

УДК 621.396.029.33:629.7

**ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ  
КОСМИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
И ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕМ  
В ПРОЦЕССЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

© 2014 г. Королёв Б.В.

ОАО «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королёва» (РКК «Энергия»)  
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская область, Россия, 141070, e-mail: post@rsce.ru

*Рассматривается использование оптического диапазона длин волн в линиях связи между космическими аппаратами. Приводятся его преимущества по сравнению с радиодиапазоном. Показано, что преимущества оптического диапазона в полной мере могут быть реализованы лишь при определенной технологии работы космических оптических линий связи между космическими аппаратами.*

**Ключевые слова:** связь между космическими аппаратами, оптический диапазон длин волн.

**SPACE OPTICAL COMMUNICATIONS  
LINE TECHNOLOGY AIMED AT A MORE  
RESPONSIVE CONTROL AND PROMPTER  
DELIVERY OF DATA TO THE END USER  
DURING SPACE OPERATIONS**

Korolev B.V.

*S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia)  
4A Lenin Street, Korolev, Moscow region, 141070, Russia, e-mail: post@rsce.ru*

*The paper discusses the use of the optical waveband for communication links between spacecraft. The paper cites its advantages in comparison with the radio frequency band. It is demonstrated that the full use of the optical waveband advantages can only be achieved when work with optical communications links between spacecraft follows a certain special procedure.*

**Key words:** communications between spacecraft, optical waveband.



КОРОЛЁВ Б.В.

КОРОЛЁВ Борис Васильевич — ктн, ведущий научный сотрудник НТЦ РКК «Энергия», e-mail: [boris.korolev1@rsce.ru](mailto:boris.korolev1@rsce.ru)  
KOROLEV Boris Vasilyevich — Candidate of Science (Engineering), Leading Researcher at STC of RSC Energia

С созданием в 1980-е гг. лазерных диодов, фотоумножителей и лавинных фотодиодов открылась реальная возможность разработки

аппаратуры для космических оптических линий связи (КОЛС). К настоящему времени имеется описание проектирования такой

аппаратуры [1], а также несколько примеров экспериментальной отработки лазерной связи в космических условиях [2–6].

Однако технология работы аппаратуры КОЛС остается той же, что и в радиодиапазоне — посредством сеансов связи. Каждый сеанс связи требует соответствующей подготовки с привлечением средств наземных пунктов и бортовых средств космического аппарата (КА). Все это не приводит к повышению оперативности доставки информации потребителю, а следовательно, и к повышению эффективности работы КА.

В данной статье предпринята попытка обосновать необходимость создания новой технологии функционирования аппаратуры КОЛС, базирующейся на *автоматизме, автономности и непрерывности работы* этой аппаратуры, что позволило бы повысить оперативность доставки информации потребителю

практически до физического предела и, соответственно, увеличить эффективность работы КА.

### Преимущества оптического диапазона

Оптический диапазон частотного спектра всегда привлекал внимание разработчиков аппаратуры для связи и передачи информации, т.к. он, по сравнению с радиодиапазоном, позволяет существенно расширить полосу частот для передачи информации и увеличить объем передаваемой информации в единицу времени.

Преимущества оптического диапазона электромагнитного спектра перед радиодиапазоном, объясняющие его привлекательность для средств связи и передачи информации в космосе, представлены на рис. 1.

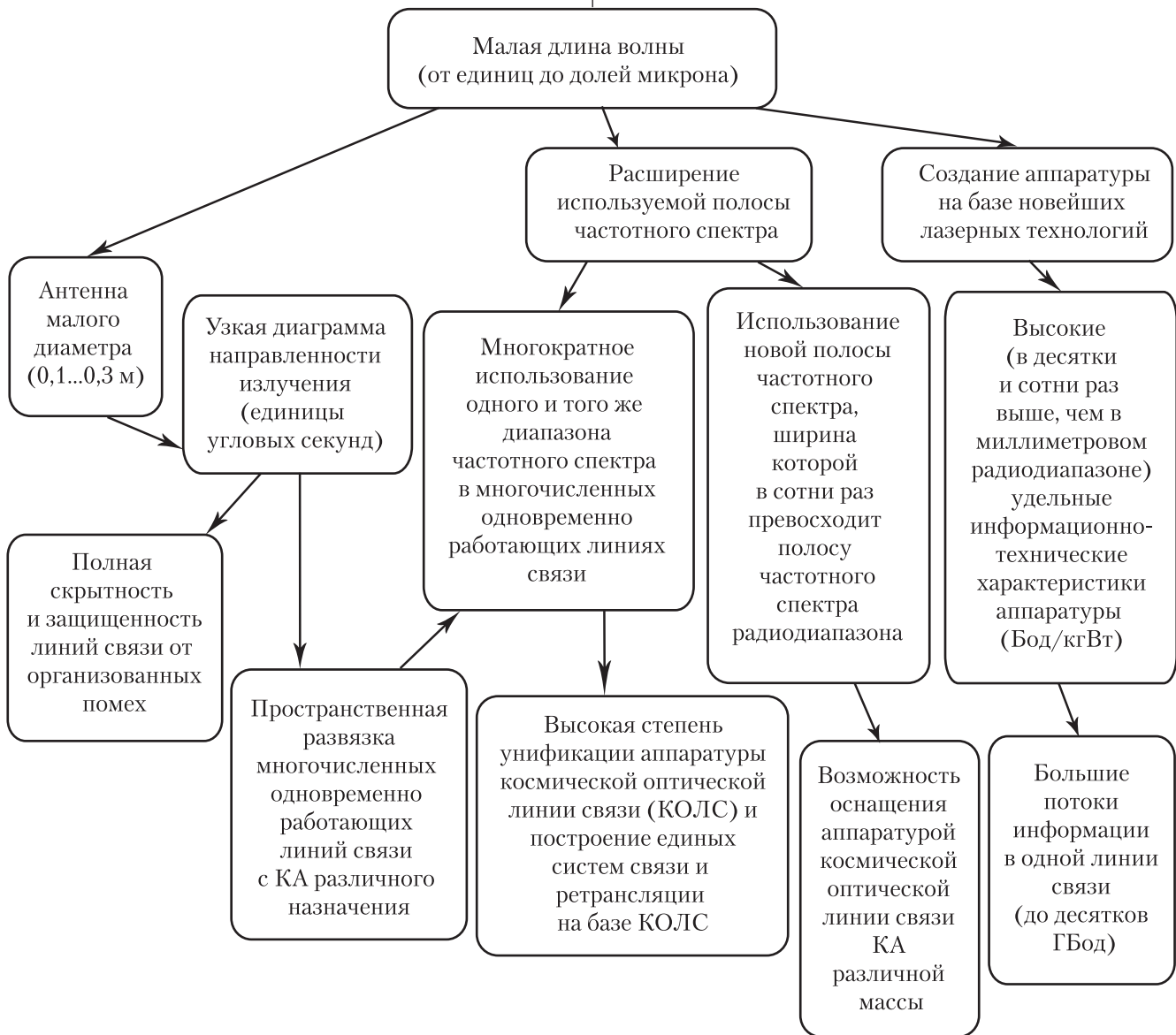


Рис. 1. Преимущества оптического диапазона электромагнитного спектра перед радиодиапазоном

Благодаря малой длине волны, исчисляемой единицами и долями микрометра, для формирования диаграммы направленности излучаемой энергии можно использовать оптические антенны сравнительно малого диаметра — 0,1...0,3 м. При этом ширина диаграммы направленности излучаемой энергии составит всего 1...4". Такая высокая степень концентрации излучаемой энергии позволяет, в свою очередь, обходиться передатчиком сравнительно небольшой мощности и снизить энергопотребление терминала аппаратуры оптической связи.

Узкая диаграмма направленности антенны обеспечивает практически полную помехозащищенность оптической линии связи, а также высокую пространственную развязку оптических линий связи между собой. Благодаря этому один КА может вести работу одновременно с несколькими другими КА. Например, геостационарный спутник-ретранслятор (СР), оснащенный несколькими терминалами аппаратуры КОЛС, может связываться одновременно с несколькими низкоорбитальными космическими аппаратами (НОКА) различного назначения, имеющими аналогичные терминалы аппаратуры. Причем в каждой из этих линий связи может использоваться один и тот же частотный диапазон. Таким образом, имеет место многократное одновременное использование одного и того же частотного диапазона.

### **Функционирование линий связи НОКА–СР с использованием технологии работы радиолиний**

Аппаратурные комплексы связи и передачи широкополосной информации между КА в радиодиапазоне, содержащие передатчик, приемник, остронаправленную антенную систему с устройствами ее наведения на корреспондента или без них, предназначаются для решения одной целевой задачи — обеспечения связи. Работа их осуществляется сеансами связи, в каждом из которых наведение антенны на корреспондента, если оно требуется, осуществляется по целеуказаниям, рассчитываемым на весь сеанс связи с использованием параметров орбит, определяемых по данным траекторных измерений. Реализуются они системами наведения антенн. При этом не требуется постоянного наблюдения высокой точности наведения антенн на корреспондента, так как ширина диаграммы направленности связных антенн в радиодиапазоне даже при использовании

миллиметровых длин волн составляет не менее нескольких десятых долей углового градуса. Этот подход традиционно соблюдается и разработчиками аппаратуры КОЛС как у нас в стране, так и за рубежом.

Но особенностью КОЛС является использование узкой диаграммы направленности излучения (единицы угловых секунд). Для обеспечения работы таких линий связи требуется высокоточная навигационная информация.

Если космические оптические линии работают отдельными сеансами связи, то для каждого сеанса приходится рассчитывать высокоточную навигационную информацию. Ее расчет возлагается на наземные средства управления полетом или бортовую систему управления движением КА.

Результаты выполненных системных исследований показывают, что при таком использовании КОЛС практически не влияют на повышение оперативности получения и доставки потребителям целевой информации, а следовательно, и не способствуют повышению эффективности работы группировок НОКА.

Для подтверждения этого вывода рассмотрим организацию работы космических линий связи между, например, СР и НОКА наблюдения, в процессе которой осуществляется следующая технологическая цепочка операций:

- поступление заявок потребителей на получение целевой информации;
- планирование работы НОКА и СР;
- подготовка НОКА к сеансу работы его целевой аппаратуры;
- подготовка к работе СР и аппаратуры на НОКА для связи с СР;
- проведение сеанса работы целевой аппаратуры НОКА;
- передача целевой информации через СР на пункт приема информации (ППИ).

*При планировании работы НОКА учитывается:*

- продолжительность временного интервала от поступления заявки до пролета НОКА над объектом наблюдения ( $t_1$ );
- продолжительность временного интервала от момента поступления заявки до возможного начала операции по подготовке к сеансу работы целевой аппаратуры НОКА ( $t_2$ );
- продолжительность операций по подготовке к сеансу работы целевой аппаратуры НОКА ( $t_3$ ), включающих, в свою очередь:
  - проведение траекторных измерений ( $t_{31}$ );
  - расчет параметров траектории НОКА, программы работы его целевой аппаратуры

и уставок для аппаратуры, работающей с СР ( $t_{32}$ );

- передачу на борт параметров траектории НОКА, программы работы его целевой аппаратуры и уставок для аппаратуры, работающей с СР ( $t_{33}$ );

- проведение сеанса астронавигации по уточнению ориентации НОКА ( $t_{34}$ );

- развороты НОКА для установления ориентации, необходимой для работы целевой аппаратуры ( $t_{35}$ );

- продолжительность сеанса работы целевой аппаратуры ( $t_4$ );

- времена начала ( $t_n$ ) и конца ( $t_k$ ) зоны взаимной видимости НОКА и СР;

- продолжительность подготовки аппаратуры, работающей с СР, к работе и установления линии связи с СР ( $t_5$ ).

При планировании работы СР учитывается:

- продолжительность передачи на борт параметров траектории НОКА или уставок для работы комплекса аппаратуры для связи с НОКА ( $t_{CP33}$ );

- время начала ( $t_n$ ) и конца ( $t_k$ ) зоны взаимной видимости НОКА и СР;

- продолжительность подготовки комплекса аппаратуры для связи с НОКА к работе и установления линии связи с НОКА ( $t_6$ ).

При планировании работы СР не учитываются затраты времени на проведение траекторных измерений, так как они проводятся регулярно для обеспечения необходимой

точности поддержания СР в точке его «стояния» на геостационарной орбите, поэтому в любой момент времени известны параметры траектории СР с точностью, удовлетворяющей требованиям для работы космической линии связи между СР и НОКА.

На рис. 2 приведены указанные выше технологические цепочки операций для проведения сеанса работы целевой аппаратуры НОКА при передаче целевой информации с использованием линии передачи информации через СР и без него.

При планировании работы НОКА можно столкнуться со следующими ситуациями.

Может оказаться, что продолжительность операций по подготовке к сеансу работы целевой аппаратуры НОКА больше, чем время от поступления заявки от потребителя до ближайшего момента пролета НОКА над объектом наблюдения, т. е.  $t_1 < t_3$ . В этом случае приходится ориентироваться на следующий момент пролета НОКА над объектом наблюдения и относительно него строить работу по подготовке к сеансу целевой аппаратуры, что и отражено на рис. 2.

При использовании способа передачи целевой информации непосредственно на ППИ в процессе пролета над ним может оказаться, что в течение одной зоны не удастся передать всю информацию, накопленную за сеанс работы целевой аппаратуры. Приходится передавать ее в нескольких зонах. Тогда

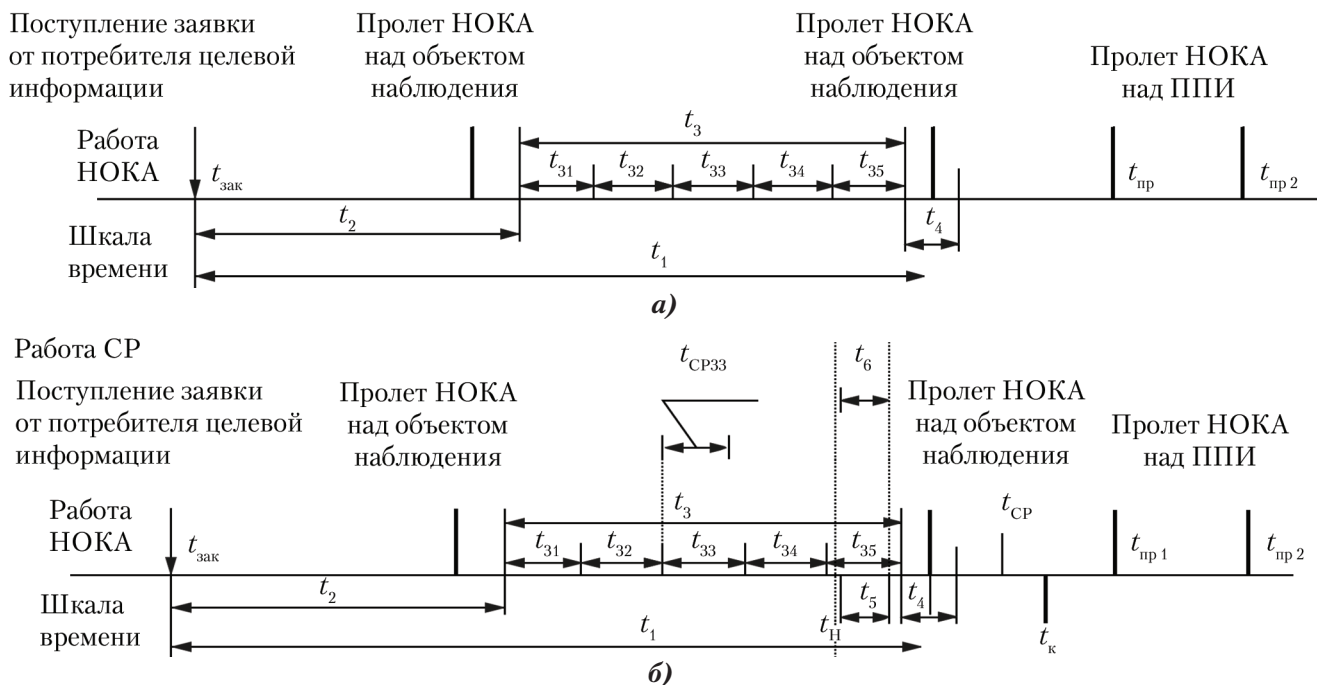


Рис. 2. Технологические цепочки операций для проведения сеанса работы целевой аппаратуры НОКА: а – при передаче целевой информации непосредственно на ППИ в процессе пролета над ним, без использования линии передачи информации через СР; б – при передаче целевой информации на ППИ через СР

Примечание: НОКА – низкоорбитальный космический аппарат; СР – спутник-ретранслятор; ППИ – пункт приема информации.



оперативность получения целевой информации потребителем ( $Q_{\text{пр}}$ ) будет определяться разностью времен окончания передачи всей информации, что может состояться в некоем  $n$ -ном пролете над ППИ ( $t_{\text{пр } n}$ ), и поступления заявки от потребителя ( $t_{\text{зак}}$ ):

$$Q_{\text{пр}} = t_{\text{пр } n} - t_{\text{зак}}$$

Передача целевой информации через СР позволяет сократить это время, передав всю целевую информацию к моменту  $t_{\text{СР}}$  (см. рис. 2, б). Отстояние этого момента от временного интервала проведения сеанса работы целевой аппаратуры ( $t_4$ ) зависит от расположения относительно него зоны взаимной видимости СР и НОКА. Сеанс работы целевой аппаратуры может проходить в зоне взаимной видимости СР и НОКА и вне ее пределов. В последнем случае передача целевой информации с НОКА через СР может быть осуществлена в следующей ближайшей за интервалом  $t_4$  зоне взаимной видимости СР и НОКА.

Разница в оперативности доставки целевой информации через СР по сравнению со сбросом ее на ППИ при пролете над ним составит:

$$\Delta Q_{\text{СР}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{СР}} = t_{\text{пр } n} - t_{\text{СР}}$$

Таким образом, создание космических ретрансляционных систем с космическими линиями связи между СР и НОКА в радиодиапазоне позволяет сократить время доставки информации потребителю только за счет исключения или сокращения времени ожидания пролета НОКА над ППИ.

### **Особенности функционирования КОЛС. Негативность работы КОЛС по технологии радиолиний**

В КОЛС формируются узкие диаграммы направленности излучения (единицы угловых секунд), что неизбежно приводит к необходимости создания высокоточной системы наведения луча и слежения за корреспондентом и соответствующей организации функционирования двух взаимодействующих друг с другом терминалов аппаратуры КОЛС.

Процесс установления линии оптической связи между двумя космическими объектами, оборудованными терминалами аппаратуры КОЛС, состоит из следующих последовательно проводимых операций.

К назначенному моменту времени оптические антенны терминалов должны быть предварительно выставлены, т. е. развернуты таким образом, чтобы их визирные оси были направлены друг на друга. Эта операция осу-

ществляется с ошибкой, величина которой зависит в основном от точности знания положения и ориентации строительных осей КА в пространстве.

Как правило, эта ошибка превосходит ширину диаграммы направленности излучения, поэтому в назначенный момент времени начинается взаимный поиск терминалов.

Лишь после захвата сигнала корреспондента в каждом из терминалов последовательно включаются в работу контуры грубого наведения и прецизионного слежения, причем луч оптического передатчика каждого из терминалов из-за большого расстояния между КА и большой скорости их движения ориентируется не по направлению принимаемого излучения, а под некоторым углом упреждения к нему, т. е. посылается в упреждающую точку, где корреспондент должен будет оказаться через время двукратного прохождения лучом расстояния между связывающимися КА.

При подготовке к сеансу связи по космической оптической линии необходимая навигационная информация для предварительной выставки антенн, сопровождения корреспондентов во время сеансов связи, определения и задания координат угла упреждения рассчитывается либо на борту КА на основании заложенных в бортовую вычислительную машину параметров траекторий связывающихся между собой КА, либо на наземном пункте с последующей передачей на борт КА в виде программно-уставочной информации. Такой способ навигационного обеспечения используется для ретрансляционной радиоаппаратуры и по традиции продолжает применяться для комплексов аппаратуры КОЛС. Но если в радиодиапазоне диаграмма направленности излучения является довольно широкой, и, например, для режима программного сопровождения корреспондента используется задание эфемерид корреспондентов с достаточно большими интервалами по времени, а промежуточные их значения определяются методом интерполяции, то для узких диаграмм направленности оптического излучения требуется расчет и задание эфемерид корреспондентов и углов упреждения с малым интервалом по времени и на весь сеанс связи. Предполагается, что в соответствии с расчетными эфемеридами корреспондентов осуществляется программное наведение оптических антенн в процессе сеанса связи, а контур прецизионного слежения работает лишь в пределах поля зрения своего приемного устройства — чувствительного элемента. Это обстоятельство требует и более точного знания пара-

метров траектории движения, и ориентации строительных осей КА. Чтобы избежать больших ошибок в навигационном обеспечении работы КОЛС, которые рассчитываются по прогнозируемым параметрам траекторий КА, необходимо проводить траекторные измерения как можно ближе к сеансу оптической связи, что, в свою очередь, создает определенные трудности из-за сокращения времени на подготовку к сеансу связи.

Например, аппаратура, создаваемая по программе *SILEX* [2], может работать автономно в течение 1 сут. На борт НОКА *SPOT-4* задаются параметры его траектории и траектории взаимодействующего с ним СР *Artemis*, по которым на борту вычисляются необходимые навигационные параметры для работы аппаратуры КОЛС. Точности прогнозов параметров траектории *Artemis* и *SPOT-4* хватает на сутки. Через сутки значения этих параметров должны быть обновлены, уточнены.

Аппаратура межспутниковой связи в радиодиапазоне допускает для своего функционирования значительно меньшую точность знания параметров траекторий КА.

Как было отмечено выше, к особенностям функционирования комплексов аппаратуры КОЛС относится возможность одновременной работы нескольких таких комплексов, установленных на геостационарном СР, каждый из которых осуществляет связь со своим НОКА. Это возможно за счет использования очень узких диаграмм направленности излучения, что позволяет осуществить пространственную развязку линий связи, но требует высокоточного навигационного обеспечения. Объем подготовительных измерений, вычислений и передаваемых данных для обеспечения высокоточной навигационной информацией работы геостационарного СР с несколькими НОКА возрастает пропорционально количеству этих НОКА.

Для осуществления передачи целевой информации через СР приходится задействовать целый ряд наземных средств для управления и контроля работы СР и НОКА, для проведения траекторных измерений этих объектов и определения параметров их орбит, расчета и передачи на борт СР и НОКА необходимого объема программной и уставочной информации.

Особенности функционирования КОЛС предъявляют еще более жесткие требования к работе наземных средств, участвующих в подготовке сеанса оптической связи. Возрастает загрузка:

- средств траекторных измерений за счет более частого их использования;

- вычислительного комплекса, ведущего обработку этих измерений и расчет навигационных параметров, необходимых для работы КОЛС;

- всей наземной инфраструктуры, обслуживающей работу всех космических средств.

Учитывая, что требования со стороны аппаратуры КОЛС к проведению операций по подготовке к сеансу связи являются более жесткими, чем со стороны аппаратуры радиодиапазона, можно утверждать, что затраты времени на:

- проведение траекторных измерений ( $t_{31}$ );

- расчет параметров траектории НОКА, программы работы его целевой аппаратуры и уставок для аппаратуры, работающей с СР ( $t_{32}$ );

- закладку на борт параметров траектории НОКА, программы работы его целевой аппаратуры и уставок для аппаратуры, работающей с СР ( $t_{33}$ );

- проведение сеанса астронавигации по уточнению ориентации НОКА ( $t_{34}$ );

- развороты НОКА для установления ориентации, необходимой для работы целевой аппаратуры ( $t_{35}$ )

останутся прежними, т. е. не сократится продолжительность операций по подготовке к сеансу работы целевой аппаратуры НОКА ( $t_3$ ). Это означает, что и продолжительность временного интервала от поступления заявки потребителя целевой информации до проведения сеанса работы целевой аппаратуры НОКА ( $t_1$ ) останется той же.

Итак, если комплексы аппаратуры КОЛС строятся на тех же принципах навигационного обслуживания своей работы, что и ретрансляционная радиоаппаратура, то их использование вместо радиоаппаратуры практически не влияет на оперативность получения потребителем целевой информации.

Кроме того, если рассматривать комплекс аппаратуры КОЛС только как связной, т. е. предназначенный исключительно для приема и передачи информации, то при установке его на КА необходимо дорабатывать бортовые системы КА таким образом, чтобы они могли решать практически все задачи высокоточного навигационного обеспечения работы аппаратуры. Это затрудняет адаптацию чисто связного комплекса аппаратуры к различным КА, создание на его основе унифицированного ряда аппаратуры, а главное — такой комплекс аппаратуры практически не

способствует повышению эффективности функционирования космических средств.

### Предлагаемая технология работы КОЛС

Для ликвидации недостатков использования аппаратуры КОЛС, функционирующей на тех же технологических принципах, что и связная радиоаппаратура, необходимо, чтобы аппаратура КОЛС была способна работать *автоматически, автономно и непрерывно*.

*Автоматически* — это значит, что аппаратура КОЛС способна сама рассчитывать и обрабатывать:

- время начала и окончания работы с корреспондентом;
- время перехода от работы с одним корреспондентом к работе с другим корреспондентом;
- данные, необходимые для соответствующей предварительной выставки оптической антенны и осуществления взаимного поиска и вхождения в связь с корреспондентом;
- данные, необходимые для постоянной корректировки угла упреждения.

*Автономно* — это значит, что аппаратура КОЛС способна сама проводить траекторные измерения, обрабатывать их результаты и рассчитывать текущие значения параметров орбиты собственного КА, получая данные о параметрах орбиты КА-корреспондента. Например, параметры орбиты геостационарного СР постоянно контролируются и корректируются, поэтому всегда известны с достаточно высокой точностью. По действующей оптической линии связи геостационарного СР с НОКА эти параметры орбиты можно по несколько раз в сутки передавать на НОКА, аппаратура КОЛС которого, ведя траекторные измерения относительно геостационарного СР, может с достаточно высокой точностью определять параметры орбиты собственного КА.

Аппаратура КОЛС на СР, в свою очередь, ведет траекторные измерения НОКА и определяет параметры его орбиты. При этом в процессе траекторных измерений определяются расстояние между КА-корреспондентами и угловые координаты направления на корреспондента на каждом из них. Это совершается автономно, без дополнительного вмешательства других средств.

*Непрерывно* — это значит, что аппаратура КОЛС способна работать автоматически и автономно в условиях кратковременного воздействия внешних факторов, препятствующих распространению электромагнитных волн. Например, при полностью сформиро-

ванной ретрансляционной системе работа КОЛС между НОКА и СР может протекать непрерывно, аппаратура автоматически, без перерывов в работе линии оптической связи, переключается с одного СР на другой. Пока формирование ретрансляционной системы еще не завершено, работа КОЛС между НОКА и СР может проходить с перерывами, вызываемыми затенением Земли. Но после этого сравнительно короткого времени точность прогноза изменения параметров орбит связывающихся между собой КА остается достаточной для автоматического восстановления работы оптической линии связи.

В результате реализации указанных принципов функционирования аппаратуры КОЛС становится известным постоянно, в течение всего времени ее работы, положение КА в пространстве с высокой точностью, превышающей точность определения положения с помощью космической навигационной системы. Кроме того, постоянное знание угловых координат направления на корреспондента также с высокой точностью позволяет в каждый момент времени определить ориентацию КА в пространстве благодаря знанию привязки строительных осей аппаратуры КОЛС к строительным осям КА. Точность определения направления на корреспондента измеряется десятками долями ширины диаграммы направленности излучаемой энергии, составляющей единицы угловых секунд.

Таким образом, аппаратура КОЛС, самостоятельно формируя навигационные данные для обеспечения собственной работы, решает одновременно задачу автономной высокоточной навигации и ориентации для КА в целом. Кроме того, появляется возможность вести управление работой КА и получения от него целевой информации в реальном времени.

Знание текущих значений параметров траектории и ориентации строительных осей КА в пространстве позволяет при подготовке к сеансу работы целевой аппаратуры отказаться:

- от услуг наземных средств в операциях проведения траекторных измерений;
- расчета параметров траектории НОКА, передачи их на борт НОКА;
- проведения сеанса астрокоррекции для уточнения положения строительных осей НОКА;
- расчета навигационных параметров для комплекса аппаратуры КОЛС;
- подготовки комплексов аппаратуры КОЛС на СР и НОКА к работе.

Остается только операция по подготовке целевой аппаратуры к работе (включение программы подготовки целевой аппаратуры

к работе и совершение разворотов НОКА для обеспечения его ориентации, необходимой при проведении сеанса работы целевой аппаратуры).

Таким образом, из пяти составляющих отрезка времени  $t_3$  — это  $t_{31}...t_{35}$  (см. рис. 2) — остается только один —  $t_{35}$ , как это показано на рис. 3, что позволяет повысить оперативность получения целевой информации потребителями до своего физического предела.

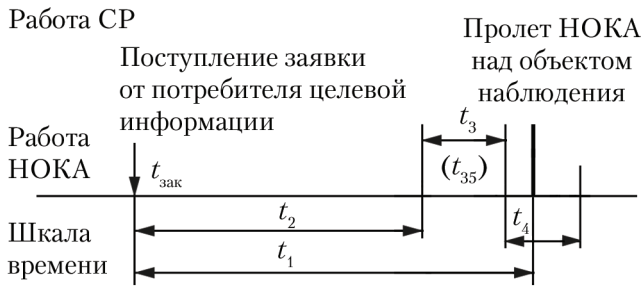


Рис. 3. Технологическая цепочка операций при автономном функционировании космической оптической линии связи

Теперь только в том случае, если после поступления заявки от потребителя на получение целевой информации не успеваем включить целевую аппаратуру, прогреть и подготовить ее к работе, завершить программные развороты НОКА до первого же пролета НОКА над объектом наблюдения, мы вынуждены будем ожидать следующего пролета НОКА над этим объектом.

Именно автоматически, автономно и непрерывно функционирующие космические оптические линии связи позволят максимальным образом повысить эффективность использования КА.

По результатам экспертных оценок, при предлагаемой технологии функционирования космических оптических линий связи сокращение времени выполнения заявок потребителей информации может составлять 0,5...1,5 сут. Такой эффект осуществляется, в основном, за счет уменьшения времени подготовки КА к работе по целевому назначению.

**Ожидаемые перспективы**

Основой информационного обеспечения функционирования космических средств различного назначения должна стать Единая ретрансляционная система, представляющая собой группировку геостационарных спутников-ретрансляторов, связывающая в оптическом диапазоне наземный центр управления со всем парком группировок КА, как в околоземном космическом пространстве, так и в дальнем космосе. Таким образом, Единая

ретрансляционная система будет составлять основу космической информационной инфраструктуры.

В качестве иллюстрации на рис. 4 представлено взаимодействие орбитальных группировок, когда использование оптических линий связи между КА примет всеохватывающий характер. На обозначенной цифрой 11 геостационарной орбите цифрами 1–4 обозначены спутники-ретрансляторы, на околоземных орбитах цифрами 5–9 обозначены НОКА, на траектории полета в дальний космос КА обозначен цифрой 10. СР между собой и с изображенными КА соединены космическими оптическими линиями связи. СР 1 и 4 соединены КОЛС с наземным пунктом в районе г. Москвы.

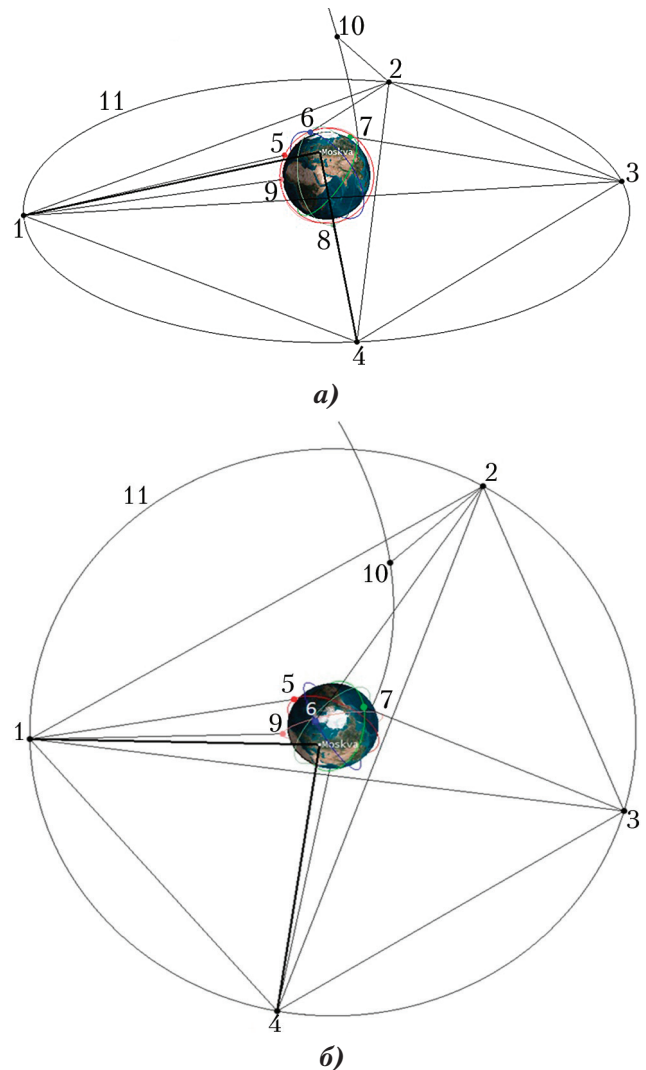


Рис. 4. Взаимодействие орбитальных группировок при использовании оптических линий связи между космическими аппаратами: 1–4 — спутники-ретрансляторы; 5–9 — низкоорбитальные космические аппараты; 10 — космический аппарат на траектории полета в дальний космос; 11 — геостационарная орбита

Применительно к обслуживанию группировок НОКА можно предположить, что наличие



такой системы позволит повысить эффективность работы НОКА различного назначения. Однако степень повышения эффективности работы НОКА существенно зависит от технологии работы КОЛС.

### Выводы

Использование в космических линиях связи оптического диапазона частотного спектра является перспективным. Широкое его внедрение потребует совершенствования технологии работы аппаратуры КОЛС настолько, что затраты на организацию и поддержание функционирования КОЛС будут минимальными. Необходимо, чтобы аппаратура КОЛС могла работать автоматически, автономно и непрерывно. Именно при этих условиях будет обеспечиваться максимальная оперативность получения информации от космических средств и эффективность их функционирования.

### Список литературы

1. Лазерная космическая связь: Пер. с англ. / Под ред. Кацмана М. М.: Радио и связь, 1993.

2. Мохов В. Впервые спутники «общались» с помощью лазера // Новости космонавтики. 2002. № 1 (228). С. 34.

3. Shiratama K., Mase I., Shimizu M. (NEC Corporation), Nakagawa K., Yamamoto A. (National Space Development Agency of Japan). *Challenge to the optical inter-satellite communications // Proceedings of the AIAA/ESA Workshop on International Cooperation in Satellite Communications, Noordwijk, the Netherlands, March 27–29, 1995 (ESA SP 372, p. 317–323, September 1995).*

4. Araki K., Toyoda M., Toyochima M. et al. *Results of satellite communications experiment – 3. Laser communications experiment // CRL Review. March 1997. Vol. 44. № 1. P. 209–223.*

5. Bailly M., Perez E. *The Pointing, Acquisition and Tracking system of SILEX European program: a major technological step for intersatellites optical communication // SPIE. FreeSpace Laser Communication Technologies III. 1991. Vol. 1417. P. 142–157.*

6. *Communication Experiment Using Optical Inter-Orbit Communication Equipment Aboard OICETS // Press Release Archives NASDA, September 16, 2003.*

*Статья поступила в редакцию 26.11.2013 г.*