

УДК 528.8

В. И. Волошин<sup>1</sup>, Е. И. Капустин<sup>1</sup>, А. И. Кириллов<sup>1</sup>,  
Н. А. Кириллова<sup>1</sup>, С. О. Засуха<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

<sup>2</sup>Національне космічне агентство України, Київ

## Информационные технологии в управлении работой полезной нагрузки космических аппаратов по дистанционному зондированию Земли

Надійшла до редакції 10.01.05

Розглядається створення системи керування потоками заявок на одержання космічної інформації в Україні. Система заснована на експлуатації супутників з можливістю керування роботою систем космічних апаратів для упорядкування виконання замовлень із ДЗЗ.

Основным назначением создаваемых космических систем дистанционного зондирования Земли является обеспечение данными ДЗЗ субъектов производственно-хозяйственной, научной и управленческой деятельности государственного, регионального и местного уровней, связанных с защитой и контролем окружающей природной среды, рациональным использованием природных ресурсов.

Реализация цели обеспечения потребителей данными предполагает наличие в системе ДЗЗ структурных элементов управления реализацией потока заявок.

Согласно опыту эксплуатации космических систем «Січ-1» и «Океан-О» можно констатировать отсутствие в данных системах элементов управления процессом реализации заявок на космическую съемку, а именно:

- отсутствовала приоритетность реализации заявок;
- информация обратной связи о планах реализации заявок не предоставлялась структуре НСК, формирующей сводные заявки на съемку;
- план работы полезной нагрузки КА составлялся без учета требуемой периодичности съемки, учета ранее отснятых районов, прогноза облачности в районах съемки.

На основании опыта эксплуатации космических систем «Січ-1» и «Океан-О», ГП «Днепрокосмос» сформировал концепцию включения в состав космических систем ДЗЗ «Оператора системы», осуществляющего управление работой наземного специального комплекса (НСК) по реализации космической системой своего целевого назначения. Принципы создания системы управления НСК по реализации заявок потребителей ГП «Днепрокосмос» были изложены в аванпроекте на создание НСК космических систем «Січ-2», а в материалах дополнения к эскизному проекту на космическую систему «Січ-1М» разработаны проектные решения по реализации этой системы с применением современных информационных технологий.

В настоящее время впервые в технологии планирования проведения космических съемок в отечественных космических системах ДЗЗ создана автоматизированная двухуровневая система управления работой полезной нагрузки КА по реализации заявок потребителей на получение данных ДЗЗ.

Как в любой системе управления, технология управления работой полезной нагрузки КА по реализации заявок потребителей на получение данных ДЗЗ должна носить замкнутый характер и регулироваться по принципу обратной связи. Базой, обес-

печивающей жизнедеятельность системы, являются информационные массивы данных (файлы обмена информацией в согласованной структуре и форме), циркулирующие между составными элементами системы по установленному технологическому графику.

В технологии управления работой полезной нагрузки КА по съемке заданных районов поверхности Земли можно выделить два уровня.

Первый уровень: управление работой НСК по реализации заявок потребителей на предоставление данных ДЗЗ. Задачей управления на этом уровне является определение (без учета динамических параметров КА и окружающей среды) плана управления (ПУ) работой полезной нагрузки КА:

$$\begin{aligned} \text{ПУ}(t_i, \mathbf{R}_{ij}, \Delta t_{ij}) = \\ = F_1(t_H, \mathbf{r}, \mathbf{V}_H, \mathcal{Z}_i, f_i, S_i(t_i), t_K), \end{aligned}$$

где  $t_i$  — время включения совокупности необходимых режимов работы приборов полезной нагрузки КА в момент прохождения  $i$ -го района съемки,  $\mathbf{R}_{ij}$  — вектор ресурсных ограничений КА,  $\Delta t_{ij}$  — длительность работы  $j$ -го прибора в момент прохождения  $i$ -го района съемки,  $F_1(\dots)$  — оператор преобразования данных исходного состояния КА, параметров заявки на съемку и солнечной обстановки в  $i$ -м районе съемки на момент съемки  $t_i$ ,  $t_H$ ,  $t_K$  — время начала и окончания интервала планирования,  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{V}_H$  — векторы кинематических параметров КА на начало интервала планирования,  $\mathcal{Z}_i$ ,  $f_i$  — совокупность параметров  $i$ -й заявки на съемку,  $S_i(t_i)$  — уровень освещенности в момент прохождения КА над  $i$ -м районом.

Второй уровень: управление работой полезной нагрузки КА по проведению съемок заданных районов. Задачей управления на этом уровне является определение на интервале 12—36 ч плана управления работой полезной нагрузки КА с учетом всех существенных динамических параметров и ограничений КА. Фактически управление на этом уровне заключается в расчете квазиоптимального оперативного плана (ОП) работы полезной нагрузки КА.

$$\begin{aligned} \text{ОП}(t_i, \mathbf{R}_{ij}, \Delta t_{ij}) = \\ = F_2(\text{ПУ}, \mathbf{PO}, \text{ДП}(t_i), \text{УО}(t_i), t_{HO}, t_{KO}), \end{aligned}$$

где  $\mathbf{PO}$  — вектор ресурсных ограничений КА,  $\text{ДП}(t_i)$  — вектор динамических ограничений КА,  $\text{УО}(t_i)$  — уровень облачности над  $i$ -м районом в момент проведения съемки  $t_i$ ,  $t_{HO}$ ,  $t_{KO}$  — начало и окончание интервала оперативного планирования.

Функция прогноза облачности в районах съемки при расчете оперативных планов работы ПН КА введена впервые в практику эксплуатации отечест-

венных космических систем ДЗЗ. Как показывает статистика, вероятность съемки территории Украины в безоблачных условиях на 16-суточном цикле работы на орбите одного КА составляет примерно 15 %, двух КА — до 25 %, трех КА — до 50 %. Комплекс прогноза облачности в районах съемки, разработанный в настоящее время, позволяет с вероятностью 0.86 оценивать на суточном интервале планирования состояние облачного покрова в предполагаемых районах съемки на заданное время. Применение на втором уровне управления комплекса прогноза облачности повысит примерно на 40 % эффективность использования приборов ПН КА (особенно высокого разрешения).

Основными технологическими операциями на первом уровне управления являются:

- анализ поступающих в систему заявок на съемку, назначение приоритетов в реализации заявок;
- расчет вариантов возможной реализации заявок (координационный план) с учетом заданной периодичности съемки и съемки больших площадей поверхности Земли (площадные заявки, реализация которых осуществляется в несколько проходов КА над районом съемки);
- обработка информации обратной связи в системе;
- ведение заявок по циклу их реализации;
- учет фактически израсходованного ресурса полезной нагрузки КА;
- ведение каталога отснятых районов.

Основными технологическими операциями на втором уровне управления являются:

- расчет оперативных планов работы полезной нагрузки КА по съемке заданных районов поверхности Земли с учетом прогноза облачности в этих районах;
- расчет планов работы пунктов приема информации (ППИ) по приему данных ДЗЗ.

Уровни управления информационно взаимосвязаны между собой. Выходная информация первого уровня является управляющим воздействием для задач второго уровня, а выходная информация второго уровня является обратной связью для задач первого уровня.

В контур управления полезной нагрузкой КА включены следующие элементы НСК космических систем:

- Внешние абоненты космических систем (потребители данных ДЗЗ) — формирующие входной информационный поток в систему — заявки на получение данных ДЗЗ от КА.
- Операторский центр — реализующий функции управления первого уровня в системе.
- Центр оперативного планирования — реализующий функции управления второго уровня в системе.



Двухуровневая система управления работой НСК космических систем по реализации заявок потребителей на получение данных ДЗЗ

- Главный центр приема и обработки данных — формирующий информационные потоки обратной связи в системе.

Двухуровневая система управления полезной нагрузкой КА реализована ГП «Днепрокосмос» в НСК космических систем «Сич-1М» и «Микроспутник» в виде двух программных изделий (ПИ):

- программное изделие «Координационный план» — функционирует в Операторском центре НСК космических систем и осуществляет управление элементами НСК по реализации заявок потребителей на получение данных ДЗЗ (первый уровень управления);
- программное изделие «Оперативное планирование работы полезной нагрузкой КА» — функционирует в Центре оперативного планирования НСК космических систем и осуществляет управление полезной нагрузкой КА по проведению съемок заданных районов поверхности Земли (второй уровень управления).

Программные изделия разработаны с применением средств программирования Delphi и оформлены

как программные приложения, функционирующие в операционной среде Windows 2000 Pro. Входящие в состав приложений программные компоненты информационно связаны единой базой данных (БД), содержащей необходимую нормативно-справочную (статические и динамические параметры и ограничения в системе) и расчетную информацию.

Применение информационных технологий в системе позволило решить основные проблемы, имеющих место в планировании съемки приборами КА:

- определение вариантов реализации съемки больших площадей с минимальным перекрытием полос захвата приборов при съемке

$$\sum_{i=1}^n S_i(t_i)/S_i \Rightarrow \min$$

при условии

$$S_i(t_i) \geq S_i - \varepsilon_i,$$

где  $S_i(t_i)$  — площадь съемки в  $i$ -м сеансе,  $S_i$  — общая площадь района съемки,  $\varepsilon_i$  — допустимая погрешность покрытия;

- определение процента отснятой площади при разо-



- вом проходе над районом поверхности Земли;
- определение динамических приоритетов заявок с учетом ранее проведенных съемок;

$$\text{Пр}_k(t_i) = F_3(q_k, t_{0k} - t_i),$$

где  $\text{Пр}_k(t_i)$  — приоритет  $k$ -й заявки в момент времени  $t_i$ ,  $q_k$  — коэффициент важности  $k$ -й заявки;  $t_{0k}$  — конечный срок реализации  $k$ -й заявки;

- идентификация заявок на различных стадиях их реализации;
- определение оптимальных углов прицеливания приборов с целью захвата максимальной площади при съемке заданного района или реализации требования потребителя по необходимости разрешению изображения.

Входной информацией ПИ «Координационный план» являются заявки потребителей на получение данных ДЗЗ, содержащие основные условия проведения космической съемки, задаваемые потребителем: период наблюдения, координаты района, периодичность съемки, прибор съемки и необходимое разрешение, уровень обработки данных ДЗЗ и т. п. В программном изделии реализуются функции первого уровня управления:

1) при вводе в БД заявок на съемку в БД им присваивается персональный код, по которому в дальнейшем осуществляется ведение заявки по циклу реализации. Каждый район съемки автоматически покрывается координатной сеткой (с шагом, равным 0.1 ширины полосы захвата заданного прибора) по «узлам» которой оценивается площадь отснятого района и степень реализации заявки.

2) при расчете координационного плана (на 7—10 сут) определяются все возможные варианты реализации заявок с учетом заданной периодичности съемки или необходимости многократного прохода КА над районом для съемки большой площади. К персональному коду заявки добавляется информация о количестве проведения съемок (номер реализации) для полного выполнения заявки.

3) при вводе в БД информации обратной связи в системе (планов работы ППИ, информации о принятых ППИ данных ДЗЗ, данных о наработке приборов) производится отметка о реализации заявок, данные о съемке заносятся в каталог отснятых районов, учитывается соблюдение паритета использования ресурса КА по межправительственным соглашениям.

Используя информацию БД, по каждой заявке в любой момент времени можно получить информацию о ее нахождении в цикле реализации, а в случае периодичности съемки или съемки района большой площади — процент реализации заявки.

Входной информацией ПИ «Оперативное планирование работы полезной нагрузки КА» является

координационный план реализации заявок. В программном изделии реализуются функции второго уровня управления:

1) при расчете оперативного плана (на 1-3 сут) полезной нагрузки КА по съемке заданных координатным планом районов учитываются: прогноз облачности в районах съемки, статические и динамические ограничения по КА и приборам полезной нагрузки (энергопотребление, временные параметры работы приборов и т. п.). При расчете оперативного плана работает система динамических приоритетов, учитывающая: приоритет заявки по координационному плану (экстренная, государственная, коммерческая, научная, спонсорская), количество заявок реализуемых при однократном включении прибора, процент покрытия площади за один проход. Кроме этого система динамических приоритетов отслеживает реализацию заявок на интервале действия координационного плана;

2) при расчете плана работы ППИ определяются: время работы наземной станции приема, данные о режимах работы бортовой аппаратуры при съемке районов, данные по заявкам, реализуемым в данном сеансе воспроизведения данных ДЗЗ. План работы ППИ направляется:

- в операторский центр, где после ввода его в БД ПИ содержащиеся в нем заявки становятся в ожидание отметки их реализации;
- на пункт приема информации для обеспечения приема данных ДЗЗ, анализа качества принятой информации и составления отчета о реализации заявок. Отчет о реализации заявок направляется в операторский центр, где после ввода его в ПИ производится отметка о реализации заявок.

Приведенные выше программные изделия прошли все виды испытаний и установлены в структурных элементах НСК космических систем — операторском центре и в центре оперативного планирования.

Практическая отработка двухуровневой системы управления работой НСК по реализации заявок потребителей данных ДЗЗ ГП «Днепрокосмос» проведена на контрольном примере заявок, составленных на базе украинской части научно-прикладной программы использования данных КА «Січ-1М».

#### INFORMATION TECHNOLOGIES IN CONTROL OF SPACECRAFT PAYLOAD WORK ON REMOTE SENSING OF THE EARTH

*V. I. Voloshyn, Ye. I. Kapustin, O. I. Kirillov, N. A. Kirillova, S. O. Zasukha*

Development of system for management of request streams for reception of space information in Ukraine is considered. The system is based on control of spacecraft work to straighten out the execution of remote sensing orders.