20 April 2021).

20. Parker J. J., Bauer F. H., Ashman B. W., Miller J. J., Enderle W., Blonski D. Development of an Interoperable GNSS Space Service Volume. *Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018)*, 2018. pp. 1246-1256.

21. Borowitz M. An Interoperable Information Umbrella. *Strategic Studies Quarterly*, 2021, vol. 15, no. 1, pp. 116-132. Available at: <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26984770> (accessed 20 April 2021).

22. Domenico B., Caron J., Davis E., Nativi S., Bigagli L. GALEON: Standards-based Web Services for Interoperability among Earth Sciences Data Systems. *2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing*, Denver, CO, USA, 2006. pp. 313-316. DOI: 10.1109/IGARSS.2006.85.

23. Kudashev E. B., Filonov A. N. Distributed geoinformation infrastructure of satellite data. *Computational Technologie*, 2008, vol. 13, no. 6, pp. 79-90 (in Russian).

24. Makarenko S. I., Solovieva O. S. Basic provisions of the concept of semantic interoperability of net-centric systems. *Journal of Radio Electronics*, 2021, no. 4. (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2021.4.10.

25. Makarenko S. I., Solovieva O. S. Semantic interoperability of interaction of elements in network-centric systems. *Journal of Radio Electronics*, 2021, no. 6. (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2021.6.3.

Статья поступила 16 апреля 2021 г.

### Информация об авторах

*Макаренко Сергей Иванович* – доктор технических наук, доцент. Ведущий научный сотрудник. Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН. Профессор кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39.

*Карутин Андрей Николаевич* – кандидат технических наук. Исполнительный директор по системному проектированию проектного офиса по проекту «Сфера». АО «ЦНИИмаш». Область научных интересов: космические системы и комплексы, спутниковые системы связи. E-mail: ankarutin@yandex.ru

Адрес: 141070, Московская область, г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4.

---

## Prospects and Problematic Issues of Ensuring the Interoperability of Integrated Space Systems

S. I. Makarenko, A. I. Karutin

**Relevance.** In the present, integration is the most relevant direction of the space systems development. In particular, there is a tendency that the existing satellite communication systems (SATCOM), the Earth observation satellites systems (EOSS) and the global navigation satellite systems (GNSS) will be combined into a single integrated space system. Therefore, the relevance of ensuring interoperability in such the integrated space system is growing. **The goal of the paper** is a conceptual description of the interoperability approach, presented in the Russian standard GOST R 55062-2012, for a new type of an information system - the integrated space systems, as well as justification of development directions for the technical ways of combining the space systems that previously functioned separately. **Results.** There are the interoperability barriers, a new approach to ensuring the interoperability of integrated space systems based on GOST R 55062-2012 and the further research directions of the of integrated space systems development in the paper. **The novelty elements of the paper** are the use of the well-known theoretical approach to interoperability, presented in the Russian standard GOST R 55062-2012, in order to form technical methods of combining the space systems. **Practical significance.** The material of the paper can be used by designers and scientists for further research in the interoperability field of space systems, for development technical solutions, technolo-

*gies, standards and protocols interaction of SATCOM, EOSS and GNSS with ground infrastructure and with consumers.*

**Keywords:** *interoperability, space system, spacecraft, space complex, satellite communication system, the Earth observation satellites system, global navigation satellite system.*

### **Information about Authors**

*Sergey Ivanovich Makarenko* – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Leading Researcher. St. Petersburg Federal research center of the Russian Academy of Sciences. Professor of Information Security Department. Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197376, Saint Petersburg, 14th Linia, 39.

*Andrey Nikolaevich Karutin* – PhD of Engineering Sciences. Executive director for systems engineering of "Sphere" project office. Central Research Institute for Engineering Technology. Field of research: space systems, satellite communication systems. E-mail: ankarutin@yandex.ru

Address: 141070, Russia, Korolev, 4 Pionerskaya str.