

ВЫБОР ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ С УЧЕТОМ ОБЛАЧНОСТИ И ОСВЕЩЕННОСТИ

Введение. Вопросы оперативности наблюдения во многом зависят от выбора орбитальных параметров космической системы наблюдения (КСН). Одним из методов выбора орбитальных параметров КСН является метод, основанный на выделении зон обзора [1]. С целью увеличения возможностей этого метода предлагается дополнить его моделями расчета облачности и освещенности.

Задача выбора орбитальных параметров КСН рассматривается как оптимизационная задача, в которой проектными переменными являются параметры орбит КА входящих в КСН, а проектными ограничениями – ограничения на параметры орбит, облачность и освещенность.

Параметры орбит КА задаются в оскулирующих элементах: наклонение орбиты i , долгота восходящего узла Ω , аргумент перигентра ω , фокальный параметр p , эксцентриситет орбиты e , угол истинной аномалии ν .

Оптимизационная задача выбора орбитальных параметров КСН сводится к общей задаче нелинейного программирования, которая формулируется следующим образом: определить оптимальную совокупность проектных переменных $X = \{\Omega_n, i_n, p_n, \omega_n, e_n, \nu_n\}$, $n = 1, \dots, N$, обеспечивающую достижение минимального значения показателя периодичности при ограничениях на параметры орбиты, облачность и освещенность.

Для решения оптимизационной задачи необходимо наличие модели, обеспечивающей вычисление показателя периодичности наблюдения при выбранной орбитальной структуре и заданных ОН.

Модель периодичности наблюдений. За основу взята модель гарантированной периодичности наблюдений, рассмотренная в [1], дополненная условиями освещенности ОН и наличия над ним облачного покрова.

Расчет освещенности на заданном интервале времени. Уровень освещенности наземного объекта солнечным светом определяется углом возвышения Солнца над горизонтом в районе расположения объекта в момент наблюдения. Величина этого угла зависит от широты ОН, дня года и местного времени суток в момент наблюдения [2].

Угол возвышения Солнца λ_{\odot} в точке земной поверхности с координатами λ и φ определяется из соотношения:

$$\sinh_{\odot} = \sin \delta_{\odot} \sin \varphi + \cos \delta_{\odot} \cos \varphi \cos \Delta \lambda_{\odot},$$

где δ_{\odot} – угол склонения Солнца; $\Delta \lambda_{\odot} = \lambda_{\odot} - \lambda$ – разность между долготой Солнца и долготой меридиана точки λ .

Долгота Солнца в заданный момент московского времени t (в часах) рассчитывается с помощью выражений [2]:

в зимнее время

$$\lambda_{\odot} = \omega_3 [12 - (t - 1 - \eta_{\odot})] + 30^{\circ};$$

в летнее время

$$\lambda_{\odot} = \omega_3 [12 - (t - 2 - \eta_{\odot})] + 30^{\circ},$$

где ω_3 – угловая скорость вращения Земли относительно своей оси [град/сут]; η_{\odot} – переменная, называемая «уравнением времени».

Полученные путем проведения баллистических расчетов моменты съемки объектов, для которых требования по освещенности не выполняются, исключаются дальнейшего рассмотрения. Эти моменты выявляются путем сравнения угла возвышения Солнца h_{\odot} с его минимально допустимой величиной, например, $h_{\odot}^{\min} = 20^{\circ}$ (рис. 2).

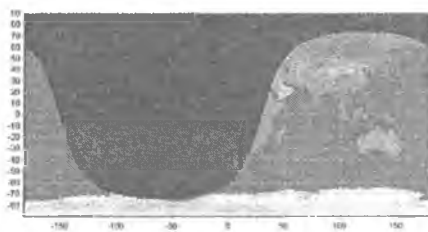


Рис. 1. Освещенность земной поверхности на 1 февраля 7:15 мск

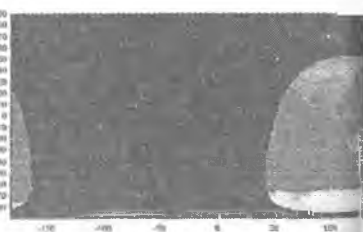


Рис. 2. Область земной поверхности, доступная для съемки 1 февраля 7:15 мск

Учет вероятности наличия облачного покрова над ОН. Используется простейшая модель облачности. По статистике вероятность допустимой облачности, при которой можно проводить съемку ОН, $P = 0,265$ [3].

При допущении, что оптимальная орбита КА останется неизменной независимо от наличия облачного покрова над ОН, выражение для расчета периодичности наблюдений будет иметь вид:

$$П = \frac{П_{\text{спл}}}{(1 - P)},$$

где P – периодичность наблюдений с учетом возможности наличия над ОН облачного покрова; $P_{орт}$ – периодичность наблюдений без учета наличия облачного покрова над ОН; P – вероятность наличия облачного покрова над ОН.

Возможен вариант использования более точных моделей облачности, учитывающих геодезическую широту ОН и время года.

Решение модельной задачи. С использованием разработанного метода и созданного на его базе программного обеспечения решен ряд задач по выбору орбитальных параметров КСН, в том числе для наблюдения за группой объектов. Исходные данные для задачи наблюдения за 208 крупнейшими городами представлены в таблице 2, а результаты решения приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 2 – Исходные данные

Число КА в созвездии, шт	2
Высота орбиты, км	до 350
Вероятность наличия облачного покрова	0,28
Расчетный период, сут.	30
Начальный момент времени	01.05.2007 12:00 мск.
Объекты наблюдения	208 крупнейших городов мира

Таблица 3 – Результаты решения задачи выбора орбитальных параметров КСН

№ КА	Ω , град	i , град	p , км	ω , град	e	u , град
С учетом облачности и освещенности (1)						
1	10,08	97,23	6712,76	5,26	0,0018	0,27
2	64,57	97,11	6714,38	1,6	0,006	179,44
Без учета облачности и освещенности (2)						
1	13,22	107,85	6707,62	-0,01	0,003	0,53
2	91,36	108,24	6701,76	5,65	0,001	182,11

Таблица 4 – Значения показателей периодичности

Показатель	Значение, час	
	(1)	(2)
Показатель, характеризующий максимальное значение среди гарантированных периодичностей наблюдения всех ОН [1]	144,05	28,01
Показатель, характеризующий среднее арифметическое значение от гарантированных периодичностей наблюдения для всех ОН [1]	142,9	24,11
Показатель, характеризующий среднее значение периодичности наблюдений [1]	32,88	14,31

Таким образом, рассмотренный метод позволяет выбрать вариант орбитальной структуры КСН по показателю наилучшей периодичности наблюдений с использованием моделей облачности и освещенности. Разработанные модели можно использовать при планировании программы съемки земной поверхности.

Библиографический список

1. Еленев В.Д., Панков А.А. Метод выбора параметров орбитальной структуры космических систем наблюдения // Вестник СГАУ. – Самара, 2006. № 1 (9). С. 62-68.
2. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление / В.В. Мальцев, В.Т. Боброшников, О.И. Пестеренко, А.В. Федоров; под редакцией В.В. Мальцева. М.:Изд-во МАИ, 2000.
3. Лебедев А.А. Введение в анализ и синтез систем: Учебное пособие. – М: Изд-во МАИ. 2001.