

## 1.7. ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Галькевич А.И., д.т.н.,  
президент-генеральный конструктор ОАО «Спутниковая система «Гонец»

*В статье предлагается глобальная космическая информационная система на базе космических информационных узлов из малых космических аппаратов (МКА), объединенных в единое цифровое информационное поле (космическая шина). Целью создания системы является обеспечение глобальности, непрерывности, оперативности и живучести кластеров космических систем. Обосновываются актуальность создания системы. Описано современное состояние исследований по этому направлению. Показаны технологии, которые необходимо отработать для практической реализации системы. Оценена эффективность и конкурентоспособность системы.*

Космическая деятельность занимает одну из ключевых позиций в геополитике России и является одним из важнейших факторов, определяющих ее статус как страны высоких технологий, играет все более возрастающую роль в обеспечении национальной безопасности, в том числе безопасности жизнедеятельности населения, экономическом, научном и социальном развитии, в укреплении оборонной мощи. В современной геополитической ситуации крайне актуальной становится задача создания глобального информационного поля, интегрирующего все целевые космические подсистемы, являющегося базовой основой российского киберпространства и информационным полем цифровой экономики РФ.

Однако, как видно из последних событий и планов развития отечественных космических технологий последних лет, значимых прорывов в решении поставленной задачи пока нет. Отечественная космическая техника продолжает развиваться на старых заделах, игнорируя тенденции развития мировой автоматической космонавтики и достижения отечественных ученых. Создание конкурентоспособных систем персональной спутниковой связи пока только в отдаленных планах. Расчеты показывают, что для создания глобальной интегрированной системы мониторинга Земли реального времени на основе существующих технологий требуется не менее 10 лет и не менее 250 млрд. руб. При этом для обеспечения глобальности при передаче данных о мониторинге в реальном масштабе времени необходимо, как минимум, еще 3 космических аппарата (КА) на геостационарной орбите (другой точки зрения не принимается), что потребует дополнительно не менее 50 млрд. руб. Помимо непомерной стоимости и недопустимо больших сроков проектирования, планируемая система не выдерживает критики ни с точки зрения индивидуального потребителя, ни с точки зрения государственного заказчика, поскольку обладает целым рядом функциональных недостатков. Особой проблемой является дальнейшее развитие космического эшелона Воздушно-космических сил страны, что слишком дорого на базе старых технологий. Очевидно, что необходимо искать новое решение перечисленных проблем.

Космическая деятельность осуществляется в околоземном космическом пространстве в условно заданных геостратегических границах, где проявляются или могут затрагиваться национальные интересы России в космосе.

Наиболее широко используется ближняя операционная зона (БОЗ) стратегической космической зоны (СКЗ), в которой размещаются орбитальные группировки космических систем и комплексов (КСиК) военного назначения разведки, связи, геодезии, картографии, метеорологии и системы специального назначения. В США к ним относятся системы ударные, предупреждения о ракетном и космическом нападении, контроля космического пространства и пр. При этом практика решения военных задач странами НАТО показывает, что широко задействуются орбитальные группировки гражданских КСиК (региональные вооруженные конфликты в Югославии, Ираке, Афганистане, Ливии и пр.).

Анализ тенденций развития зарубежных и отечественных КСиК (особенно связи и телекоммуникации) показал, что в настоящее время на первый план выходят сетевые информационные технологии и их применение в составе орбитальных группировок космических аппаратов (ОГ КА), которые рассматриваются уже как совокупность космических информационных узлов сетевой архитектуры, обладающие определенными информационными и вычислительными ресурсами. Сами КА и их составные части позиционируются уже не как аппаратные решения, а как прикладные процессы.

Сетевые информационные технологии обеспечивают при развертывании ОГ КА достижение потенциальных возможностей КСиК по глобальности и оперативности как при управлении КА, так и по доступу к информации о любых пространственных объектах в космическом и воздушном пространстве, на суше и море.

Для России в существующих геополитических условиях (ограничения по территориальному размещению наземных средств и наличие глобальных интересов в мире) создание подобной сетевой архитектуры возможно только при широком использовании космических средств, при этом глобальность и оперативность могут обеспечить многоэшелонные КСиК с соответствующими задачам ОГ КА. Очевидно,

что нельзя рассматривать эшелоны размещения систем КА (низкоорбитальные и геостационарные) как конкурирующие. Каждый из них наиболее предпочтителен по эффективности при решении конкретных задач.

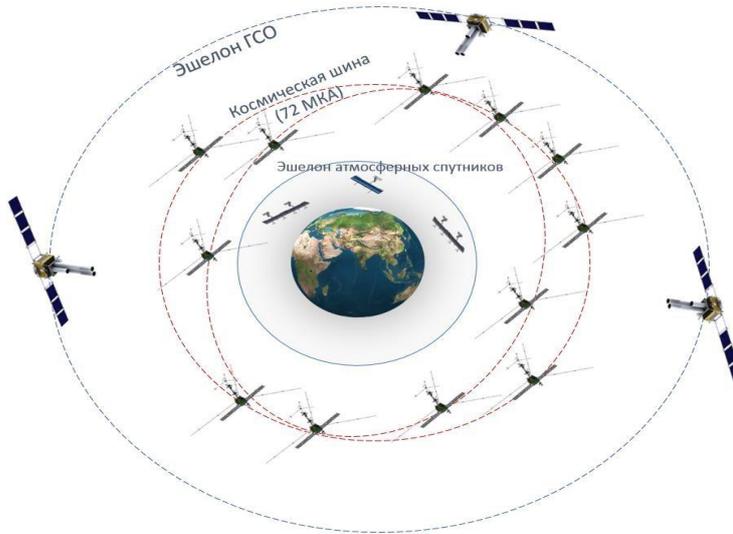


Рисунок 1. Эшелонное построение в глобальной информационно-коммуникационной системе «КОСМОСЕТЬ»

Решением задач обеспечения глобальности в реальном масштабе времени может стать Глобальная телекоммуникационная многоэшелонная космическая система (ГТМКС) в основе которой находится сетевая информационная технология. При этом ГТМКС не ставится в противовес существующим и создаваемым наземным и космическим системам и комплексам связи и телекоммуникации на основе геостационарных и высокоэллиптических КА, а рассматривается как средство, дополняющее их возможности и создающее новые свойства единого телекоммуникационного и информационного пространства (ЕТИП) БОЗ, рисунок 1.

Решение вышеперечисленных проблем возможно на основе новой парадигмы развития космических информационных систем, основной смысл которой состоит в создании космической информационной системы в виде распределенной сети взаимодействующих между собой КА или их элементов. Иногда такую сеть, решающую конкретную задачу, называют кластером, созвездием, или орбитальной группировкой.

Космические кластеры создаются на основе малых космических аппаратов (МКА, вес от 100 до 1000 кг) и сверхмалых аппаратов (СМКА, вес от 1 до 100 кг). Воздушные информационные кластеры могут быть реализованы на основе так называемых атмосферных спутников – летательных аппаратов на сол-

Решение вышеперечисленных проблем возможно на

основе новой парадигмы разви-

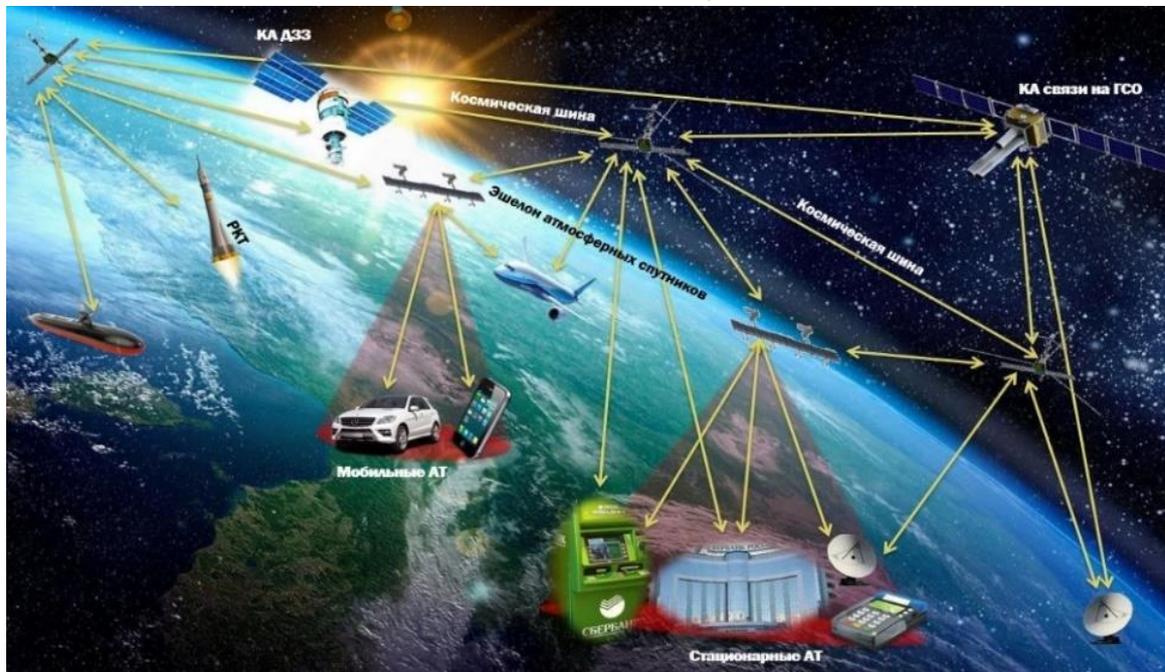


Рисунок 2. Единое информационное пространство передачи данных «КОСМОСЕТЬ»

нечной энергии, способных совершать беспосадочный полет на высотах 20-25 км в течение 5 лет. Един-

ственной отечественной многоспутниковой сетевой системой, соответствующей данной парадигме, является космическая навигационная система ГЛОНАСС, в состав которой вводятся межспутниковые радио и оптические каналы связи.

Данная парадигма развивается в последние десятилетия во многих зарубежных странах – США, Германии, Франции, Японии, Китае и завершается либо созданием коммерческих систем (типа систем навигации GPS, GALILEO, BEIDOU, систем персональной связи IRIDIUM, GLOBALSTAR), либо созданием экспериментальных оборонительных систем – систем контроля космического пространства, глобальной радиотехнической разведки и др. В России эта парадигма развивается силами научных школ вузов, например, [1, 2]. Однако из-за отсутствия понимания важности проблемы и ее высокой эффективности эти исследования носят, в основном, теоретический и научно-экспериментальный характер. Новая парадигма создания космической информационной системы, создающей глобальное информационное поле с высокой реактивностью, открывает возможности реализации новых информационных технологий, таких как многопозиционная бистатическая радиолокация подстилающей поверхности Земли, многоракурсная панхроматическая и гиперспектральная оптическая съемка местности с возможностью распознавания объектов практически в реальном времени, возможность проведения глобального прецизионного позиционирования объектов в наземном, воздушном и космическом пространстве с миллиметровой точностью в реальном времени из космоса и ряд других не менее значимых.

Все эти технологии в современных условиях могут быть реализованы при условии создания космической межкластерной информационной Интернет-шины для передачи информации в реальном времени от любого глобально удаленного КА-наблюдателя всех информационных кластеров, в том числе по запросу индивидуального абонента. Такая космическая Интернет-шина может быть реализована глобальной телекоммуникационной многоэшелонной космической системой (ГТМКС), с условным названием «КОСМОСЕТЬ», построенной на базе маршрутизаторов и всех межспутниковых каналов, образующих космическую информационную шину на принципах интернет-протоколов [3, 4]. В основу построения ГТМКС положен принцип системного использования перспективных научно-технических решений. Базой являются сетевые информационные технологии, реализуемые в орбитальном сегменте на основе космических информационных узлов (КИУ), объединенных высокоскоростными межспутниковыми линиями связи (рисунок 3). Доступ к сетевым ресурсам ГТМКС пользователями, находящимися в околоземном и воздушном пространстве, на поверхности суши и моря, осуществляется посредством современных космических модемов, построенных на основе SDR технологий (Software Defined Radio – программно-определяемое радио).

КИУ имеют кластерную структуру (кластер) – групповые пространственно-распределенные космические объекты, представляющие собой совокупность иерархически взаимосвязанных КА различного целевого назначения, совместно выполняющих общую задачу, и воспринимаемых как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения управления как единое целое (рисунок 4). Объекты КИУ информационно объединяются локальной информационной сетью.

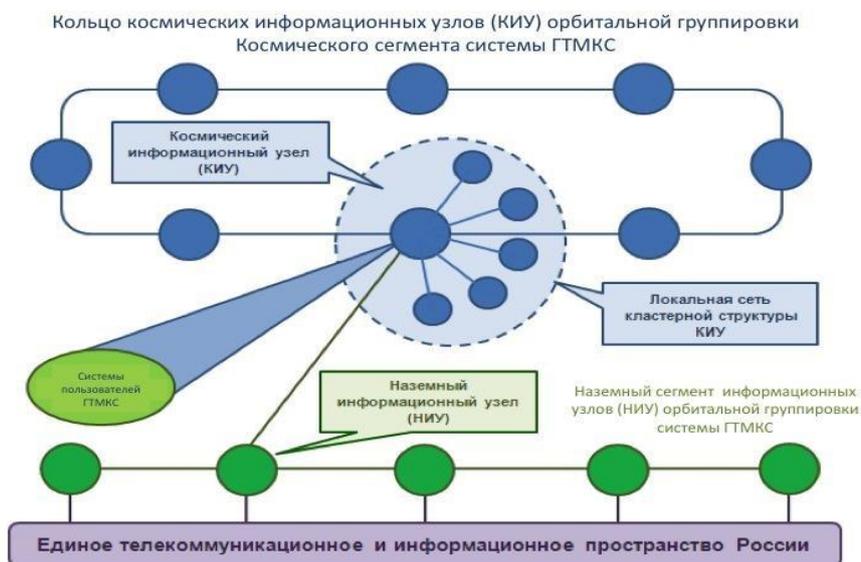


Рисунок 3. Информационная архитектура перспективной системы ГТМКС



Рисунок 4. Кластерная структура системы ГТМКС

Орбитальная архитектура, построенная на базе КИУ, создает основу глобального, оперативного транспорта данных и связи для широкого круга систем потребителей, которые подключаются к информационным ресурсам ГТМКС посредством стандартных протоколов на основе SDR-технологий. При этом обеспечиваются свойства масштабируемости – подключение по мере готовности систем пользователей и гибкости – программная настройка ресурсов КИУ под вновь вводимые (модернизируемые) протоколы систем пользователей.

Работы по распространению сетевых технологий (Internet) в космосе начались

за рубежом после запуска микроспутников STRV1a и STRV1b в 1994 году. На их «борты» было загружено специализированное программное обеспечение со стандартными протоколами космической связи с существенно усиленной избыточностью и защитой от искажений для работы в условиях мощных помех «глубокого космоса». В конце 90-х разрабатывался проект под руководством известного бизнесмена Крейга МакКоу под названием Teledesic, который стал в то время самым крупнобюджетным проектом спутниковой связи. На орбиты высотой около 700 километров предполагалось вывести 840 спутников (вместе с резервными их количество на орбитах должно было достичь 924-х), которые охватывали бы сигналами 95% площади земли и обеспечивали бы наземных пользователей быстрым «коннектом» на скоростях от 2 Мбит/с до 1 Гбит/с, что соответствовало бы возможностям оптоволоконных линий связи. Каждый спутник должен был быть связан с восемью соседними спутниками межспутниковыми каналами с пропускной способностью 155 Мбит/сек., что в итоге должно было обеспечить высокие скорости соединения для наземных абонентов. Предполагалось, что сеть запустят в эксплуатацию уже в 2001 году, однако сложившиеся к тому времени финансово-экономические условия и отсутствие перспектив окупаемости проекта не позволили ему воплотиться.

Начавшийся проект IRIDIUM-NEXT (развитие системы IRIDIUM) предполагает широко использовать IP-архитектуру с новой системой линий межспутниковых связей для решения телекоммуникационных задач. Проблему создания космического интернета решают SpaceX, One Web, и французская Airbus. Детальная техническая информация по данным системам отсутствует. В России, предложенные ранее проекты по созданию космического Internet не получили развития.

Наименее проработанным вопросом для создания ГТМКС остается сетевое информационное обеспечение и средства его реализации в ее инфраструктурной подсистеме – «КОСМОСЕТИ». В [4] показано, что варианты решения проблемы существуют и имеют достаточно высокую степень проработки. Но для практической реализации космической Internet шины, а следовательно и ГТМКС, необходимо отработать следующие базовые технологии.

- Разработка системы адресации в сети «КОСМОСЕТЬ», обеспечивающей однозначную идентификацию устройств, служб и приложений в их любом местоположении.
- Разработка стека протоколов динамической маршрутизации и ретрансляции пакетов данных на борту космических аппаратов.
- Определение радиочастотных диапазонов и методов передачи радиосигналов в радиолиниях сети «КОСМОСЕТЬ» в направлениях КА - земная станция, КА – КА.
- Разработка номенклатуры радиомодемов, устанавливаемых на космических аппаратах, наземных, надводных и воздушных объектах.
- Разработка системы управления как многоспутниковой группировкой так и системами КА, обеспечивающей гомеостаз при заданном агрегированном показателе качества целевой функции.

Отработка и апробация технологий первоначально должна быть проведена на математических моделях для расчета и моделирования архитектуры «КОСМОСЕТИ» и оценки зависимости архитектуры «КОСМОСЕТИ» от конфигурации орбитальной группировки, радиочастотных диапазонов и от предъявляемых требований, по объемам и характеристикам передаваемых данных. В этом случае возможно создание высокоэффективной космической системы передачи данных в реальном времени. Оценка эф-

фективности «КОСМОСЕТИ» в сравнении с существующими и разрабатываемыми аналогичными системами представлена в таблице 1. Анализ был проведен на основе методики разработанной к.э.н. И.А. Галькевичем во время работы во ФГУП «Организация «Агат».

Используемые в настоящее время информационные технологии и программные продукты на их основе разработаны в основном нашими конкурентами и в значительной степени находятся под контролем США. При этом даже в США при проведении работ по созданию «Глобальной информационной решетки» (разработка в рамках Минобороны США) остро поставлен вопрос информационной безопасности, система создается как система типа Internet, а отдельные ее объекты, не смотря на их наличие, полностью перепрограммируются. Основным системным свойством ГТМКС является возможность глобального и оперативного транспорта огромных объемов разнородной информации в БОЗ, что вызывает предпосылки и необходимость:

- структурирования и управления потоками космической информации на уровне метаданных;
- частичного переноса функций обработки информации на орбитальный сегмент системы (реализация концепции «вычислительных облаков»);

В конечном итоге в БОЗе (включает также воздушное пространство и поверхность Земли) образуется единое телекоммуникационное информационное пространство, которое технически формируется посредством глобальной космической многофункциональной низкоорбитальной информационной системы. «Космосеть» для ГТМКС является базовой системой связи и телекоммуникации.

Таблица 1. Конкурентный анализ

Назначение системы	Наименование спутниковой системы связи	Начало эксплуатации, год	Количество КА, шт	Масса КА, кг	Общая пропускная способность систем (V)		Стоимость создания системы, млн. долл США	Стоимость создания канала 1, Мбит/сек
Короткие сообщения	Orbcomm G1	1997	35	40	1 млн. коротких сообщений в час	0,5 Мбит/сек	340	680 млн. долл.
	Orbcomm G2	2013	35	172	12 млн. коротких сообщений в час	6,7 Мбит/сек	234	35 млн. долл.
	Гонец-М1	после 2020	24	330	120 Гбит/сутки	1,4 Мбит/сек	548 <sup>1</sup>	400 млн. долл.
Голосовая связь	Global Star	1998	48	450	115 200 голосовых каналов	250 Мбит/сек	3300	13 млн. долл.
	Iridium	1997	66	690	72600 голосовых каналов	300 Мбит/сек	7000	23 млн. долл.
	Iridium Next	2018	66	800	2,8 Гбит/сек		3000	1 млн. долл.
Интернет	ОЗВ	2014	12	700	192 Гбит/сек		1500	7,8 тыс. долл.
	OneWeb	2020	648	125	4,8 Тбит/сек		2000	400 долл.
	Космосеть	После 2020	72	250	14,4 Гбит/сек		364 <sup>2</sup>	25 тыс. долл.

В конечном итоге в БОЗе (включает также воздушное пространство и поверхность Земли) образуется единое телекоммуникационное информационное пространство, которое технически формируется посредством глобальной космической многофункциональной низкоорбитальной информационной системы. «Космосеть» для ГТМКС является базовой системой связи и телекоммуникации. Для России ГТМКС является универсальной системой, которая может быть широко и гибко использована на любом уровне управления народным хозяйством и войсками, сохраняя высокую степень глобальности и оперативности. Ресурсы ГТМКС должны быть под контролем Минобороны России и дополнять возможности, предоставляемые КСик, которые используют ОГ КА с геостационарными и высокоэллиптическими орбитами.

В заключении необходимо отметить, что тенденции развития мировой космонавтики ориентированы на создание малых и сверхмалых КА, которые могут составлять перспективные дезаггированные системы. Для обеспечения выполнения их целевых функций требуется использовать модуль передачи данных на Землю. При использовании космической Internet-шины для этой цели энергетические затраты существенно меньше, что реализует право на существование этих классов КСик.

Концепция новой парадигмы развития космических информационных систем показывает, что ГТМКС и ее инфраструктурная система «КОСМОСЕТЬ» станет значимым дополнением существующей космической информационной системы России и позволит обеспечить предоставление информации в реальном масштабе времени из любой точки Земли и околоземного пространства. Реализация ГТМКС

<sup>1</sup> Предварительная оценка. Без учета стоимости вывода орбитальной группировки РН «Ангара 1.2»

<sup>2</sup> Без стоимости эшелона атмосферных спутников

и в ее составе «КОСМОСЕТЬ» возможна при отработке основных базовых технологий представленных ранее.

Не целесообразно представлять системы передачи данных на низких и геостационарных орбитах как конкурирующие. Между ними существует принципиальная разница, определяемая энергетикой радиолинии. В текущем столетии для персональных и мобильных систем, предоставляющих услуги ШПД, наиболее эффективными являются низкие орбиты.

- В России имеются все предпосылки и наработки для создания в следующем десятилетии системы ГТМКС и, следовательно, космического Internet. Для этого необходим социальный заказ и понимание руководством государства того, что будущее за дезагрегированными и малыми КА. Как было в истории развития вычислительных систем.
- Реально и в полном объеме функционирующее киберпространство в космической и воздушной среде может быть создано на основе ГТМКС. Это является стратегическим направлением развития космических информационных систем как определил Президент РФ в своей программной статье в феврале 2012г.
- Расчеты показывают, что экономическая эффективность перспективных низкоорбитальных систем значительно превышает существующие. Система One Web и «КОСМОСЕТЬ» могут на несколько порядков превысить эффективность разрабатываемой системы «Гонец М1».

### Литература

1. Монография: Малые космические аппараты информационного обеспечения / Под ред. докт. техн. наук, засл. деятеля науки РФ, проф. В.Ф. Фатеева. – М.: Радиотехника, 2010. – 320 с., ил.
2. Монография: Инфраструктура малых космических аппаратов / Под ред. докт. техн. наук, засл. деятеля науки РФ, проф. В.Ф. Фатеева. – М.: Радиотехника, 2011. -432 с., ил.
3. Монография: Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных/ Под ред. Генерального конструктора многофункциональной космической системы персональной спутниковой связи и передачи данных, президента ОАО «СС»Гонец», к.т.н. Галькевича А.И. : ООО «Юнис», 2011. -168 с.
4. Технические предложения «Разработка перспективной глобальной космической низкоорбитальной инфокоммуникационной системы на основе инновационных технологий» Шифр темы: «Космонет» /Под. руководством д.т.н. Галькевича А.И., 2014. – 273 с.
5. Материалы круглого стола аналитического центра при Правительстве Российской Федерации «Эффективность применения малых космических аппаратов в социально-экономических и научных целях»: «Многофункциональная космическая информационная система «Парадигма» на базе орбитальной сети малых космических аппаратов»/д.т.н. Галькевич А.И., 2016г. – 16 стр.

*Галькевич Александр Иванович (director@ssgonets.ru)*

### Ключевые слова

космосеть, космическая шина, космический информационный узел, космический кластер, малый космический аппарат, дезагрегированный космический аппарат

***Galkevich A.I. The prospect of development of the global space information systems of real time for the solution of problems of digital economic of Russia***

### Keywords

space network, space bus, space information node, space cluster, small spacecraft, disaggregated spacecraft

### Abstract

The article proposes a global space information system based on space information nodes from small spacecrafts (MCAs), united in a single digital information field (space bus). The goal of the system is to ensure the globality, continuity, efficiency and survivability of clusters of space systems. The urgency of creating a system is justified. A modern state of research in this area is described. Technologies are shown that need to be worked out for practical implementation of the system. The efficiency and competitiveness of the system is assessed.

DOI: 10.34706/DE-2018-01-07