

<https://doi.org/10.15407/knit2020.01.030>
УДК 629.783:004.4

В. В. ЛЯШЕНКО, инж.-программист,
E-mail: info@yuzhnoye.com
Л. В. ЯЦУН, нач. группы
Е. Д. ЯРМОЛЬЧУК, вед. инж.-программист

ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»
ул. Криворожская 3, Днепро, Украина, 49008

ПЛАНИРОВАНИЕ СЪЕМКИ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ «СІЧ-2М»

Планирование съемки — неотъемлемая функция наземных сегментов всех известных космических систем дистанционного зондирования Земли. Для выполнения этой функции, как правило, разрабатывается специальное программное обеспечение. В настоящее время Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» в кооперации создает космическую систему дистанционного зондирования Земли высокого разрешения «Січ-2М». Для планирования съемки космического аппарата «Січ-2М» разработано специальное программное обеспечения формирования координационного плана, входящее в состав программно-технического комплекса «Координационный план» наземного сегмента.

Рассмотрены функции, структура, интерфейс специального программного обеспечения. Детально рассмотрен базовый алгоритм планирования стереоскопической съемки, выполняемой с одного витка участка земной поверхности путем уклонения космического аппарата вперед и назад. В процессе разработки специальное программное обеспечение прошло тестирование и отладку, выпущен комплект программной документации. В настоящий момент специальное программное обеспечение готово к проведению функциональных испытаний. Разработанные алгоритмы могут быть использованы для планирования съемки космического аппарата дистанционного зондирования Земли других типов.

Ключевые слова: планирование съемки, стереоскопическая съемка.

Исходные положения. В настоящее время Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» совместно с кооперацией создает космическую систему «Січ-2М», которая предназначена для дистанционного зондирования Земли.

В состав полезной нагрузки КА «Січ-2М» входят:

- сканер высокой разрешающей способности;
- сканер дальнего инфракрасного диапазона;
- многозональное сканирующее устройство модернизированное.

Планирование проведения съемки осуществляется наземным информационным комплексом (НИК) на основании сводных заявок потребителей, которые формируются Оператором космической системы дистанционного зондирования Земли. На основании поданных сводных заявок на съемку формируются координационные планы работы полезной нагрузки КА. Планы создаются с учетом прогноза движения на период планирования.

Сформированные координационные планы передаются в Центр управления полетом (ЦУП).

Цитування: Ляшенко В. В., Яцун Л. В., Ярмольчук Е. Д. Планирование съемки космическим аппаратом «Січ-2М». *Космічна наука і технологія*. 2020. 26, № 1 (122). С. 30—36. <https://doi.org/10.15407/knit2020.01.030>

На основе координационного плана в ЦУП формируется командно-программная информация. Эта информация передается на борт КА наземной станцией. В результате отработки космическим аппаратом командно-программной информации реализуются запланированные сеансы съемки. Результаты съемки передаются с борта КА бортовой аппаратурой скоростной радиолинии X-диапазона. Прием информации с КА осуществляется наземными станциями приема данных НИК.

С целью обеспечения планирования съемки космическим аппаратом «Січ-2М» создается специальное программное обеспечение формирования координационного плана (СПО ФКП), которое входит в состав программно-технического комплекса «Координационный план» НИК.

Специальное программное обеспечение формирования координационного плана осуществляет работу в следующих режимах:

- режим формирования координационного плана;

- режим работы с базой данных.

В режиме формирования координационного плана СПО ФКП выполняет следующие функции:

- ввод файла прогноза трассы;
- ввод файла сводной заявки на съемку;
- отображение на экране сводной заявки на съемку в виде таблицы;

- проверка корректности значений реквизитов заявок и соответствия временному интервалу планирования;

- формирование информации о корректности сводной заявки;

- отображение трассы КА, границ зон обзора и контуров участков, подлежащих съемке, на экране на фоне карты мира;

- формирование файла координационного плана;

- формирование файла информации о координационном плане;

- формирование файла списка возможных сеансов съемки.

В режиме работы с базой данных полученных и реализованных заявок на съемку СПО ФКП обеспечивает:

- ввод сводной заявки;
- ввод координационного плана (КП);
- ввод файла сеансов съемки космического аппарата;

- ввод файла информации о выполнении заявок на съемку;

- формирование запросов к базе данных и получение информации о поданных заявках на съемку, планировании и выполнении съемки в течение заданного интервала времени;

- формирование файла информации о заявках на съемку.

Состав специального программного обеспечения формирования координационного плана. СПО ФКП включает совокупность модулей, последовательность выполнения которых происходит в соответствии с логикой работы программы и командами оператора.

В состав СПО ФКП входят следующие модули:

- главный модуль ввода-вывода данных, проверки корректности входных данных, формирования файлов КП и файлов возможных сеансов съемки;

- модуль планирования трассовой съемки и общих подпрограмм;

- модуль планирования стереоскопической съемки;

- модуль планирования площадной съемки двух участков;

- модуль планирования площадной съемки трех участков;

- модуль отображения сводной заявки в табличном виде;

- модуль взаимодействия с базой данных полученных и реализованных заявок;

- модуль графического представления данных на карте.

Одной из особенностей КА «Січ-2М» по сравнению с КА «Січ-2» является существенное улучшение динамических характеристик. В этой связи появляется возможность выполнения большего объема стереоскопической и площадной съемки в заданный интервал времени.

Ниже рассмотрен разработанный базовый алгоритм стереоскопической съемки.

Алгоритм планирования стереоскопической съемки. Принцип стереоскопической съемки

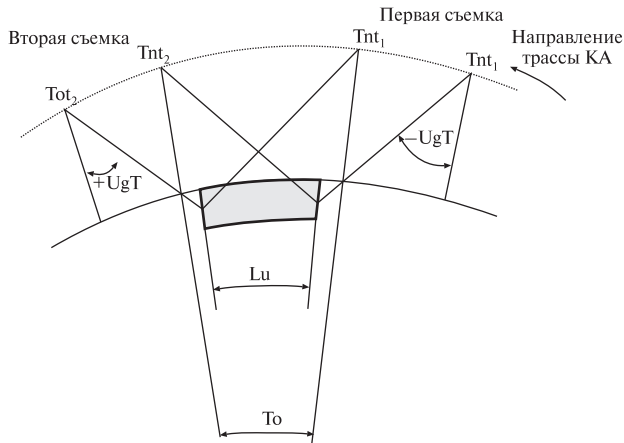


Рис. 1. Схема стереоскопической съемки

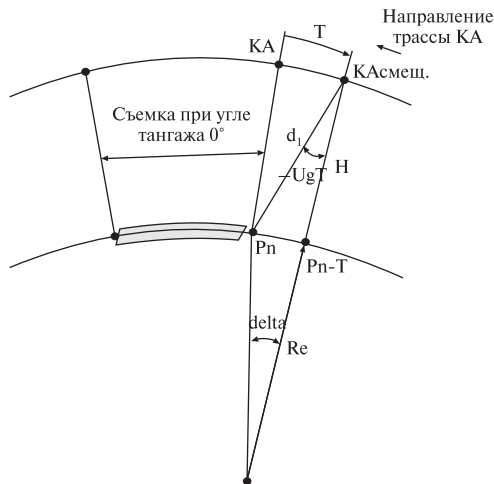


Рис. 2. Схема смещения положения космического аппарата

состоит в последовательном получении на одном витке орбиты изображений одного и того же участка поверхности Земли под разными углами. На рис. 1 изображена схема стереоскопической съемки.

На рис. 1 обозначено:

$Tnt1$ — положение КА в момент времени, соответствующий съемке первой строки первого изображения (положение КА, соответствующее началу съемки первого изображения);

$Tot1$ — положение КА в момент времени, соответствующий съемке последней строки первого изображения;

$Tnt2$ — положение КА в момент времени, соответствующий съемке первой строки второго изображения;

$Tot2$ — положение КА в момент времени, соответствующий съемке последней строки второго изображения;

To — интервал времени переориентации между съемками;

Lu — длина снимаемого участка;

UgT — угол тангажа КА.

Этапы планирования стереоскопической съемки:

- ввод исходных данных: задание максимально допустимого угла тангажа КА при стереосъемке, зависимость времени переориентации от угла поворота КА, ввод координат участка стереоскопической съемки и трассы КА;

- расчет угла крена КА, времени начала и окончания съемки в условии нулевого угла тангажа с использованием алгоритма планирования трассовой съемки (в данной статье не приводится);

- расчет угла тангажа КА при циклическом задании величины смещения по времени T положения КА относительно времени начала съемки в условиях нулевого угла тангажа в направлении, противоположном полету КА (рис. 2); приращение величины смещения положения КА продолжается до тех пор, пока не будет обеспечено выполнение съемки двух изображений при ограничении по максимально допустимому модулю угла тангажа КА. После этого текущие расчетные значения параметров съемки считаются выбранными.

Алгоритм планирования стереоскопической съемки.

1. Ввод исходных данных.

2. Расчет моментов времени начала и окончания съемки и угла крена КА с использованием алгоритма планирования трассовой съемки.

3. Задание величины смещения по времени T положения КА начиная с первой секунды относительно точки Pn (соответствующей моменту начала съемки в условии нулевого угла тангажа) в направлении, противоположном полету КА (рис. 2).

4. Расчет времени начала съемки первого изображения $Tnt1$

$$T_{nt1} = T_{nk1} - T,$$

где T_{nk1} — время начала съемки строки участка в условии нулевого угла тангажа.

5. Расчет угла тангажа КА UgT в смещенном положении КАсмещ. (рис. 2)

$$UgT = \arcsin(Re/d_1 \cdot \sin(\delta)),$$

$$\delta = \arccos(\cos(\pi/2 - \varphi_1) \cdot \cos(\pi/2 - \varphi_2) + \sin(\pi/2 - \varphi_1) \cdot \sin(\pi/2 - \varphi_2) \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)),$$

где δ — угловое расстояние между точками 1 и 2 (рис. 3), Re — радиус Земли, соответствующий широте подспутниковой точки; d_1 — расстояние между центром масс КА и центром снимаемого участка; φ_1, λ_1 — широта и долгота точки 1; φ_2, λ_2 — широта и долгота точки 2; G — Гринвичский меридиан.

6. Сравнение угла тангажа UgT с максимально допустимым модулем угла тангажа КА UgT_{max} .

Если модуль угла тангажа больше максимально допустимого, то проведение стереоскопической съемки невозможно; формируется сообщение оператору.

7. Расчет времени T_0 (UgT) переориентации КА (рис. 1) из положения, соответствующего концу съемки первого изображения в положение, соответствующее началу съемки второго изображения.

8. Расчет времени окончания съемки первого изображения T_{ot1}

$$T_{ot1} = T_{ok1} - T,$$

где T_{ok1} — время окончания съемки участка в условии нулевого угла тангажа.

9. Расчет минимально возможного времени начала съемки второго изображения.

$$T_{min s2} = T_{ot1} + T_0.$$

10. Расчет времени начала второй съемки T_{nt2} с углом тангажа UgT

$$T_{nt2} = T_{nk1} + T,$$

где T_{nk1} — время начала съемки первого участка в условии нулевого угла тангажа.

11. Приращение величины смещения по времени T

$$T = T + 1.$$



Рис. 3. Угловое расстояние delta между точками 1 и 2



Рис. 4. Интерфейс ввода файла прогноза трассы космического аппарата

12. Сравнение расчетного времени начала второй съемки T_{nt2} с минимально возможным временем начала второй съемки $T_{min s2}$.

Если расчетное время начала съемки второго изображения больше T_{nt2} или равно минимально возможному времени начала съемки второго изображения $T_{min s2}$, то съемка второго изображения невозможна, и осуществляется переход к выполнению п. 4.

13. Расчет времени окончания съемки второго изображения T_{ot2}

$$T_{ot2} = T_{nt2} + T_{ok1} - T_{nk1}.$$

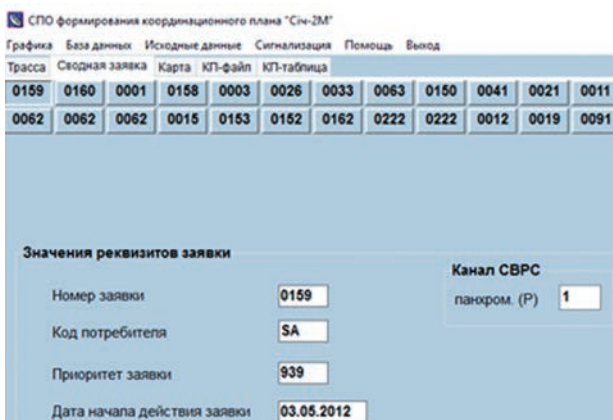


Рис. 5. Интерфейс ввода и отображения сводной заявки

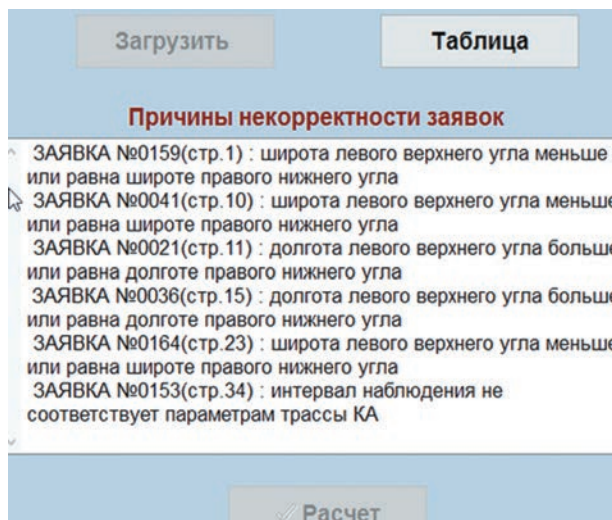


Рис. 6. Интерфейс отображения причин некорректности заявок

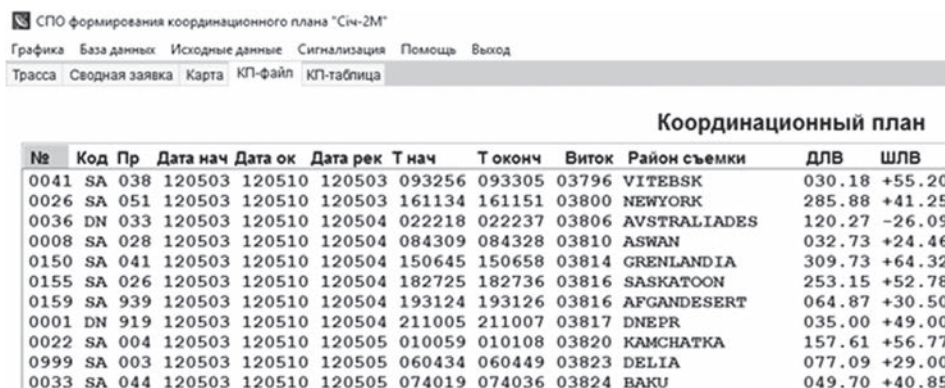


Рис. 7. Интерфейс отображения координационного плана



Рис. 8. Интерфейс статистической информации о координационном плане

14. Формируются выходные данные алгоритма:

- время начала Tnt1 и окончания Tot1 первой съемки;
- углы крена UgK и тангажа UgT КА при съемке;
- время начала Tnt2 и окончания Tot2 второй съемки.

Интерфейс специального программного обеспечения формирования координационного плана. На рис. 4 приведен интерфейс ввода и отображения файла прогноза трассы. На рис. 5 приведен интерфейс ввода и отображения сводной заявки. В случае наличия некорректных значений реквизитов сводной заявки:

- выделяются цветом закладки, содержащие некорректные значения реквизитов;
- отображаются причины некорректности заявок (рис. 6);
- расчет блокируется.

При корректности всех значений реквизитов сводной заявки программа дает возможность перейти к расчету координационного плана. Расчет КП выполняется в автоматизированном режиме.

В результате расчета формируется и отображается координационный план работы полезной нагрузки (рис. 7). Каждая строка координацион-

ного плана содержит информацию о реализации конкретной заявки:

- номер реализованной заявки;
- рекомендуемое время и дата съемки участка;
- расчетные углы Солнца, углы крена и тангажа КА;
- включаемые спектральные каналы сканеров.

На экране отображается статистическая информация о КП (рис. 8). В ней приведены причины невключения заявки в КП. При необходимости имеется возможность просмотра на карте мира участков поверхности Земли, включенных в КП, и участков, не включенных в КП.

В процессе разработки СПО прошло тестирование и отладку, выпущен комплект программной документации. В настоящий момент СПО готово к проведению функциональных испытаний.

Выводы. В статье рассмотрено программное обеспечение планирования съемки КА «Січ-2М». Детально рассмотрен алгоритм планирования стереоскопической съемки.

Разработанные алгоритмы могут быть использованы для планирования съемки КА дистанционного зондирования Земли других типов.

В. В. Ляшенко, інж.-програміст,
E-mail: info@yuzhnoye.com

Л. В. Яцун, нач. групи

Є. Д. Ярмольчук, пров. інж.-програміст

ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»
вул. Криворізька 3, Дніпро, Україна, 49008

ПЛАНУВАННЯ ЗЙОМКИ КОСМІЧНИМ АПАРАТОМ «СІЧ-2М»

Планування зйомки — невід’ємна функція наземних сегментів усіх відомих космічних систем дистанційного зондування Землі. Для виконання цієї функції, як правило, розробляється спеціальне програмне забезпечення. У теперішній час Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» у кооперації створює космічну систему дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності «Січ-2М». Для планування зйомки космічного апарата «Січ-2М» розроблено спеціальне програмне забезпечення формування координационного плану, яке входить до складу програмно-технічного комплексу «Координационний план» наземного сегмента.

Розглянуто функції, структура, інтерфейс спеціального програмного забезпечення. Детально розглянуто базовий алгоритм планування стереоскопічної зйомки, що виконується з одного оберту, ділянки земної поверхні шляхом ухилення космічного апарата вперед та назад. У процесі розробки спеціальне програмне забезпечення пройшло тестування та налагодження, випущено комплект програмної документації. На теперішній момент спеціальне програмне забезпечення готове до проведення функціональних випробувань. Розроблені алгоритми можуть бути використані для планування зйомки космічного апарата дистанційного зондування Землі інших типів.

Ключові слова: планування зйомки, стереоскопічна зйомка.

V. V. Lyashenko, Software engineer,

E-mail: info@yuzhnoye.com

L. V. Yatsun, Head of group

Ye. D. Yarmolchuk, Leading software engineer

Yuzhnoye State Design Office

3, Krivorizka Str., Dnipro, Ukraine 49008

SATELLITE “SICH-2M” SURVEY PLANNING

Survey planning is an important function of the ground segments of all known Earth remote sensing space systems. The special software is usually developed to perform this function. Currently, the Yuzhnoye State Design Office in co-operation creates a high-resolution space system for remote sensing “Sich-2M” satellite. Special software for survey planning of the “Sich-2M” spacecraft has been developed. This software is a part of the software and hardware ground-based complex “Coordination Plan”. We describe briefly functions, structure, and special software interface. The basic algorithm for planning a stereoscopic survey is considered in detail. The survey of a piece of the Earth’s surface is performed from one turn by evading the spacecraft back and forth. The developed software was tested, debugged, and documented. Currently, the application is ready for functional tests. The developed algorithms can be used for planning surveys with other types of Earth remote sensing spacecraft.

Keywords: survey planning, stereoscopic survey.