

---

УДК 629.7.054:621.396:621.395.64

## **Планирование сеансов при управлении ретрансляцией и связью с использованием МКСР «Луч»**

**Ногов О. А.**

*Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИМ), Пионер-  
ская ул., 4, Королев, Московская область, 141070, Россия*

*e-mail: noa@mcc.rsa.ru*

### **Аннотация**

Представляются материалы по составлению общего и детального планов, разработанные автором для проведения ретрансляции и связи в Центре управления ретрансляцией и связью многофункциональной космической системы ретрансляции «Луч». Приводится методика оптимального планирования сеансов ретрансляции и связи.

### **Ключевые слова**

ретрансляция, связь, планирование

Создаваемая многофункциональная космическая система ретрансляции (МКСР) «Луч» предназначена для решения проблем увеличения быстродействия управления космическими аппаратами (КА), повышения оперативности передачи командно-программной информации (КПИ), получения телеметрической информации (ТМИ), информации целевого назначения (ИЦН) и баллистической информации, получаемой на борту КА с помощью навигационных систем GPS-ГЛОНАСС. Передача и получение информации может осуществляться для низкоорбитальных КА (НКА), разгонных блоков (РБ), ракет-носителей (РН).

Орбитальная группировка МКСР будет состоять из 3-х спутников-ретрансляторов – геостационарных космических аппаратов (ГКА) «Луч-5А», «Луч-5Б», «Луч-5В», планируемых к размещению, соответственно, в точках 167° в.д., 16° з.д., 95° в.д. Космические абоненты МКСР – НКА, РБ, РН – должны быть оснащены абонентской аппаратурой ретрансляции.

Наземная инфраструктура МКСР включает в себя Центр управления ретрансляцией и связью (ЦУРС), Центр управления полетами ГКА, три разнесенные территориально пункта

приема и передачи информации (ПППИ) – Западный, Центральный и Восточный, оснащенные наземными станциями ретрансляции (НСР).

НСР обеспечивает одновременную работу через ГКА с двумя космическими абонентами, находящимися в зоне видимости остронаправленных перенацеливаемых антенн ГКА. Для решения задач ретрансляции используются S и Ku диапазоны частот.

Одной из основных задач ЦУРС [1], входящего в состав МКСР «Луч», является планирование сеансов – разработка общих (долгосрочных) и детальных (суточных) планов ретрансляции КПИ, ТМИ и ИЦН на основе заявок потребителей – Центров управления полетом (ЦУП).

Заявки, выдаваемые ЦУП космических объектов, подразделяются на

- долгосрочные – выдаются на недельный период за неделю до наступления заявляемого периода работ;
- оперативные – выдаются не менее чем за сутки до начала планируемых работ;
- экстренные – могут выдаваться не менее чем за 3 часа до заявляемого сеанса ретрансляции.

Общие планы составляются в ЦУРС на недельный период времени на основе долгосрочных заявок, детальные планы – на сутки как часть общего плана.

Таким образом, планирование сеансов в общем случае предполагает решение двух задач:

- составление общего плана;
- коррекция общего и детального планов после получения оперативных и экстренных заявок.

Сеансы ретрансляции и связи (СРС) делятся на следующие типы:

- СРС<sub>о</sub> – обязательные, проведение которых необходимо на конкретном витке в строго определенное время;
- СРС<sub>з</sub> – зависимые, должны проводиться один после другого;
- СРС<sub>н</sub> – независимые, для которых время проведения на суточном интервале не критично;
- СРС<sub>р</sub> – резервные – оставшиеся временные диапазоны после распределения СРС<sub>о</sub>, СРС<sub>з</sub>, СРС<sub>н</sub> для конкретного КА.

Из условия проведения сеансов ретрансляции и связи, а именно:

- необходимости максимального удовлетворения всех полученных заявок,

- ресурсных и эксплуатационных ограничений наземных станций ретрансляции (НСР) и бортовых ретрансляционных комплексов (БРК),
- возможности нахождения КА-абонентов в зоне радиовидимости (ЗРВ) нескольких ГКА,
- возможности наличия конфликтных ситуаций (КС) вследствие задействования одних и тех же ПППИ разными КА-абонентами с перекрытием возможного диапазона сеансов связи –

возникает актуальность и необходимость решения вопросов оптимизации планирования проведения информационного обмена по каналам ретрансляции.

Следует заметить, что т. к. каждая НСР<sub>*i*</sub> (*i*=1,2,3) работает со своим БРК<sub>*i*</sub> и имеет более жесткие ресурсные и эксплуатационные ограничения по сравнению с БРК<sub>*i*</sub>, то достаточно рассматривать эти ограничения только для НСР<sub>*i*</sub>.

## **1. Основные требования для планирования**

Для оптимального планирования сеансов ретрансляции и связи необходимо выполнение следующих требований.

1. Обеспечение равенства планируемых и заявленных СРС на суточном интервале в случае достаточности продолжительности ЗРВ для КА<sub>*m*</sub> (*m*=1,...,М) при формировании СРС согласно заявке.

2. Планирование дополнительных СРС в случае недостаточности продолжительности ЗРВ для КА<sub>*m*</sub> (*m*=1,...,М) при формировании СРС согласно заявке. При этом время планируемого общего количества СРС для КА<sub>*m*</sub> на суточном интервале должно удовлетворять требуемому времени.

3. Для обеспечения равномерности загрузки при наличии возможности задействования одного из нескольких ПППИ планируется ПППИ с наибольшим остаточным ресурсом НСР.

4. При нахождении в заявке зависимых сеансов СРС<sub>*z*</sub> должно выполняться требование проведения этих сеансов подряд.

## **2. Граничные условия**

1. Работоспособность ПППИ.

Необходимо учитывать периоды техобслуживания и доработок, которые определяются исходя из годового плана эксплуатации НСР.

## 2. Достаточность ресурса НСР ПППИ.

Ресурс оценивается оставшимся допустимым временем в сутки, определяемым из эксплуатационной документации и суммарного времени проведения предыдущих сеансов.

3. Выполнение условия задействования НСР ПППИ в определенном интервале времени в течение суток (определяемом ограничениями в режиме работы НСР).

4. Отсутствие конфликтных ситуаций (КС) – одновременного задействования одной НСР разными КА с перекрытием временного диапазона СРС.

5. Требуемое время продолжительности сеанса ретрансляции (с учетом времени подготовки к сеансу) не должно превышать интервала ЗРВ.

### 3. Форма заявок

Форма заявки начинается заголовком, содержащим пять групп цифр или символов, разделенных дефисами:

XXX-YYZZ-R-NNN

1. Первая группа определяет номер формы.
2. Вторая группа определяет направление выдачи формы:
  - первые две цифры (YY) определяют адрес отправителя,
  - две последние цифры (ZZ) – адрес получателя формы.
3. Третья группа (R) определяет вид заявки:
  - R=1 – долгосрочная,
  - R=2 – оперативная,
  - R= 3 – экстренная.
4. Четвертая группа (NNN) - определяет порядковый номер отправления данной формы.

Образец типичной формы обобщенной заявки, получаемой от ЦУП космических объектов, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Типичная форма заявки от ЦУП космических объектов

XXX-YYZZ-R-NNN

Дата	Объ- ект	NCR	NCi	Виток	ГКА	АПЦИ	Время сеанса	Длительность сеанса $\Delta t$ , мин	S- диапазон	Ku- диапазон	Тип сеанса
xx.xx.xx	КА <sub>m</sub>	xx	1	-	-	-	-	xx	x	x	СРС <sub>n</sub>
			2	-	x	-	-	xx	x	x	СРС <sub>3</sub>
			3	-	x	-	-	xx	x	x	СРС <sub>3</sub>
			4	xxxxx	x	x	$t'_n \dots t'_k$	-	x	x	СРС <sub>o</sub>
			5	-	-	-	-	xx	x	x	СРС <sub>p</sub>
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Здесь NCR – номер заявки, NCi – порядковый номер сеанса ретрансляции и связи в заявке, АПЦИ – номер пункта приема целевой информации.

В S-диапазоне и Ku-диапазоне значения «x» могут быть следующими: 1 – использование двухстороннего канала связи ПППИ↔ГКА↔НКА↔ ГКА↔ПППИ, 2 – использование только обратного канала связи НКА→ГКА→ПППИ.

Длительность сеанса для  $СРС_0$  определяется временем заявленного сеанса, для других типов сеанса эта длительность может находиться или внутри заявленных временных границ или не быть привязанной к определенному времени, т. е. сеанс проводится в течение суток.

#### 4. Постановка задачи

Постановка задачи на разработку оптимального плана сеансов ретрансляции и связи формулируется следующим образом.

Управление космическими объектами (НКА и др.) осуществляется с задействованием до 3-х спутников-ретрансляторов ГКА, связь с которыми осуществляют НСР<sub>i</sub>, находящиеся на ПППИ<sub>i</sub> ( $i=1,2,3$ ).

В соответствии с полученными заявками от ЦУП НКА на задействование средств известно требуемое количество сеансов ретрансляции и связи, диапазон частот, интервалы времени задействования каналов ретрансляции каждым КА, типы сеансов ретрансляции и связи. Известны объемы остаточного ресурса НСР<sub>i</sub> на начало планируемых суток.

Требуется провести планирование распределения времени сеансов для обеспечения управления КА<sub>m</sub> и другими космическими объектами ( $m=1, \dots, M$ ) на даты  $(d+n)$ , где  $d$  – начальная дата,  $n$  – количество суток ( $n=0, \dots, N$ ), При этом должны выполняться основные требования для планирования (п. 1) и граничные условия (п. 2).

#### 5. Методика оптимального планирования сеансов ретрансляции и связи

В качестве целевой функции задачи планирования примем функционал вида

$$U=F(N^{cp}, D), \quad (1)$$

учитывающий реализацию количества запланированных сеансов ретрансляции ( $N^{cp}$ ) при учете использования ресурса  $D$  средств НСР<sub>i</sub>. При этом критерий оптимальности плана может быть представлен в виде:

$$N^{cp} \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$D=R_{\max} - R_{\min} \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\text{при } R_{\max}=\max (R_1, R_2, R_3), \quad (4)$$

$$R_{\min}=\min (R_1, R_2, R_3), \quad (5)$$

$R_i$  – остаточный ресурс НСР<sub>i</sub> ( $i=1,2,3$ ).

Таким образом, оптимальным является тот план, который учитывает максимальное количество заявленных сеансов при рациональном расходовании ресурса ПППИ.

Для решения задачи оптимального планирования сеансов ретрансляции и связи будем применять «жадный» алгоритм. В «жадном» алгоритме всегда делается выбор, который является самым лучшим в данный момент – т.е. производится локально оптимальный выбор в надежде, что он приведет к оптимальному решению глобальной задачи [2].

Для оптимальности итогового решения необходимо выполнение принципа «жадного» выбора и свойства оптимальности для подзадач.

Принцип «жадного» выбора заключается в том, что выбор на первом и последующих шагах не должен закрывать путь к оптимальному итоговому решению – т.е. задача после выбора на предыдущих шагах должна быть аналогична исходной. Кроме удовлетворения основных требований 1-2 (п.1), граничных условий 4 (п.2) для выполнения принципа «жадного» выбора необходимо распределение СРС выполнять с приоритетом сеансов.

Свойства оптимальности для подзадач в данном случае выполняется – решение всей задачи содержит в себе оптимальные решения подзадач, возникающих после «жадного» выбора на предыдущих шагах.

Для данной задачи принцип оптимальности может быть сформулирован следующим образом: на первом шаге получаем некоторое (текущее) оптимальное решение для  $КА_m$  с применением «жадного» алгоритма. Затем, при распределении сеансов для очередного  $КА_{m+1}$  оптимальное решение находится на множестве решений, «близких» к текущему. Полученное решение будет новым текущим решением. Этот процесс повторяется, пока не будут рассмотрены распределения сеансов для всех заявленных КА.

Распределение СРС конкретного  $КА_m$  выполняется в соответствии с приоритетом сеансов связи: обязательные СРС<sub>о</sub>, зависимые СРС<sub>з</sub>, независимые СРС<sub>н</sub>, резервные СРС<sub>р</sub>. При наложении сеансов СРС<sub>о</sub> приоритет отдается КА с проведением динамических операций (запуск космических объектов, коррекции орбиты и т. д.), полету по пилотируемым программам, сеансам по чрезвычайным ситуациям, съемкам поверхности Земли и др.

Рассчитываются и записываются в базу данных зоны радиовидимости с  $ГКА_i$  ( $i=1,2,3$ ) для всех заявленных космических объектов на рассматриваемый период планирования.

Планирование распределения СРС<sub>о</sub> проводится в следующем порядке:

1. Распределяются СРС<sub>о</sub> в соответствии с поступающими долгосрочными заявками.
2. Для СРС<sub>о</sub> проверяется выполнение граничных условий 1-5 (п. 2). При невыполнении какого-либо из этих условий планирование сеанса СРС<sub>о</sub> в ЦУРС отменяется (при конфликтной ситуации – с учетом приоритета). Рассматривается возможность привлечения в этом случае средств наземного комплекса управления.

Далее распределяются по суткам поступившие долгосрочные заявки на проведение сеансов  $CP_z$ ,  $CP_n$ ,  $CP_p$  для космического объекта  $KA_m(m=1, \dots, M)$ .

1. Распределение начинается с рассмотрения заявки для космического объекта, требующего большего суммарного количества этих сеансов в сутки.

2. Проверяется выполнение основных требований 1-4 (п. 1). При недостаточной продолжительности зон радиовидимости для удовлетворения поступившей заявки на сеансы ретрансляции данного космического объекта планируются дополнительные сеансы. Возможно при этом смещение сеансов  $CP_z$  и  $CP_n$  на место  $CP_p$ . При наличии возможности задействования одного из нескольких НСР выбирается НСР с наибольшим остаточным ресурсом.

3. Проверяется выполнение граничных условий 1-5 (п. 2). При невыполнении какого-либо из этих условий время соответствующего СР сдвигается или внутри рассматриваемой зоны радиовидимости или с переходом на другую ЗРВ.

После завершения распределения сеансов текущего КА проводится расчет остаточного ресурса НСР<sub>і</sub> и переход к распределению сеансов следующего КА.

Для данного варианта распределения сеансов всех КА проводится оценка целевой функции (1) и при неполном удовлетворении критерия рассматриваются новые варианты распределения сеансов. Второй вариант распределения начинается с рассмотрения заявки для  $KA_2$  – второго по суммарному количеству требуемых сеансов в рассматриваемые сутки. Третий вариант – начиная с заявки для  $KA_3$  и т. д.

При поступлении оперативной заявки новый вариант распределения сеансов начинается с этой заявки. Поступившая экстренная заявка удовлетворяется в первую очередь, при этом возможно при необходимости изменение граничных условий на задействование НСР.

Предложенная методика позволяет достаточно быстро получить практическое решение, близкое к оптимальному.

Если ни один из рассмотренных вариантов плана не удовлетворяет всех заявок КА, тогда выбирается наиболее оптимальный вариант по критерию  $\{N^{cp} \rightarrow \max, D \rightarrow \min\}$  и разрабатываются предложения о привлечении наземных средств управления для оставшихся КА.

## Выводы

1. Рассмотрена одна из основных задач Центра управления ретрансляцией и связью - планирование сеансов.

2. Предложена классификация сеансов ретрансляции и связи, сформулированы основные требования для проведения планирования, определены граничные условия.

3. Предложена методика оптимального планирования сеансов ретрансляции и связи, основанная на принятии на каждом шаге локально оптимальных решений. В качестве целевой функции задачи планирования принимается функционал, учитывающий реализацию количества запланированных сеансов при учете остаточного ресурса средств наземных станций ретрансляции (НСР). Критерием оптимальности плана является наибольшее количество сеансов при рациональном использовании ресурса НСР.

### **Библиографический список**

1. Ногов О.А., Соколов Н.Л. Центр управления ретрансляцией и связью.- Космонавтика и ракетостроение, 2010, вып. 4(61), с. 110-117.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. М.: 2005, 1296 с.