

А. И. Г а л ь к е в и ч

КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Исследовано управление перспективной глобальной космической низкоорбитальной инфокоммуникационной системой, в основе построения которой находятся сетевые информационные технологии и кластерная структура космических аппаратов — космические информационные узлы. Рассмотрены способы и технологии управления, методы кластеризации и методологические принципы формирования системы, виды обеспечения для реализации системных эффектов кластерной структуры и архитектура построения космических аппаратов на основе сетевого информационного подхода.

E-mail: director@ssgonets.ru

Ключевые слова: космическая система, орбитальная группировка космических аппаратов, наземная группировка, информационная сеть, информационный узел, кластер, кластерная структура, комплекс управления, магистральные линии связи, эталонная модель OSI.

Одной из ведущих тенденций в проектировании перспективных космических систем является создание интегрированных многокомпонентных информационных систем, позволяющих решать задачи сбора и передачи информации от различных источников как наземных абонентов, так и космических, например дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), метеорологического обеспечения и т.д. Подобного рода проекты появляются и в нашей стране [1]. Например, предложена концептуальная модель перспективной глобальной космической низкоорбитальной инфокоммуникационной системы (ГКНИС), представляющая собой сеть космических информационных узлов (КИУ) кластерной структуры (рис. 1).

Основу сетевой архитектуры составляют магистральные наземный и космический сегменты.

Космический сегмент системы образуют шесть колец КИУ, которые связаны между собой посредством космических модемов “КА–КА”. Связь наземного и космического сегментов осуществляется с помощью магистрального космического модема “КА–Земля”.

Космический информационный узел обеспечивает взаимодействие с объектами систем пользователей в зоне видимости на основе протоколов сети или специальных протоколов пользователей.

Космический информационный узел имеет кластерную структуру построения, объекты которого связаны посредством локальной сети.

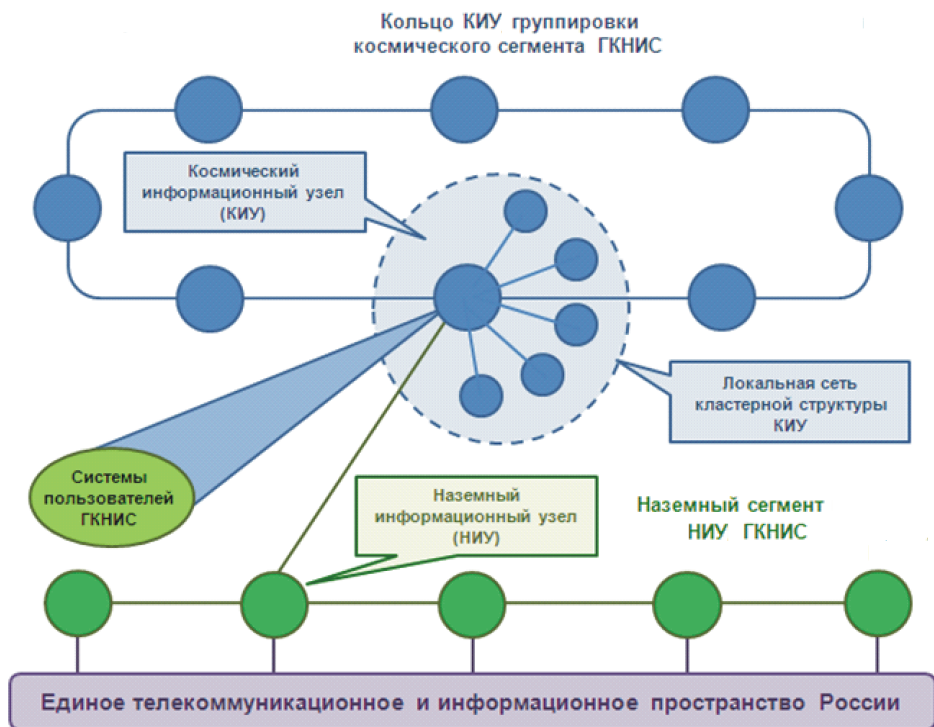


Рис. 1. Информационная архитектура системы ГКНИС

Кластер представляет собой единый групповой пространственно распределенный объект, под которым понимается совокупность иерархически взаимодействующих космических аппаратов (КА) различного целевого назначения, управляемых наземными средствами совместно, как одно целое. Кластеры в рамках единой орбитальной группировки могут как формироваться на постоянной основе, так и иметь временную структуру, соответствующую текущей решаемой задаче.

Информационная среда ГКНИС формируется на основе принципов построения компьютерной сети, что обуславливает необходимость объединения их на принципах открытых систем. Информационной основой кластерной структуры КИУ является локальная сеть. Поэтому объекты кластерной структуры могут быть разделены пространственно или располагаться на борту ведущего объекта. Их физическое размещение определяется ресурсами борта ведущего объекта или другими условиями. На рис. 2 приведена возможная кластерная структура системы ГКНИС.

Создание и эксплуатация такой системы потребует разработки и новых способов управления как системой в целом, так и отдельными ее элементами.

Общая постановка задачи управления предполагает задание модели объекта управления, ограничений на возможности управления,

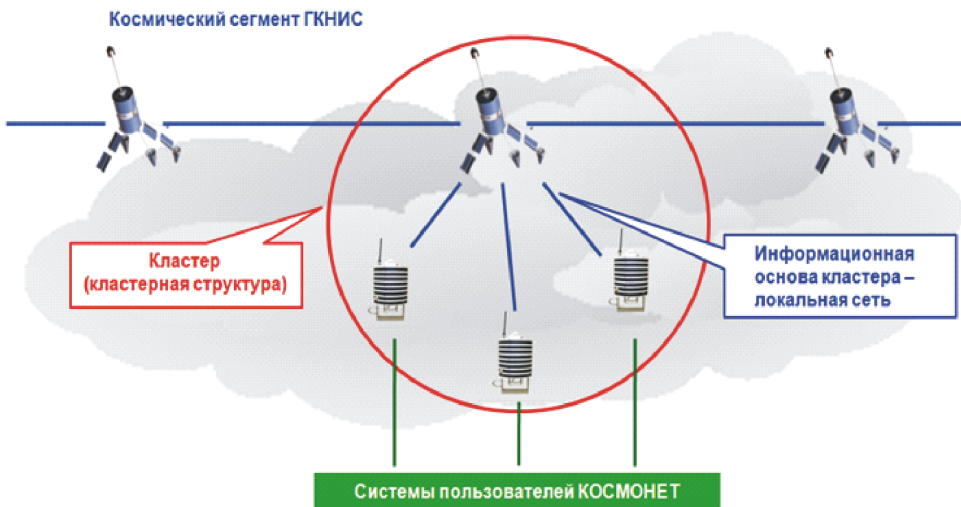


Рис. 2. Кластерная структура системы ГКНС

цели управления, показателей и критериев эффективности ее достижения.

В нашем случае в качестве объекта управления выступает ГКНС как иерархическая многокомпонентная структура, включающая в себя следующие уровни системы: отдельный КА, КИУ как кластер или виртуальный КА, целевые подсистемы, общесистемный уровень. Вследствие этого совокупность способов управления должна состоять из способов для каждого уровня.

Представляется, что управление отдельными КА будет происходить путем реализации технологического цикла управления (ТЦУ). Структура ТЦУ включает в себя последовательное решение задач командно-программного (КПО), информационно-телеметрического (ИТО), навигационно-баллистического (НБО) и частотно-временного обеспечения (ЧВО).

Реализация ТЦУ состоит из следующих операций: закладка рабочих и временных программ (РП и ВП) на борт КА; измерение текущих навигационных параметров (ИТНП) КА средствами наземного комплекса управления (НКУ); съем информации обобщенного контроля (ИОК) с КА по радиолинии командно-измерительных систем (КИС); проведение сверки бортовой и единой шкал времени; съем телеметрической информации (ТМИ), а также других операций, определяемых спецификой управляемого КА.

При этом часть задач КПО, связанная с планированием работы орбитальных средств, осуществляется заблаговременно в пунктах управления НКУ. Задачи КПО, ИТО, НБО и ЧВО являются достаточно хорошо отработанными при управлении КА, а в ряде случаев, например, для ГЛОНАСС, и для группового объекта.

В случае управления кластером КА наличие дополнительного управляющего звена позволяет организовать двухуровневую систему управления, состоящую из первого уровня: Земля–кластер (КА–лидер) и второго внутрикластерного уровня: лидер–ведомые, при этом и структура ТЦУ также окажется двухуровневой.

Представляется, что ТЦУ первого уровня должен быть построен на основе перспективных технологий управления КА, перечень которых приведен в табл. 1 [2].

Конкретное содержание ТЦУ второго уровня будет определяться особенностями кластера КА как объекта управления, среди которых можно выделить следующие: необходимость пространственной и временной координаций действий КА в кластере для реализации системных эффектов; наличие в составе кластера дополнительного управляющего звена — КА, являющегося лидером КИУ.

Кластер КА представляет собой локальную телекоммуникационную систему, оснащенную оконечными устройствами и сетью БЦВМ, меняющую свое местоположение во времени и пространстве.

При этом функционирование кластера КА представляется в виде кортежа режимов функционирования кластера [3, 4]: режима первоначальной ориентации и формирования исходной структуры; дежурного режима; режимов формирования рабочей структуры и автономного функционирования, что подразумевает появление новых видов обеспечения (табл. 2).

В частности, возникают задачи поддержания целостности системы, управления конфигурацией, прогнозирования баллистического существования кластера как единого целого, оценки состояния кластера в целом, поддержания групповой шкалы времени кластера и пр. Следует отметить, что современная практика управления многоспутниковыми группировками позволяет предложить и эффективный способ представления системных данных — это формирование так называемого альманаха системы.

Следующим уровнем является уровень целевых подсистем. В структуре ГКНИС выделяют системы сбора информации (ССИ) и передачи данных (СПД). Последняя обеспечивает возможность выполнения требований потребителей по свойствам глобальности, непрерывности, оперативности и массовости, а ССИ — по качеству информационного обеспечения потребителей. Представляется, что в процессы управления функционированием и состоянием космической СПД будут внесены изменения, связанные с появлением магистральных межспутниковых линий связи. Космическая магистраль предоставляет пользователю возможность реализации виртуальных каналов источник информации–потребитель и возможность варьировать ресурсами ССИ для поддержания качества информационного

Эффект от реализации новых технологий управления действующими и перспективными КА

Целевая направленность новой технологии	Схемотехнические решения и технологические операции	Ожидаемый эффект от внедрения новой технологии
Автономное (без участия НКУ) поддержание работоспособности КА на заданном уровне	Автоматическая диагностика состояния и восстановление работоспособности систем КА с помощью БКУ	Увеличение до 30 суток срока автономного функционирования (АФ) КА. Сокращение в 5–10 раз числа сеансов телеконтроля и решаемых задач ИТО в НКУ
Автономное поддержание заданных параметров орбиты КА и обеспечение сверки и коррекции бортовой шкалы времени (БШВ)	Применение на борту КА НАП ГНС ГЛОНАСС/GPS. Комплексование НАП с БКУ. Автономное решение в БКУ задач НБО	Увеличение до 30 суток срока АФ КА. Повышение в 3–6 раз точности НБО. Сокращение в 10–30 раз числа сеансов ИТНП КА, сверки и коррекции БШВ
Обеспечение непрерывности и глобальности управления КА и контроля запусков средств выведения при ограниченном числе КИП	Использование ретрансляционных режимов обмена информацией НКУ с КА через КА-ретрансляторы (СР), включенные в контур управления. Передача через СР ТМИ с РН и РБ	Сокращение числа КИП в НКУ и измерительных пунктов в измерительном комплексе космодрома до двух (с учетом резерва). Повышение глобальности управления КА до единицы. Обеспечение практически реального масштаба времени управления КА
Повышение автономности решения целевых задач КА ДЗЗ	Использование координатного метода управления целевым применением КА ДЗЗ. Закладка с Земли РП в виде координаты-операции. Автономное формирование в БКУ программ работы БС КА во время съемки	Сокращение в 5–10 раз частоты сеансов связи с КА и объемов передаваемой командно-программной информации. Уменьшение числа КИП в НКУ до одного-двух. Сокращение объема и времени проведения работ в ЦУП по формированию РП целевого применения КА
Обеспечение оперативного контроля состояния КА в ЦУПе без привлечения средств НКУ на этапе штатной эксплуатации	Совмещение в одном радиоканале передачи целевой и контрольной информации с КА	Сокращение числа сеансов телеконтроля КА, проводимых наземными станциями НКУ на этапе штатной эксплуатации
Повышение автономности функционирования КА	Формирование на КА и передача в НКУ сигнала “Вызов НКУ” при возникновении на борту нештатной ситуации	Увеличение срока АФ КА. Сокращение в 5–15 раз числа сеансов телеконтроля и решаемых в НКУ задач ИТО

Задачи по видам обеспечения для реализации системных эффектов кластера КА

КПО	НБО	ИТО	ЧВО
Выдача исходных данных для формирования рабочей структуры. Управление конфигурацией системы. Решение задач маршрутизации передачи служебной и специальной информации. Формирование и поддержание альманаха системы	Расчет и прогнозирование движения центра масс каждого КА. Расчет и поддержание баз в установленных пределах. Прогнозирование баллистического существования кластера	Контроль состояния и функционирования каждого элемента кластера. Контроль состояния линий связи. Оценка состояния кластера в целом. Оценка выполнения целевой задачи	Синхронизация и поддержание рупповой ШВ кластера. Синхронизация БШВ на всех элементах системы

обеспечения. Таким образом, процесс управления функционированием ГКНИС может быть представлен как управление процессом получения информации.

Качественное информационное обеспечение пользователя заключается, в частности, в том, чтобы текущее количество информации было: не менее требуемого $J(t) \geq J_{\text{треб}}$ (так называемое требование информационной достаточности). Текущее количество информации $J(t)$ является монотонно убывающей от времени функцией, например, экспоненциального вида. Оно формируется путем суммирования информации об объекте от различных источников информации:

$$J(t) = \sum_{k=1}^N \Delta J_k, \text{ где } \Delta J_k \text{ — количество информации, приносимое от}$$

k -го источника информации. При этом задействование k -го источника информации связано с рядом ограничений: состояние источника информации; наличие связи датчик информации–объект; возможности датчика информации и др. В силу этого возникает необходимость в управлении процессом привлечения тех или иных источников информации для выполнения требований информационной достаточности. Ввиду наличия требования массовости такая задача возникает для множества потребителей ГКНИС.

В этом случае способ управления будет заключаться в последовательной реализации следующих этапов:

- 1) оценка текущего уровня информационной достаточности потребителей;
- 2) выбор критичных потребителей;
- 3) анализ состояния элементов ГКНИС, в первую очередь, системы сбора информации, по альманаху системы;
- 4) формирование множества возможных каналов потребитель–источник информации;

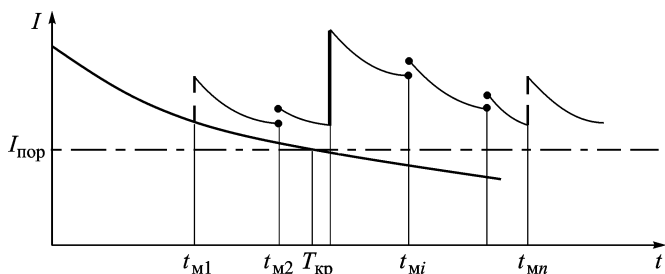


Рис. 3. Управление информационной достаточностью:

— радиолокация; ● — радио; | — видео

5) выбор реализуемого канала, исходя из требований максимизации прироста информативности ΔJ_k , достоверности и актуальности информации при заданных ограничениях;

6) определение уровня исполнителей: кластеры КА, отдельные КА;

7) расчет элементов КПО — рабочих программ, уставок, коррекции БШВ;

8) реализация ТЦУ для выбранного исполнителя.

На рис. 3 приведен пример управления процессом обеспечения информационной достаточности потребителей для систем мониторинга, включающих в себя видеодатчики, радиотехнические и радиолокационные датчики информации об одном объекте. Каждый датчик по данному объекту обеспечивает разную прибавку информации ΔJ : наибольшую — видео, наименьшую — радиотехнический. Общее количество информации J об объекте убывает по экспоненциальному закону и, начиная с момента времени $T_{кр}$, требование информационной достаточности не выполняется. Процесс управления заключается в целенаправленном привлечении в дискретные моменты времени возможных датчиков для выполнения условия информационной достаточности $J(t) \geq J_{треб}$.

Рассмотренный способ управления позволяет расширить возможности пользователей геоинформационных систем (ГИС) по формированию комплексного носителя информации об объекте наблюдения. В этом случае помимо стандартного набора слоев изображения возможна выдача дополнительной информации об объекте в виде соответствующей выноски (рис. 4).

При дополнительном задании некоторых правил принятия решения возможна подсветка объекта наблюдения, например: красный — опасность, желтый — требуется проверка и т.д.

Приведенный способ управления может быть реализован как в рамках одного кластера, взаимодействующего с одним из КИУ, так и в рамках всей системы. Представляется, что управление на общесистемном уровне будет заключаться в формировании целевых кластеров

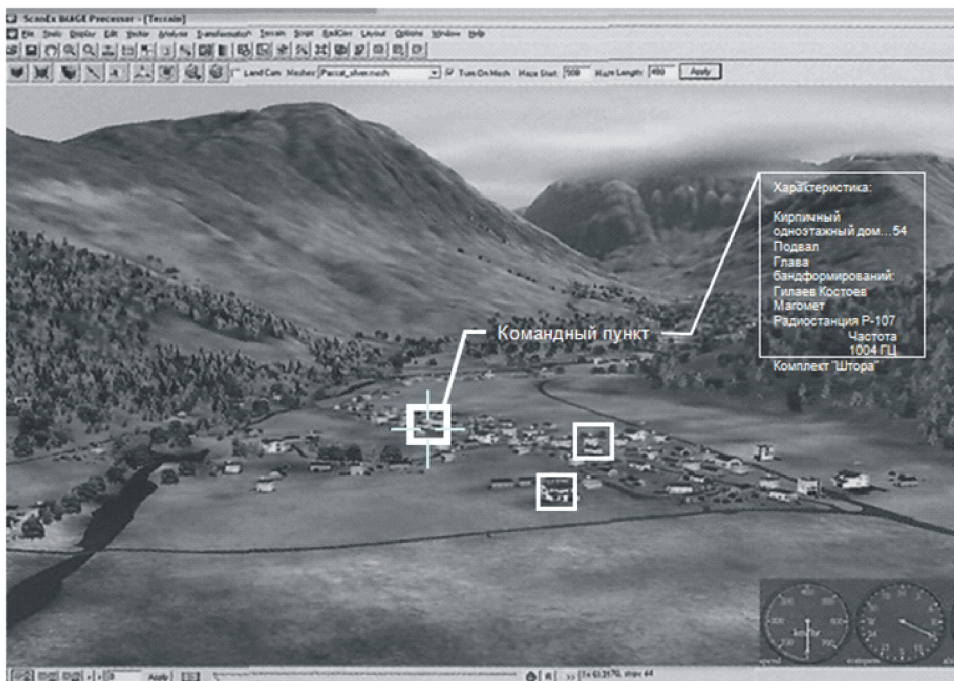


Рис. 4. Пример комплексного изображения ГИС

и самоорганизации системы. Кластеризация предназначена для разбиения совокупности объектов на однородные группы (кластеры или классы). Если данные выборки представить как точки в признаковом пространстве, то задача кластеризации сводится к определению сгущений точек. В отличие от задач классификации, кластерный анализ не требует априорных предположений о наборе данных, не накладывает ограничения на представление исследуемых объектов, позволяет анализировать показатели различных типов данных. Критерием для определения схожести и различия кластеров является расстояние между точками на диаграмме рассеивания.

Сущность метода формирования целевых кластеров заключается в следующем.

Дано:

- 1) объект, интересующий потребителя;
- 2) требования по качеству предоставляемой информации, определяющие способ реализации кластеров — одиночный, групповой и т.д.;
- 3) множество датчиков информации $D = \{d_1, \dots, d_n\}$, т.е. отдельных КА, кластеров КА, способных предоставить информацию о заданном объекте;
- 4) набор параметров, характеризующих состояние датчика информации и его возможности по выполнению задачи $d_1 = \{g_1, \dots, g_m\}$, (например, координат датчика, параметров его целевой аппаратуры, технического состояния, ожидаемого времени выполнения задачи).

Требуется: построить относительно объекта множество датчиков информации $C = \{c_1, \dots, c_k, \dots, c_h\}$, где c_k — кластер, содержащий похожие друг на друга объекты из множества D , $c_k = \{d_i, d_j | d_i \in D, d_j \in D, r(d_i, d_j) < \varepsilon\}$, т.е. подобрать группу КА, кластеров КА для выполнения целевой задачи. Здесь ε — параметр, определяющий меру близости для включения в кластер, $r(d_i, d_j)$ — расстояние между объектами в пространстве параметров g .

В настоящее время насчитывается несколько десятков методов кластеризации, многие из которых реализованы в программных комплексах интеллектуального анализа Data Mining. Рассмотрим возможный вариант решения задачи. Пусть исходные данные о числе КА и их параметрах заданы следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Исходные данные				
Номер КА	Дальность до объекта	Угол зрения	Коэффициент готовности	Разрешающая способность
1	1400	0	0,95	50
2	1550	10	0,92	62
3	2000	28	0,94	78
4	2500	35	0,95	95
5	1679	15	0,85	55
6	1450	3	0,75	50
7	3000	60	0,93	120
8	2200	30	0,9	84
9	1965	27	0,95	77
10	1675	13	0,5	63
11	1489	5	0,85	53
12	1590	12	0,73	64
13	2789	57	0,48	100
14	4210	85	0,58	150
15	2300	33	0,83	90
16	1654	14	0,97	55
17	1530	11	0,65	60
18	1765	17	0,73	70
19	1820	18	0,58	80
20	1500	9	0,99	60

Решение одним из методов кластеризации позволяет выделить ряд кластеров, которые могут быть отранжированы пользователем, и выбрать приемлемый вариант. Далее реализуются этапы 6–8 описанного ранее способа управления.

Например, для исходных данных о КА, приведенных в табл. 3, результаты решения задачи кластеризации — разбиения на целевой и нецелевой кластеры — выглядят следующим образом (табл. 4, 5).

Возможности решения задачи целевыми и нецелевыми кластерами

		Кластеры		
		Целевой	Нецелевой	Итого
Поля. Показатели		15 (75,0 %)	5 (25,0 %)	
Дальность до объекта	Значимость	90,4 %	98,8 %	100,0 %
Угол зрения	Значимость	89,7 %	98,9 %	100,0 %
Разрешающая способность	Значимость	89,3 %	98,9 %	100,0 %
Коэффициент готовности	Значимость	22,5 %	40,8 %	52,5 %

Таблица 5

Результаты решения задачи кластеризации

Номер КА	Дальность до объекта	Угол зрения	Коэффициент готовности	Разрешающая способность	Вид кластера
1	1400	0	0,95	50	Целевой
2	1550	10	0,92	62	То же
3	2000	28	0,94	78	>>
5	1679	15	0,85	55	>>
6	1450	3	0,75	50	>>
8	2200	30	0,9	84	>>
9	1965	27	0,95	77	>>
10	1675	13	0,5	63	>>
11	1489	5	0,85	53	>>
12	1590	12	0,73	64	>>
16	1654	14	0,97	55	>>
17	1530	11	0,65	60	>>
18	1765	17	0,73	70	>>
19	1820	18	0,58	80	>>
20	1500	9	0,99	60	>>
4	2500	35	0,95	95	Нецелевой
7	3000	60	0,93	120	То же
13	2789	57	0,48	100	>>
14	4210	85	0,58	150	>>
15	2300	33	0,83	90	>>

Следующим способом управления является способ, основанный на синергетическом эффекте самоорганизации системы. Сущность способа заключается в создании условий для согласованного поведения элементов ГКНИС с минимальным вмешательством комплекса управления. В этом случае запрос на выполнение задачи получает один из КА — датчиков информации, который становится лидером-организатором. Наличие общей магистрали обмена данными в виде сети КИУ и альманаха системы позволяет разослать заявки по сети с запросами вида:

кто свободен? кто в состоянии? и т.д. Каждый КА сети проводит анализ своих возможностей и сообщает информацию организатору, который и определяет окончательный облик целевого кластера, о чем сообщает выбранным исполнителям. Обязательным условием реализации данного способа управления является наличие средств самоконтроля и автономной навигации на каждом КА, а также развитого программного обеспечения бортового комплекса управления (БКУ).

Рассмотренные способы управления ГКНИС — это способы поддержания устойчивости системы и борьбы с деградацией системы, в частности, вызванной нарушением баллистической структуры системы. Космические аппараты, вынужденные в силу влияния факторов космического пространства покинуть один из эксплуатационных кластеров, привязанных к одному из КИУ, смогут перейти в состав другого кластера в этой же плоскости орбиты, войдя в связь с другим КИУ системы. Условием реализации этих возможностей является открытость систем, стандартизация отдельных сечений, масштабируемость и возможность наращивания орбитальной группировки.

Таким образом, в настоящей статье предложена совокупность способов управления (табл. 6) сложным иерархическим объектом — ГКНИС как многокомпонентной космической информационной системой.

Способы управления ГКНИС

Таблица 6

Уровень иерархии	Способ управления
Отдельный КА	Традиционный
Кластер КА	Формирование эксплуатационных кластеров
Целевые подсистемы ГКНИС	Управление процессом получения информации
ГКНИС в целом	Формирование целевых кластеров. Самоорганизация системы

Представляется, что приведенный комплекс способов управления позволит обеспечить возможность качественного выполнения требований потребителя, в частности по свойствам глобальности, непрерывности, оперативности и массовости ГКНИС, и требований информационной достаточности.

Реализация способов управления отдельными КА и сложными многокомпонентными структурами типа ГКНИС возложена на автоматизированные системы управления (АСУ) КА, характеризующиеся признаками сложных и больших организационно-технических систем, что определяет необходимость использования методологии системного подхода в процессе их создания, совершенствования и применения

по целевому назначению. Из совокупности методологических принципов системного подхода рассмотрим принципы целеобусловленности и относительности.

Принцип *целеобусловленности* — цель первична, система должна формироваться для ее достижения. Исходя из этого принципа, в процессе создания, совершенствования и применения изменение целей АСУ КА предполагает изменение подходов к формированию, а также структуры и способов функционирования АСУ.

На начальном этапе создания АСУ КА решались фундаментальные и прикладные научные задачи, создавалась научно-техническая база практической космонавтики. В настоящее время освоение космического пространства стало необходимым условием национальной безопасности, важнейшим фактором экономического и социального развития государств и коалиций государств. Изначально при создании АСУ КА конструкторы опирались на системотехнические решения, которые представляли КА в виде конечных автоматов, а информационные средства рассматривали как инструментарий для решения рутинных вычислительных задач, например, прогноз движения центра масс, расчет программ управления, обработка ТМИ КА и т.д. В дальнейшем развитие систем управления шло по пути “интеллектуализации бортов”, широкого внедрения постоянно совершенствующихся вычислительных и информационных технологий.

Следующим принципом является принцип *относительности* — одна и та же совокупность элементов может рассматриваться как самостоятельная система и как часть (подсистема) другой, большей системы, в которую она входит.

Действительно, современные АСУ КА превращаются из корпоративно замкнутых в открытые, интегрированные в более общие системы управления ведомственного, государственного, а в ряде случаев и международного уровня. Вследствие этого развитие и совершенствование АСУ КА должно учитывать данные интеграционные процессы на основе использования стандартизированных протоколов, интерфейсов, моделей и т.д.

Современный этап развития науки и техники характеризуется революционными решениями в области вычислительной техники и информатики, которые позволяют создавать локальные и глобальные вычислительные сети на основе моделей взаимодействия открытых систем.

В АСУ КА, являющихся классическим примером сложных и больших систем, уже сейчас реализуются данные технологии при создании наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ). Анализ современного состояния АСУ КА и тенденций их развития показывает, что к перспективным направлениям развития систем следует

отнести: построение бортовых систем КА как локальных вычислительных систем, объединение наземных и бортовых сетей в единую глобальную корпоративную сеть на основе унифицированных системотехнических решений.

Технологической и информационной основой для реализации данных направлений развития АСУ КА является использование принятой Международной организацией по стандартизации (ISO) эталонной модели взаимодействия открытых систем (OSI Reference Model).

В начале 1980-х гг. эталонная модель OSI почти полностью вытеснила разработанную в 1970-е гг. Министерством обороны США модель DoD (Department of Defense). Однако терминология модели DoD бывает иногда более адекватна практическим приложениям, чем терминология модели OSI.

Эталонная модель OSI представляет собой семиуровневую иерархическую архитектуру, определяющую способ реализации соответствующих каждому уровню действий, направленных на обеспечение процесса коммуникации между локальными вычислительными сетями.

Эталонная модель OSI — это концептуальная модель взаимодействия открытых систем. Она состоит из ряда стандартов, вводящих способы пакетирования данных и последовательность действий, необходимых для передачи данных по сети.

Содержание, назначение и соответствие уровней моделей DoD и OSI приведены в табл. 7.

Многоуровневая структура эталонной модели OSI обеспечивает определенные преимущества для специалистов, занимающихся разработкой и эксплуатацией сложных и больших систем.

К ним можно отнести следующее:

- модель OSI позволяет четко определять функции каждого уровня, предоставляя строго очерченную логическую основу для создания необходимых прикладных программ и оборудования;
- модель OSI снижает уровень сложности процесса организации вычислительных сетей посредством разделения всей совокупности функций модели на отдельные модули и взаимодействия между разнотипными сетями и протоколами;
- модель OSI ускоряет совершенствование информационных технологий посредством поддержки узкой специализации при разработке программных и аппаратных средств;
- модель OSI обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик систем за счет обеспечения возможности быстрой локализации аномальных процессов, простоты закрытия передаваемых данных и управления сетевым ресурсом систем.

Сопоставление уровней моделей DoD и OSI

Модель DoD	Модель OSI		Назначение
Уровень Процесс/приложение (Process/Application layer)	Верхние уровни модели OSI (уровни описания функциональных приложений для взаимодействия с другими функциональными приложениями)	Прикладной уровень (Application layer)	Обеспечение пользовательских приложений требуемыми службами
		Уровень представлений (Presentation layer)	Перевод данных из одного представления в другое; преобразование данных; кодирование, декодирование, сжатие данных
		Сеансовый уровень (Session layer)	Управление сеансом и управление диалогом
Межхостовый уровень (Host-to-host layer)	Нижние уровни модели OSI (определяют процедуру пересылки данных между оконечными точками сети)	Транспортный уровень (Transport layer)	Сквозная передача данных между программами/процессами
Уровень Интернет (Internet layer)		Сетевой уровень (Network layer)	Присвоение логических адресов и маршрутизация
Уровень доступа к сети (Network Access layer)		Канальный уровень (Data link layer)	Передача и прием кадра
	Физический уровень (Physical layer)	Кодирование сигналов, физическая среда и соединители для организации канала передачи данных	

На рис. 5 приведена концептуальная модель системы управления и целевого применения КА как объединение в глобальную корпоративную сеть локальных сетей “бортов” КА, космических ретрансляторов, а также “Земли” — наземных комплексов управления орбитальными группировками КА и целевого применения.

Технология открытых систем позволяет разделить функциональные приложения, обеспечивающие решение задач командно-программного, телеметрического, координатно-временного и других видов обеспечения, на независимые процессы и определить взаимодействие между “бортом” и “Землей” посредством унифицированных протоколов модели OSI.

Для организации взаимодействия функциональные процессы (хосты) идентифицируются в сети системными номерами — сокетами:

$$\langle \text{сокет} \rangle = \langle \text{NP, IP} \rangle,$$

где NP — номер порта, IP — логический адрес хоста.

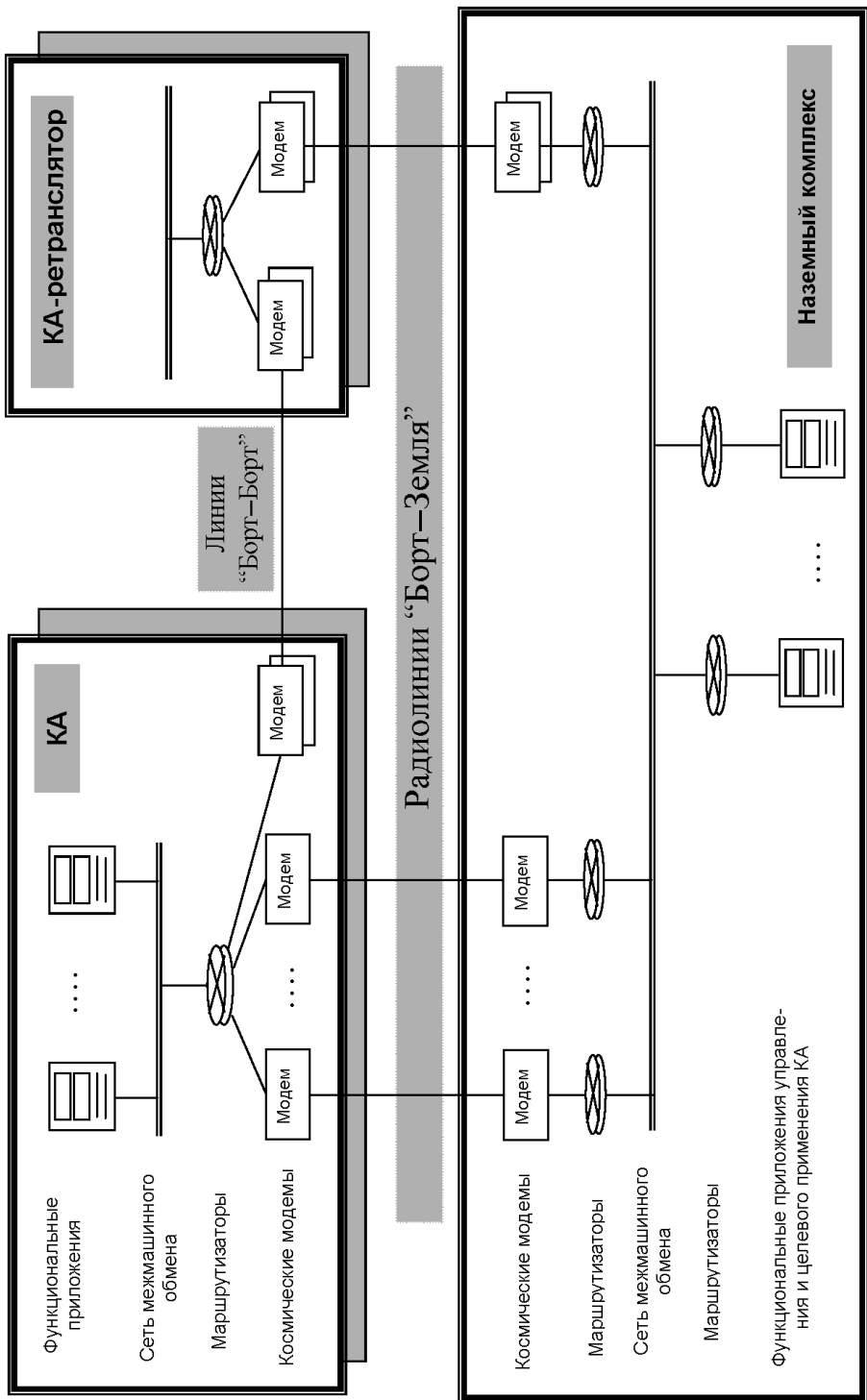


Рис. 5. Концептуальная модель системы управления и целевого применения КА

Верхние уровни модели OSI обеспечивают:

- пользовательские приложения требуемыми службами;
- перевод данных из одного представления в другое, преобразование данных, кодирование, декодирование, сжатие данных;
- управление сеансом и управление диалогом.

Передача данных осуществляется нижними уровнями сети по следующим протоколам управления данными:

TCP обеспечивает надежную управляемую передачу данных между хостами с подтверждением факта их правильного приема;

UDP обеспечивает передачу данных с высокой скоростью, оставляя контроль проверки правильности принимаемых данных верхним уровням.

Нижние уровни системы обеспечивают транспорт данных по направлениям: КА–КА-ретранслятор, КА–наземный комплекс, КА-ретранслятор–наземный комплекс. Для этого используются маршрутизаторы (router) и космические модемы. Космические модемы реализуют функции канального и физического уровней, учитывают специфику передачи данных по космическим радио и оптическим линиям связи, маршрутизаторы обеспечивают транспорт данных в соответствии с таблицами маршрутизации.

Космические модемы становятся инвариантными по отношению к типам передаваемых данных (телеметрия, информация управления КА, специальная информация и т.д.), что обеспечивает отказ от создания традиционных радиотехнических средств (РТС) обеспечения связи по линии КА–наземный комплекс и переходу к универсальным РТС. Протоколы для канального и физического уровней становятся стандартизированными, что является весьма важным фактором при их разработке для обеспечения целевого применения внутри страны и в международных программах (проектах).

Достоинством предложенной схемы является также то, что доступ операторов наземного комплекса к функциональным процессам КА, санкционированию и закрытию передаваемой информации обеспечивается программными средствами.

Весьма важным системотехническим фактором использования предложенной схемы является также то, что обеспечивается четкое разграничение функций между разработчиками отдельных элементов КА и наземного комплекса при их строгой системной увязке между собой. Набор применяемых для построения КА, КА-ретрансляторов и наземного комплекса аппаратных и программных средств становится универсальным, а система в целом становится открытой.

Концептуальная информационная модель системы управления и целевого применения КА приведена в табл. 8.

Концептуальная информационная модель системы управления и целевого применения КА

Управление КА 	Управление КА (“Борт”)	Уровень управления КА по целевому назначению		Управление КА для обеспечения решения задач по целевому назначению
		Уровень функциональных процессов		Реализация функциональных задач: <ul style="list-style-type: none"> • командно-программное обеспечение • телеметрическое обеспечение • координатно-временное обеспечение • обеспечение по целевому назначению • управление бортом изделия и т.д.
	Сетевые уровни	Уровень процессов / приложений	Уровень приложений	<ul style="list-style-type: none"> • Определения протоколов взаимодействия приложений, управление спецификацией пользовательских интерфейсов • Шифрование данных
			Уровень представлений	
			Сетевой уровень	
		Уровень взаимодействия хостов	Транспортный уровень	Управление передачей данных (протоколы TCP и UDP)
		Уровень Интернет	Сеансовый уровень	Маршрутизация (протокол IP)
		Уровень доступа к сети	Канальный уровень	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование кадров и физическая топология • Космические модемы
			Физический уровень	
		Уровень доступа к сети	Канальный уровень	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование кадров и физическая топология • Космические модемы
			Физический уровень	
		Уровень Интернет	Сеансовый уровень	Маршрутизация (протокол IP)
	Уровень взаимодействия хостов	Транспортный уровень	Управление передачей данных (протоколы TCP и UDP)	
	Уровень процессов / приложений	Уровень приложений	<ul style="list-style-type: none"> • Определяет протоколы взаимодействия приложений, управляет спецификацией пользовательских интерфейсов • Шифрование данных 	
Уровень представлений				
Сетевой уровень				
Управление КА (“Земля”)	Уровень функциональных процессов		Реализация функциональных задач: <ul style="list-style-type: none"> • командно-программное обеспечение • телеметрическое обеспечение • координатно-временное обеспечение • обеспечение по целевому назначению • управление бортом изделия и т.д. 	
	Уровень управления КА по целевому назначению		Управление КА для обеспечения решения задач по целевому назначению	
Уровень управления КК (КС) по целевому назначению				Управление КК (КС) для обеспечения решения задач по целевому назначению
Уровень управления ОГ КА по целевому назначению				Управление ОГ КА для решения целевых задач

В табл. 8 выделены три системных уровня: управление КА; управление космическими комплексами (КК) и системами (КС) по целевому назначению; управление орбитальными группировками (ОГ) КА по целевому назначению.

Для системного уровня управления КА введены собственно уровни управления КА и сетевые уровни, которые информационно симметричны относительно физической среды передачи данных.

В правой части табл. 8 приведены задачи, решаемые на соответствующих уровнях управления КА.

На сетевых уровнях представлены обозначения в терминологии моделей DoD и OSI, что весьма полезно для понимания с системотехнических позиций концептуальной модели построения и управления объектами на основе методологии взаимодействия открытых систем. Концептуальная модель представляет собой неформализованную дескриптивную модель, которая на описательном уровне с необходимой полнотой отражает систему-прототип, в нашем случае — АСУ КА.

В нее включается модель системы управления и целевого применения КА (определяет структуру системы и ее организационно-технические особенности) и информационная модель (вводит уровни и иерархию соответствующих уровням задач).

В отличие от традиционно принятого подхода к исследованию больших систем рассмотренная модель позволяет:

- рассматривать “борт” и “Землю” как объединение локальных систем, построенных на унифицированных принципах (вводится система стандартизированных протоколов уровней);
- обеспечить соответствие развития системы управления и целевого применения ОГ КА мировым тенденциям в области системотехники;
- реализовывать традиционно используемые технологии обмена данными между КА и наземными системами по линиям “борт–Земля”, “борт”–ретранслятор–“Земля” и “борт–борт” на основе единых технологических и информационных решений;
- четко разделить задачи, решаемые разработчиками подсистем КА и наземных служб, увязывая их универсальными системотехническими решениями;
- рассматривать традиционно используемые РТС для передачи данных по линиям “борт–Земля” как космические модемы, инвариантные к передаваемым по ним данным;
- обеспечить надежность бортовых и наземных средств за счет простоты резервирования объектов и трактов передачи данных;
- обеспечить доступ операторов наземного комплекса к функциональным процессам КА, санкционирование и закрытие передаваемой информации программными средствами.

Представляется, что предложенная концептуальная модель АСУ КА, разработанная на основе модели взаимодействия открытых систем (модель OSI), позволит организовать управление перспективными многоспутниковыми орбитальными группировками, представляющими собой сети КА, и реализовать комплекс управления перспективной ГКНИС.

Таким образом, предложен комплекс управления сложным иерархическим объектом ГКНИС — многокомпонентной космической информационной системой, как совокупность способов и технологий многоуровневого управления, методологических принципов формирования системы и методов кластеризации, видов обеспечения для реализации ее системных эффектов, позволяющая обеспечить возможность выполнения требований потребителя по качеству информационного обеспечения, в частности, по свойствам глобальности, непрерывности, оперативности и массовости ГКНИС, и требований информационной достаточности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р а з р а б о т к а концептуальной модели перспективной глобальной космической низкоорбитальной инфокоммуникационной системы на основе инновационных технологий, шифр “Космонет” // Отчет о НИР. – М.: ОАО Спутниковая система “Гонец”, 2010.
2. К и с е л е в А. И., М е д в е д е в А. А., М е н ь ш и к о в В. А. Космонавтика на рубеже тысячелетий. – М.: Машиностроение, 2001.
3. К у к у ш к и н С. С., Н и к о л а е в Б. П., П о т ю п к и н А. Ю. Методологические основы создания малогабаритных космических аппаратов и управления многоспутниковыми группировками // Двойные технологии. – 2008. – № 2.
4. Н и з к о о р б и т а л ь н а я космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных / Под ред. А.И. Галькевича. – Тамбов: ООО “Издательство Юлис”, 2011. – 169 с.

Статья поступила в редакцию 14.06.2011

Александр Игоревич Галькевич родился в 1953 г., окончил в 1975 г. ХВВКИУ им. Н.И. Крылова, в 1983 г. военную академию им. Ф.Э. Дзержинского. Канд. техн. наук, президент-генеральный конструктор ОАО “Спутниковая система “Гонец”.

A.I. Gal'kevich (b. 1953) graduated from the Khar'kov Higher Military Command and Engineering School n. a. N.I. Krylov in 1975 and the Dzerzhinskii Military Academy in 1983. Ph. D. (Eng.), president-general designer of the ОАО “Satellite System “Gonets”.

