

## НАВИГАЦИОННО - БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

к.т.н. В.М. Лисаченко, И.И. Мишура  
(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

Моделировались возможности наземного оптико - электронного средства на экваториальной монтировке по сопровождению космических объектов с характерными типами орбит.

Средства оптических наблюдений для получения высокой проникающей способности должны иметь достаточно узкое поле зрения. При таком подходе наблюдение космического объекта (КО) на достаточном для восстановления орбиты участке должно осуществляться слежением за объектом, что, в свою очередь, предполагает наличие приводов телескопа, оснащенных достаточно динамичными двигателями. Разумеется, при наблюдениях высокоорбитальных объектов требования к скорости сопровождения уменьшаются.

Возможность наблюдения КО оптическими наземными средствами, помимо характеристик блеска, определяется также и навигационно - баллистическими характеристиками его орбиты, местоположением средства наблюдения на поверхности Земли, типом монтировки и возможностями системы приводов телескопа.

В простейшем случае наблюдательные возможности средств контроля космического пространства можно оценить, построив проекции сечений зон обнаружения для различных высот орбит КО. Основной вывод, который следует из такой оценки: любой космический объект, орбита которого на данной высоте проходит через зону обнаружения наблюдательного средства, может быть им проконтролирован. При этом следует иметь ввиду, что размеры и форма зоны обнаружения наземного оптического средства для каждого КО индивидуальна и зависит от параметров орбиты.

Для более точной оценки наблюдательных возможностей оптических средств наблюдения следует учитывать динамику орбитального движения КО. Наиболее существенным фактором при такой оценке является видимая топоцентрическая скорость движения КО, т.е. его угловая скорость относительно средства наблюдения. Причем максимальное значение угловая топоцентрическая скорость достигает в зените точки

стояния наблюдательного средства.

Расчеты для высот круговых орбит 200, 300, 400, 500, 600 км показывают, что при высоте орбиты КО 200 км максимум угловой скорости равен 2,25град/с, а с увеличением высоты орбиты угловая скорость в зените оптического средства быстро падает. Если привода телескопа рассчитаны на сопровождение КО с угловыми скоростями 2,5 град/с, то ясно, что средство с данным телескопом способно контролировать все КО на орбитах выше 200 км. Если же характеристики приводов не рассчитаны на такие угловые скорости сопровождения КО, то следует ожидать появления “мертвой” зоны в зените.

Возникновение “мертвой” зоны, а также ее размеры зависят еще и от типа монтировки телескопа. Расчет “мертвой” зоны для азимутальной монтировки приведен в [1]. Все дальнейшие рассуждения и расчеты касаются экваториальной монтировки телескопа, как наиболее специфической. Для случая наблюдения искусственных КО на околоземных орбитах достоинства экваториальной монтировки у оптических средств перед азимутальной также очевидны [2], хотя при этом сопровождение КО осуществляется сложнее, чем в астрономических задачах. Орбиты большинства искусственных КО наклонены к плоскости небесного экватора под некоторым углом  $i$ , называемым наклоном орбиты, а потому отслеживаемое наблюдателем движение такого КО будет осуществляться телескопом с задействованием как часовой оси, так и оси склонений и с учетом суточного вращения Земли. При этом угол поворота вокруг оси склонений ограничивается со стороны юга уровнем местного горизонта, а со стороны севера - углом между горизонтом и направлением на Полярную звезду, а величина его зависит от широты места установки оптического средства. При совпадении оптической оси телескопа с полярной осью монтировки необходимо для непрерывного сопровождения космического объекта осуществить “мгновенный” разворот (переброс) телескопа вокруг полярной оси на  $180^\circ$  и в дальнейшем сопровождение осуществлять путем перемещения телескопа вокруг оси склонений в противоположном направлении. Угловая скорость переброса телескопа вокруг полярной оси должна стремиться к бесконечности. В реальной ситуации угловая скорость вращения телескопа вокруг осей монтировки ограничена конкретными значениями для различных образцов телескопов. В силу этого переброса в приполярной области небесной сферы для низколетящих КО может возникать “мертвая” зона.

Самым простым случаем является наблюдение КО на стационарных орбитах. Основную роль здесь играет точность, с которой можно навести телескоп в направлении КО на стационарной орбите. Положение телескопа фиксируется по обеим осям и регистрируется видимое в мгновенном поле зрения оптической системы перемещение звезд отно-

сительно неподвижного КО, по которому и определяются его угловые координаты. Сложнее оценить возможности оптического средства по наблюдению всех остальных искусственных КО, орбиты которых отличаются от стационарных.

Наиболее точные расчеты могут быть выполнены с использованием методов численного моделирования с характерными типами орбит космических объектов.

В ходе исследований была разработана программно-математическая модель, позволяющая оценивать возможности оптических средств наблюдения по сопровождению космических объектов. Для исследования наблюдательных возможностей оптических средств на экваториальной монтировке с приводами, развивающими ускорение  $0,5 \text{ град}/\text{с}^2$ , были выбраны КО с высотами орбит в диапазоне от 233 до 1255 км и наклоном орбит в диапазоне от 62 до 97 градусов. Все космические объекты находятся на орбитах с эксцентриситетом не более 0,05. Такой выбор обусловлен тем, что наибольшие сложности по сопровождению возникают именно при наблюдении низколетящих космических объектов на приполярных орбитах (табл. 1).

Таблица 1

Параметры орбит КО, выбранных для моделирования

Но- мер КО	Высота апогея $H_A$ , км	Высота перигея $H_P$ , км	Накло- нение орбиты $i$ , град	Долгота восхо- дящего узла $\Omega$ , град	Эксцен- триситет орбиты, $e$	Период обраще- ния, $T$ , мин
КО-1	448,1	392,2	904,1	266,9	0,0041	92,77
КО-2	555,4	303	83,6	78,1	0,18	92,87
КО-3	684,3	673,5	68	247,7	0,00076	98,18
КО-4	824,7	805,4	85	3,19	0,0013	100,8
КО-5	1019,2	281,3	97,8	315,4	0,052	97,63
КО-6	1255,7	1080,5	90	155	0,011	108,27

В ходе исследований для оптического средства с координатами  $33^\circ$  в.д. и  $45^\circ$  с.ш. моделировались возможности по сопровождению КО, обусловленные типом монтировки телескопа, и оценивались ограничения, связанные с предельными скоростями приводов.

По результатам моделирования для орбит КО-1 и КО-5 построены зависимости максимальных угловых скоростей ведения телескопа по обеим осям, полученные путем выборки максимальных значений из совокупности показаний скоростей на каждом из пролетов КО в зоне обнаружения оптического средства наблюдения, представленные на рис.

1, 3. Сечения графиков прямыми на уровнях 0,5 град/с и 2 град/с позволяют оценить геометрические размеры “мертвых” зон. Как видно, наибольшие размеры “мертвая” зона будет иметь по координате оси склонения  $\delta$  для КО-1. Угловые скорости ведения телескопа по этой оси превышают 0,5 град/с. Для оценки размеров и формы “мертвой” зоны при предельной скорости ведения по оси склонения 2 град/с и 0,5 град/с построены зоны обнаружения для этих же космических объектов. Они приведены на рис. 2, 4.

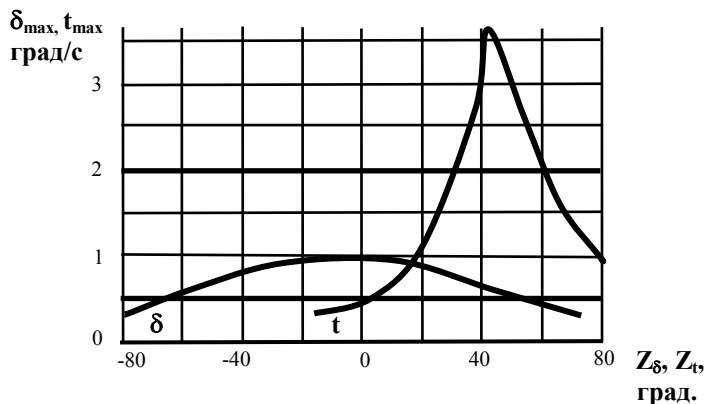


Рис. 1. Зависимость угловых скоростей ведения телескопа от зенитного угла ( $Z_t, Z_\delta$ ) при пролете КО-1 в зоне обнаружения оптического средства с координатами  $33^\circ$  в.д. и  $45^\circ$  с.ш.

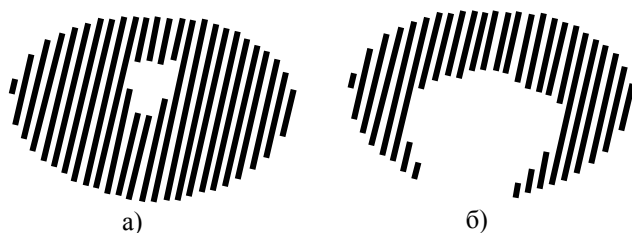


Рис. 2. Вид зоны обнаружения КО-1 (незаштрихованная область - “мертвая” зона в приполярной области при максимальной угловой скорости ведения телескопа: а) по обеим осям 2град/с; б) по оси склонения 0,5град/с, по часовой оси 2град/с)

Результаты моделирования подтвердили наличие “мертвой” зоны в направлении Полярной звезды. Для оптического средства, установленно-го на  $45^\circ$  северной широты, направление на Полярную звезду отличается

от зенитного направления на угол  $45^\circ$ . Размеры «мертвой» зоны в направлении Полярной звезды определяются углом, который успеет пролететь КО за время переброса телескопа вокруг часовой оси  $t$ . Ясно, что время переброса телескопа вокруг часовой оси на один и тот же угол одинаково в любом случае, но за это время разные КО преодолевают разные угловые расстояния. В конечном итоге, одной из причин появления «мертвой» зоны в направлении Полярной звезды является технологический переброс телескопа вокруг часовой оси.

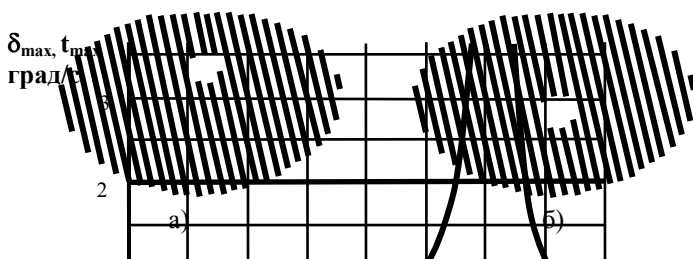


Рис. 4. Вид зоны обнаружения КО-5 (незаштрихованная область) «мертвая» зона в приполярной области при максимальной угловой скорости ведения телескопа: а) по обеим осям 2град/с; б) по оси склонения 0,5град/с, по часовой оси  $Z_0$  2град/с) град.

Рис. 3. Зависимость угловых скоростей ведения телескопа от зенитного угла ( $Z_1, Z_\delta$ ) при пролете КО-5 в зоне обнаружения оптического средства с координатами  $33^\circ$  в.д. и  $45^\circ$

Относительные размеры «мертвой» зоны и характер ее уменьшения с ростом высоты орбиты можно оценить с использованием рис. 5, где изображены зоны обнаружения для шести КО, при максимальной скорости ведения телескопа по каждой из осей 2 град/с. Значительных размеров «мертвая» зона в приполярной области достигает только у низкоорбитального КО-1. В этой зоне на ряде последовательных витков полета измерения затруднены. Для всех остальных космических объектов размеры зоны в наибольшем сечении любого из витков полета достаточно малы и их можно просто пропустить, восполнив измерениями на других участках витка.

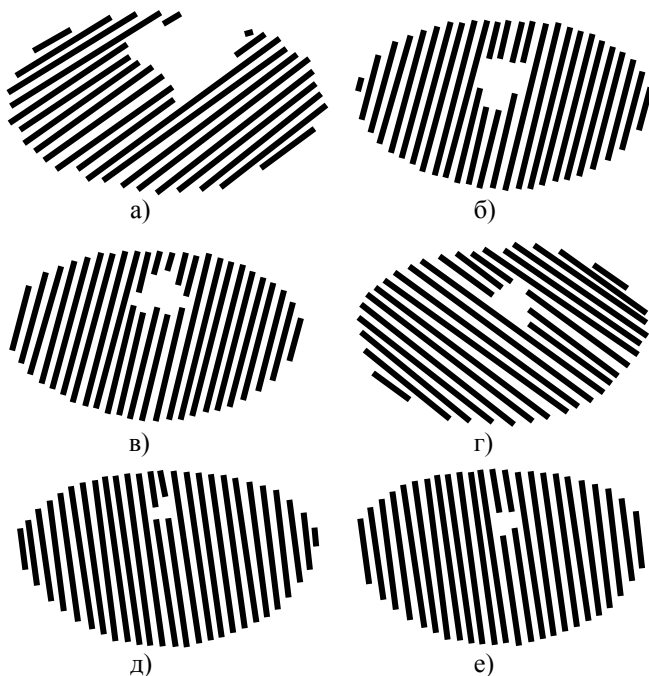


Рис. 5. Вид зон обнаружения космических объектов КО-1 (а), КО-2 (б), КО-3 (в), КО-4 (г), КО-5 (д), КО-6 (е) при максимальных скоростях ведения телескопа по обеим осям 2 град/с

Таким образом, наличие всех «мертвых» зон при сопровождении КО на приполярных орбитах обусловлено:

- для космических объектов с высотой орбиты 200 – 500 км предельными скоростями вращения телескопа вокруг оси склонения и конструктивными особенностями монтировки телескопа (необходимость переброса телескопа вокруг часовой оси);
- для космических объектов с высотой орбиты более 500 км только конструктивными особенностями экваториальной монтировки телескопа.

**Выводы:**

1. Наблюдение космических объектов оптическими средствами, оснащенными монтировкой с максимальными угловыми скоростями ведения 0.5 град/с возможно, начиная с высоты круговой орбиты порядка 500 км.

2. Неустранимой является «мертвая» зона в приполярной области. Ее наличие обусловлено конструктивными особенностями экваториаль-

ной монтировки телескопа. Форма и размеры “мертвой” зоны в зоне обнаружения видоизменяются в зависимости от высоты и наклона орбиты контролируемого объекта. Начиная с высот орбит порядка 1000 км, ее размеры становятся достаточно малыми и измерениями на этом участке можно пренебречь, имея в виду достаточный информационный объем остальных участков контролируемого витка орбиты.

3. Для наблюдения подавляющего большинства орбит космических объектов достаточно угловых скоростей ведения телескопа 2 - 2,5 град/с.

При моделировании наблюдательных возможностей наземных оптических средств не учитывались условия оптической видимости космических объектов, обусловленные светотеневыми условиями (наземное оптическое средство находится на теневой стороне Земли, космический объект подсвечен Солнцем).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Снежко Л.И. Первые 10 лет работы БТА // Земля и Вселенная. – 1987. – № 6. – С. 12 - 17.
2. Пономарев Д.Н. Астрономические обсерватории Советского Союза. – М.: Наука, 1987. – 208 с.

*Поступила в редколлегию 20.09.2001*

---