

УДК 629.78: 528.88

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

А. А. Золотой, А. Г. Кезик

УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси, Минск

*Рассмотрена задача планирования космической съемки, производимой группировкой разнотипных космических аппаратов ДЗЗ с использованием разнесенных станций приема и наземных комплексов управления. Приведено описание разработанных подходов к автоматизации расчета покрытия объектов наблюдения космической съемкой с учетом накладываемых ограничений. Рассмотрены подходы к автоматизации построения маршрутов и формированию опорных планов космических аппаратов.*

Управление орбитальной группировкой космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляет собой сложную задачу оптимизации, поиском решения которой занимаются все владельцы крупных группировок КА, включая Роскосмос, американское (NASA), европейское (ESA) и китайское (CNSA) космические агентства. В докладе объектом приводимого исследования является группировка КА ДЗЗ, функционирующая в условиях разнесенных станций приема и взаимодействующих центров управления. Предметом исследования является задача планирования космической съемки, производимой группировкой разнотипных КА ДЗЗ с использованием разнесенных станций приема и взаимодействующих наземных комплексов управления. Целью работы является разработка методов и алгоритмов, автоматизирующих основные этапы планирования космической съемки группировкой КА.

Планирование космической съемки группировкой КА ДЗЗ представляет собой задачу выбора оптимальных маршрутов каждого КА, обеспечивающих съемку наибольшей площади согласованных объектов наблюдения за заданное время и с учетом накладываемых ограничений. Результатом планирования космической съемки является формирование опорных планов для каждого КА группировки. Опорный план для КА представляет собой внешний порядок включений целевой аппаратуры и радиолинии в виде участков закладки, съемки и сброса, на основании которого возможно создание рабочих программ для конкретных типов КА орбитальной группировки при помощи специализированных программных средств комплекса планирования.

Требуется решить задачу автоматизации основных этапов планирования космической съемки группировкой КА ДЗЗ. Актуальность такой автоматизации диктуется предельной сложностью и трудоемкостью ручного решения задач данного класса, а также необходимостью эффективного использования эксплуатационного ресурса всех элементов системы.

Общая блок-схема алгоритма автоматизации планирования космической съемки объектов наблюдения группировкой КА ДЗЗ показана на рис. 1.

В качестве входной информации для алгоритма планирования космической съемки используются технические данные орбитальной группировки КА, наземных станций приема и передачи, а также сведения об объектах наблюдения с соответствующими им

параметрами и ограничениями съемки. В блоке 1 алгоритма выполняется расчет участков траектории видимости объектов для каждого КА группировки. Траектории подспутниковых точек КА рассчитываются с использованием модели SGP4 по начальным условиям в формате TLE. Участки траектории находятся путем расчета полосы обзора КА и измерения расстояний от подспутниковых точек в надире до объекта наблюдения.

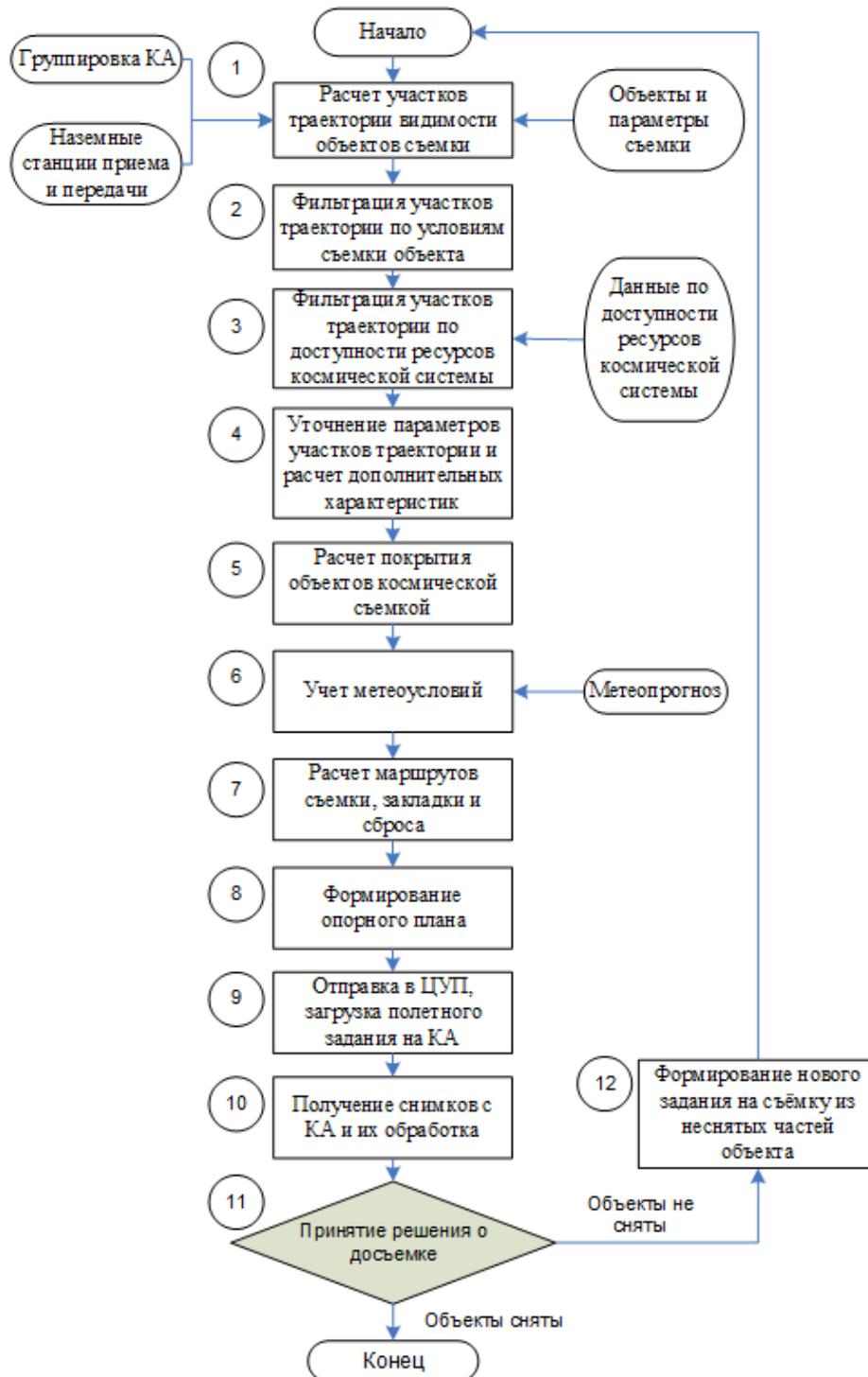


Рис. 1. Блок-схема алгоритма планирования космической съемки

### 3. СРЕДСТВА, ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ГЕОСЕРВИСЫ НА ИХ ОСНОВЕ. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Фильтрация рассчитанных участков траектории по условиям съемки объекта наблюдения (по азимуту и углу Солнца) производится в блоке 2 алгоритма. В зависимости от времени года возникает необходимость изменять условия съемки для получения оптимальных результатов. В блок 3 передаются данные о доступности ресурсов космической системы и происходит дополнительная фильтрация участков траектории. Ресурсы КА могут быть недоступны по техническим причинам, например при корректировке орбиты КА. Также могут быть недоступными ресурсы станций приема и передачи.

В блоке 4 алгоритма планирования (см. рис. 1) происходит уточнение характеристик оставшихся участков траектории (точное определение краев участка траектории  $t_s$  и  $t_e$ ) и расчет дополнительных параметров, таких как точка минимального сближения с объектом наблюдения  $t'$ , как показано на рис. 2. На этом этапе происходит расчет основных математических величин, характеризующих участки траектории КА и объекта наблюдения для дальнейшего расчета полос съемки, например перевод геодезических координат (широты, долготы) объекта съемки в гномоническую проекцию. Характеристики участков траектории рассчитываются с привлечением алгоритмов нахождения минимума функции, например методов золотого сечения или половинного деления.

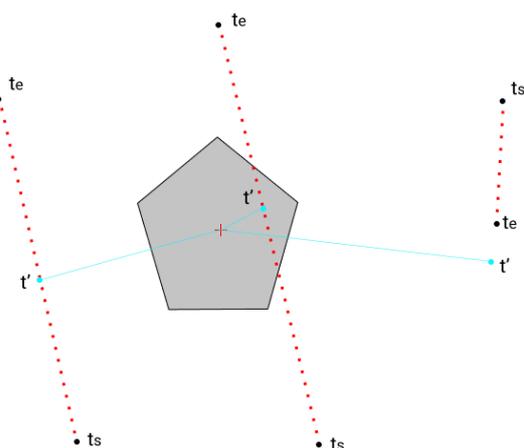


Рис. 2. Предварительные условия для обеспечения покрытия объекта наблюдения

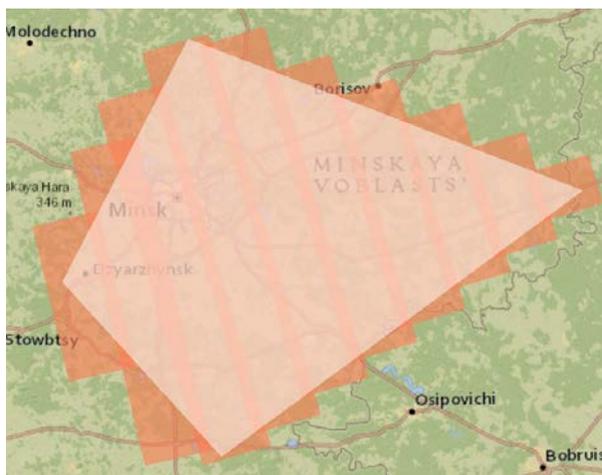


Рис. 3. Покрытие площадного объекта космической съемкой

Пример объекта наблюдения, покрытого космической съемкой, приведен на рис. 3.

Расчет полос съемки для каждого объекта наблюдения выполняется в блоке 5. Здесь происходит ветвление алгоритма в зависимости от типа объекта наблюдения (точка, линия или полигон) и выбранного пути оптимизации. В зависимости от требований заказчика расчет покрытия может быть оптимизирован для увеличения скорости покрытия или уменьшения угла съемки для лучшего качества снимков.

В блоке 6 алгоритма выполняется фильтрация полученных полос съемки с учетом метеопрогноза. При учете метеоусловий может приниматься во внимание среднее или максимальное значение облачности на момент съемки, а также долгосрочный метеопрогноз для уточнения расчетов планирования.

На основе полученного покрытия в блоке 7 рассчитываются маршруты съемки, а на их основе – маршруты закладки и сброса целевой информации с учетом используемых наземных станций. Маршруты съемки рассчитываются на основе технических характеристик КА, включая минимальную и максимальную длительности каждого маршрута

и время на перенацеливание. Для более удобного расчета маршрутов съемки используемые полосы съемки группируются по времени алгоритмом кластеризации. Время для сброса целевой информации с КА на станцию приема вычисляется с учетом длительности пролета. Если информация не получается сбросить за один пролет КА над станцией приема, то данные сбрасываются на разных пролетах по частям.

В блоке 8 алгоритма происходит формирование опорного плана, в структуру которого вносятся рассчитанные маршруты, а также данные об используемых КА, наземных станциях и объектах наблюдения. На основе опорного плана в блоке 9 формируются рабочая программа и полетное задание для конкретных типов КА. По результатам обработки целевой информации, полученной с КА, в блоке 11 принимается решение о досъемке объектов наблюдения. Если объекты наблюдения не сняты полностью, то происходит формирование нового задания на съемку и управление передается в блок 12. Данный процесс продолжается до тех пор, пока все объекты наблюдения не будут полностью покрыты космической съемкой.

Планирование и досъемка – важные составляющие всего процесса. Досъемка методически повторяет процесс съемки, но при этом следует учитывать возможное изменение входных данных (TLE и опорных планов).

Исследования выполнены в рамках мероприятия научно-технической программы Союзного государства «Интеграция-СГ». Предложенные методы автоматизации основных этапов задачи планирования космической съемки орбитальной группировкой разнотипных КА ДЗЗ реализованы в виде программных компонентов с возможностью их дальнейшей интеграции в состав Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли.