

**Белоконов И.В., Козлов И.В.**

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ САМАРСКОГО ЦЕНТРА ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ**

В настоящее время рынок космических услуг по проведению научных и технологических экспериментов в условиях микрогравитации представлен специализированными автоматическими космическими аппаратами (КА), например, в России это уникальные КА типа «Фотон/Бион», производящиеся фактически серийно; пилотируемые КА (в России КА «Союз», в США - Space Shuttle), международной космической станцией.

Сравнительный анализ возможностей перечисленных космических средств можно выполнить, используя набор следующих показателей [1]:

- уровень микрогравитации, который является основным показателем качества проведения экспериментов в условиях космического пространства;
- коммерческая стоимость размещения 1 кг полезной нагрузки на борту КА;
- возможность оперативной доставки результатов экспериментов сразу после их завершения;
- сервис проведения экспериментов, под которым подразумевается возможность контроля и управления ходом проведения экспериментов;
- продолжительность проведения экспериментов;
- ограничения на вид проводимых экспериментов (для биологических экспериментов на млекопитающих невозможно проводить эксперименты на пилотируемых космических объектах в виду трудности поддержания комфортного для человека состава атмосферы).

На рис.1 показан многоугольник конкурентоспособности перечисленных выше космических средств. Его анализ позволяет сделать вывод, что КА «Фотон» по большинству показателей опережает конкурирующие с ним космические средства, но проигрывает в возможности контроля и управления экспериментами. Последнее является весьма важным, так как позволяет снизить вероятность появления неплановых режимов проведения экспериментов, что в свою очередь имеет опосредствованный экономический эффект. В настоящее время со

стороны постановщиков экспериментов демонстрируется желание увеличить количество экспериментов, ход которых можно оперативно контролировать.

Примером реализации такой услуги является установка системы «Телесайенс» на КА «Фотон», которая расширяет сервисные возможности по работе с научной аппаратурой во время орбитального полета, обеспечивая передачу информации о ее функционировании и ходе экспериментов непосредственно на Европейские региональные пункты приема информации. Первые летные испытания системы «Телесайенс» были успешно проведены на КА «Фотон-12» в сентябре 1999 г. [2].

Аппаратура «Телесайенс» использовалась совместно с аппаратурой «Флюидпак», предназначенной для проведения исследований в области физики жидкостей в условиях микрогравитации. Она обеспечивала как возможность передачи на Землю научной информации (включая видеоизображения), так и передачу новых параметров по управлению экспериментами на борт КА. Наземная станция в г. Кируна (северная Швеция) использовалась для связи с КА «Фотон». Научная информация анализировалась представителями заказчиков экспериментов, которые находились в центре управления полетами Европейского космического агентства (ЕКА). Вся информация передавалась по сети ИНТЕРНЕТ в основные европейские центры и университеты, являющиеся непосредственными постановщиками экспериментов, что расширяло возможности управления ходом экспериментов в нестандартных ситуациях.

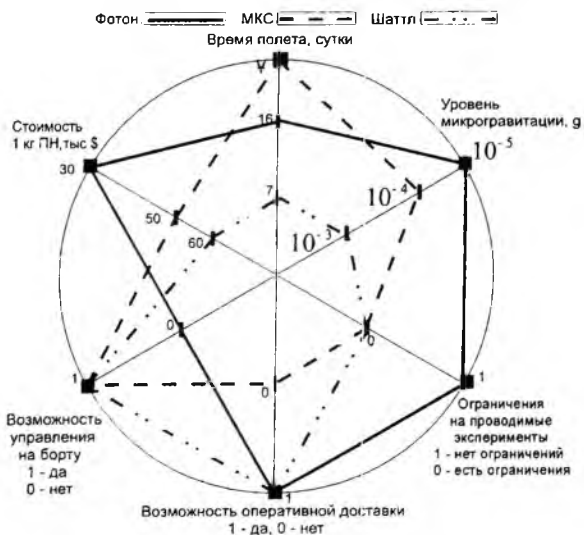


Рисунок 1

За счет совершенствования специализированной телекоммуникационной поддержки, базирующейся как на наземных, так и на спутниковых информационных сетях и современном программном обеспечении, эти преимущества могут быть существенно увеличены.

Одним из возможных направлений этого развития является создание собственного сегмента информационной сети на базе Самарского центра приема и передачи информации (ППИ) из космоса, принадлежащего ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», который, будучи подключенным к уже имеющимся информационным сетям, позволит успешно решать проблемы, возникающие при разработке и реализации международных проектов, в том числе обеспечение телекоммуникационной поддержки российских и зарубежных экспериментов на модернизированных КА типа «Фотон-М».

Показатели по оперативности и производительности обмена научной информацией до и во время полета КА «Фотон-М» могут быть значительно увеличены, если использовать имеющийся широкополосный спутниковый канал, который через спутник SESAT позволит поддерживать устойчивую связь непосредственно с европейскими научными центрами.

Для оценки обоснования использования Самарского центра ППИ в структуре управления космическими экспериментами необходимо использовать количественные оценки, позволяющие описывать эффективность его применения. Для этого предлагается использовать энтропию результатов проведения эксперимента как меры степени неопределенности его состояний

Процесс управления экспериментами не может быть полностью изучен, если не определены его информационные характеристики. Особенно это относится к изучению сложных систем управления, имеющих дело с большим объемом информации о состоянии процесса управления, что наблюдается в рассматриваемом случае [3].

Примем, что контролируемый случайный процесс имеет нормальный закон распределения

Доказано, что энтропия непрерывного процесса  $X$  с заданным среднеквадратическим отклонением (СКО) его случайной координаты  $\sigma_x$  максимальна при нормальном законе распределения [4]. Тогда выражение для энтропии можно представить в следующем виде:

$$H(X) = -M \left\{ \log \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(X - m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \right] \right\} = \log \sigma_x \sqrt{2\pi e} \quad (1)$$

КА «Фотон» в течение полета неоднократно проходит над наземными пунктами приема-передачи информации. Во время каждого сеанса связи может осуществляться передача на Землю информации о ходе эксперимента. В результате этого происходит снижение степени неопределенности (энтропии) о проведении экспериментов.

Энтропия процесса проведения эксперимента исчисляется в битах информации [4]

Темп нарастания энтропии определяется условиями проведения эксперимента, объемом накапливаемой информации, а также вероятностными характеристиками (дисперсией). На значение последней оказывает влияние процедура контроля за ходом проведения эксперимента, в том числе квалификация привлекаемого к оперативному управлению научного персонала. Дисперсия определяет наклон возрастания энтропии, на который можно влиять за счет управленческих решений, принимаемых на основании анализа процесса протекания эксперимента. Суммируя энтропию по всем экспериментам, можно найти общую энтропию, характеризующую в целом эффективность организации экспериментов на КА.

На основании вышесказанного принимается следующая модель оценки изменения энтропии:

1) за время полета между соседними сеансами связи энтропия эксперимента считается пропорциональной времени

$$\Delta H^+ = \frac{\Delta t}{\omega} \log_2 (\sigma_x^+ \sqrt{2\pi e}), \quad (2)$$

где  $\Delta H^+$  - величина нарастания энтропии за интервал времени  $\Delta t$  ( $\Delta t$  - интервал полета между предыдущим и последующим моментом передачи информации),  $\omega$  - частота запоминания информации об эксперименте (1 Гц/сек),  $\sigma_x^+$  - величина СКО после анализа эксперимента и выработки управленческого решения на Земле;

2) оценку снижения энтропии при передаче информации на Землю во время пролета станции ППИ можно произвести по формуле [4]

$$\Delta H^- = \Omega \log_2 (1 + w) \cdot \Delta t_{\text{пн}}, \quad (3)$$

где  $\Delta H^-$  - величина снижения энтропии, обусловленная передачей телеметрической информации,  $\Omega$  - полоса частот приемного оборудования станции ППИ,  $w$  - отношение мощности полезного сигнала к шуму;  $\Delta t_{\text{пн}}$  - время прохождения КА в зоне видимости станции ППИ;

3) процедура анализа информации и принятия решения на Земле о коррекции проведения эксперимента влияет на дисперсию контролируемого процесса, причем для простоты принимается линейный закон ее изменения в зависимости от объема поступившей информации (эквивалентной величине уменьшения энтропии)

$$\sigma_x^+ = \sigma_x^- K \Delta H^- \quad (4)$$

где  $\sigma_x^+$  - значение СКО после анализа информации о ходе проведения эксперимента и выработки управленческого решения;  $\sigma_x^-$  - величина СКО до принятия информации с КА;  $K$  - эмпирический коэффициент, учитывающий объем информации и квалификацию специалистов наземного центра управления космическими экспериментами;  $\Delta H^-$  - величина снижения энтропии в результате проведения сеанса связи.

Сравнительный анализ эффективности возможных схем организации контроля и управления экспериментами проведен по следующим критериям:

- максимальный достигнутый уровень энтропии к текущему моменту времени  $I_{\max}$  (этот показатель важен для оперативного контроля за ходом проведения эксперимента в реальном масштабе времени и характеризует текущее качество процесса оперативного управления научными экспериментами);

- интегральная накопленная величина энтропии на всем интервале полета  $I_{\Sigma}$  (этот критерий позволяет оценить качество информации об эксперименте за все время полета КА, что важно при послеполетной обработке информации).

Для того, чтобы оценить эффективность процесса контроля и управления экспериментами при использовании станций ППИ были рассмотрены две схемы его организации.

Схема № 1: привлекается станция ППИ под Москвой для приема и передачи служебной информации, а также станция ППИ ЕКА в г. Кируна для приема и передача научной информации (базовый вариант)

Схема № 2: в дополнение к схеме №1 привлекается Самарский центр приема информации из космоса только для приема научной информации (предлагаемый вариант).

На рис. 2, 3, соответственно, показаны для примера циклограммы размещения сеансов связи для передачи научной информации по схемам 1 и 2 на одних сутках полета.

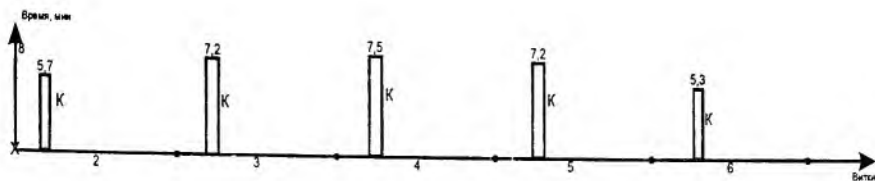


Рисунок 2

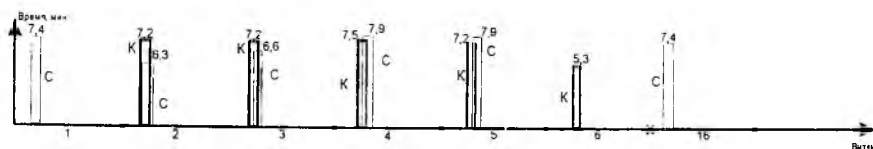


Рисунок 3

В табл.1 приведены максимальные достигаемые значения энтропии (абсолютные и в процентах) для рассматриваемых схем; в табл.2 - интегральные значения энтропии.

Таблица 1. Максимальное значение энтропии на всем интервале полета

Номер схемы контроля	Привлекаемые центры	Максимальные значения энтропии, бит	Процентное соотношение
1 вариант	Москва+Кируна	$1,98 \cdot 10^5$	100
2 вариант	Москва + Кируна + Самара	$1,67 \cdot 10^5$	84

Таблица 2. Интегральное значение энтропии на всем интервале полета

Номер схемы контроля	Привлекаемые центры	Интегральные значения энтропии, бит сек	Процентное соотношение
1 вариант	Москва+Кируна	$12,8 \cdot 10^9$	100
2 вариант	Москва+Кируна+ Самара	$4,6 \cdot 10^9$	35

Следовательно, в случае принятия организационно-технического решения об использовании Самарского центра приема информации из космоса для сопровождения научных

экспериментов на КА «Фотон», уровень максимального значения энтропии может быть снижен на 16 %, а интегральное значение энтропии – снижено на 65 %. Кроме того, повышается надежность получения информации за счет частичного перекрытия зон приема информации.

Таким образом, для повышения эффективности процесса контроля и управления научными экспериментами целесообразно выполнить модернизацию Самарского центра приема информации из космоса за счет придания ему функции приема информации с научной аппаратуры заказчика экспериментов - ЕКА. Кроме того, для обеспечения оперативной передачи заказчику информации о ходе проведения экспериментов необходимо дооснастить Самарский центр высокоскоростным спутниковым ИНТЕРНЕТ - каналом.

Предлагаемые организационно-технические мероприятия позволят значительно повысить привлекательность услуг, предлагаемых на КА «Фотон» при проведении сложных научных экспериментов, требующих контроля и управления в режиме, близком к реальному времени

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гришин С. Д., Лесков Л. В., Савичев В. В. Космическая технология и производство // М.: Знание, 1988, № 4.
2. Питер Э., Бо Е. Логика управления аппаратурой «Телесайенс». //Шведская космическая корпорация, 2001.
3. Росин М. Ф. Надежность и эффективность систем управления. М.: Типография МАИ, 1969.
4. Смирнов Г. Д. Управление космическими аппаратами. // М. Наука, 2001.