**УДК 621.396.969**

**Алгоритм расчета параметров зоны действия многопозиционной радиолокационной системы наблюдения воздушного пространства с кооперируемым источником подсвета космического базирования**

***Е.М. Великанов***

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

В последние годы наблюдается стремительный рост применения беспилотных летательных аппаратов. В связи с этим, вопросы контроля и обеспечения безопасности полетов на низких высотах становятся значительно важнее. Однако современные средства контроля воздушного пространства не позволяют создать сплошное низко высотное радиолокационное поле.

Одним из перспективных направлений решения этой задачи является создание многопозиционной радиолокационной системы наблюдения воздушного пространства с кооперируемым источником подсвета, приемные пункты которой располагаются на поверхности Земли (далее - МПРЛС-КИП).

Важной задачей проектирования облика МПРЛС-КИП является оценка параметров зоны действия такой системы с учетом размещения приемных пунктов и характеристик воздушных объектов наблюдения.

Под зоной действия МПРЛС-КИП понимается область пространства, в пределах которой обеспечивается обнаружение и измерение координат воздушных объектов с заданными ЭПР, вероятностными и временными характеристиками обнаружения. Зона действия формируется с использованием группировки космических аппаратов (далее - КА), на которых расположены РЛС подсвета, и системы наземных приемных пунктов. При этом зона действия определяется совокупностью зон подсвета, создаваемых передающим устройством за заданный временной интервал обновления информации. Вопрос оценки границ зоны действия МПРЛС-КИП неразрывно связан с вопросом выбора числа и точек стояния КА на ГСО, предназначенных для размещения КИП или, при использовании других типов орбит – выбора их параметров и оценка состава группировки КА.

Зона действия МПРЛС-КИП определяется совокупностью зон подсвета, создаваемых передающим устройством за заданный временной интервал обновления информации. Под зоной подсвета будем понимать область на поверхности Земли, в пределах которой устройство подсвета создает плотность потока мощности сигналов, обеспечивающих их обнаружение после отражения от воздушных объектов с заданными характеристиками. Поскольку для геостационарного КА принципиально возможен подсвет значительных областей территории РФ и прилегающих приграничных территорий (путем электронного изменения направления диаграммы направленности антенны, либо путем поворота КА на заданный угол), выбор местоположения зоны подсвета (контролируемого района) должен осуществлять исходя из эффективности.

При использовании варианта построения передающего устройства подсвета с несканирующей антенной, граница зоны действия МПРЛС-КИП совпадает с границами зоны подсвета передающего устройства.

При использовании антенных систем с возможностью быстрой перестройки положения диаграммы направленности появляется возможность конфигурирования зоны действия сложной формы. При этом возникает задача определения зоны действия как совокупности зон подсвета.

Подобная задача решается при проектировании спутниковых систем связи [1, 2]. Однако, при проектировании спутниковых систем связи, как правило, не учитывается ряд факторов: возможность управления диаграммой направленности антенны подсвета, сложный характер распространения сигнала «передающее устройство подсвета – воздушный объект – приемный пункт» и другие.

Оценка параметров зоны действия МПРЛС-КИП состоит из последовательных этапов:

1. Оценка зоны видимости КА, исходя из геометрических соотношений;
2. Оценка зоны видимости ВО с учетом высоты их полета;
3. Определение границ размещения ПрП;
4. Оценка границ зон подсвета и их количества с учетом энергетических соотношений;
5. Определение числа КА и их точек стояния (при выполнении условия минимизации КА), которые позволят обеспечить зону действия МПРЛС-КИП с требуемыми параметрами;
6. *Оценка зоны видимости*

На первом этапе оценивается зона видимости КА с геостационарной орбиты. Она определяется линией терминатора, т.е. линией, образуемой точками касания Земли прямых лучей, проведённых с борта КА, и углом ψ0 (рисунок 1). Очевидно, что зона видимости аксиально симметрична относительно направления «центр Земли – КА» и делится на две части:

 – в этой области все ВО на всех высотах могут быть подсвечены с борта КА;

 – в этой области могут быть подсвечены только ВО, находящиеся на некоторой высоте Н.



*Рисунок 1 – Условия видимости ВО с борта КА*

Исходя из геометрических соотношений не сложно определить:

 (1)

где

RЗ – радиус Земли;

RГСО – радиус геостационарной орбиты;

HГСО – высота геостационарной орбиты (35879 км).

Следовательно,



Отсюда

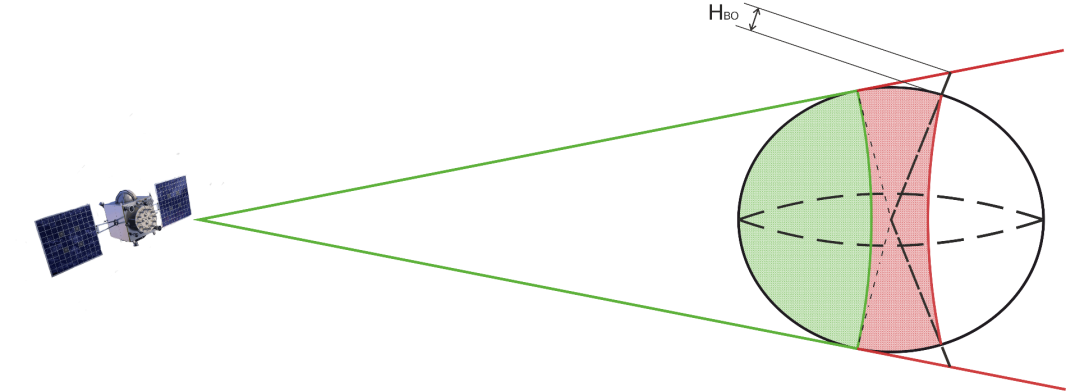
ψ0 = 1.419 рад = 81.3°.

Таким образом, все воздушные объекты на любых высотах, удовлетворяющие условию «угол между направлением из центра Земли на воздушный объект и направлением на КА (ψ) меньше ψ0=81.3º», будут видимы (могут быть подсвечены) с борта КА.

1. *Оценка зоны видимости ВО* *с учетом высоты их полета*

Воздушные объекты, находящиеся на некоторой высоте НВО, могут быть подсвечены с борта КА (рисунок 2) и при условии . При этом угол, определяющий зону подсвета воздушных объектов на высоте НВО (ΨH), является суммой двух углов ψ0 и Δψ=. Тогда условие примет следующий вид:

 (2)



*Рисунок 2. Зона видимости ВО на высоте НВО*

1. *Определение границ размещения ПрП.*

Для функционирования МПРЛС-КИП необходимо выполнения условий одновременной видимости ВО с борта КА и наземным приемным пунктом и . Хотя ПрП могут размещаться за линией терминатора, т. е. в области, не подсвеченной с борта КА, но в этом случае не обеспечивается всевысотность функционирования системы, т.е. ПрП смогут обнаруживать только воздушные объекты, находящиеся на некоторой высоте, зависящей от удалённости ПрП от линии терминатора. Поэтому ПрП целесообразно размещать только в зоне подсвета с борта КА, т.е. до линии терминатора.

Дальность прямой видимости воздушного объекта ПрП в геометрическом приближении определяется уравнением прямой видимости [3]:

 (3)

где

HВО – высота воздушного объекта,

hа – высота подъёма антенны ПрП;

k – коэффициент использования радиогоризонта.

Из выражения (3) видно, что ПрП целесообразно размещать до линии терминатора на расстоянии не менее чем При этом будет обеспечиваться возможность обнаружения ВО, летящих на высотах близких к минимально возможным.

Приведенные соотношения справедливы для упрощенный модели земной поверхности и не учитывают сложный рельеф местности, например, затенение горными возвышенностями. Для их учета необходимо использовать цифровые карты местности и строить зоны видимости исходя из конкретного места размещения приемного пункта.

Важными характеристиками, определяющими максимальную дальность от приемной станции до обнаруживаемого ВО, являются эффективная изотропно-излучаемая мощность КИП и чувствительность приемной станции. Для оценки дальности обнаружения воспользуемся следующим выражением [3]:

, (4)

где:

R1 – дальность от передатчика подсвета до ВО;

- средняя мощность передатчики подсвета, излучаемая в направлении на ВО;

- время наблюдения ВО (накопления сигналов);

 - ширина спектра сигнала подсвета;

 - коэффициенты усиления передающей антенны и приемной антенны в направлении на ВО;

 - длина воны;

k - постоянная Больцмана;

T0 – стандартная температура;

 - коэффициент различимости;

B – полоса пропускания приемника;

Ш - коэффициент шума приемника;

 - коэффициент распространения сигнала;

 - потери тракта приема и обработки сигналов.

В таком случае, цель может быть обнаружена приемным пунктом, если находится в зоне видимости КА с ГСО, зоне прямой видимости ПрП и выполняется условие по энергетической максимальной дальности обнаружения.

1. *Расчет границ зон подсвета и их количества с учетом энергетических соотношений*

Для одновременного подсвета всей теоретической зоны видимости с ГСО требуется иметь ширину диаграммы направленности антенны равной 16 градусов.

Для улучшения энергетических характеристик системы, целесообразно использовать узкий луч шириной 0,5-1°. В таком случае, для обеспечения обнаружения ВО во всей зоне видимости, необходимо использовать перенацеливаемую антенную систему, которая обеспечит наведение луча в требуемую область. Тогда, зона действия системы будет складываться из зон подсвета, создаваемых каждым положением луча, а период обновления информации будет равен периоду обзора пространства источником подсвета.

Размер зоны подсвета одним лучом определяется как проекция диаграммы направленности антенны КИП на поверхность земли и представляет собой (в упрощенном виде) эллипс. Длины большой и малой полуосей эллипса определяются по формулам [4, 5]:

 (5)

 (6)

где:

R – наклонная дальность от передатчика подсвета до поверхности Земли;

 - угол падения;

 - угол между направлением в надир космического аппарата и направлением на зону подсвета;

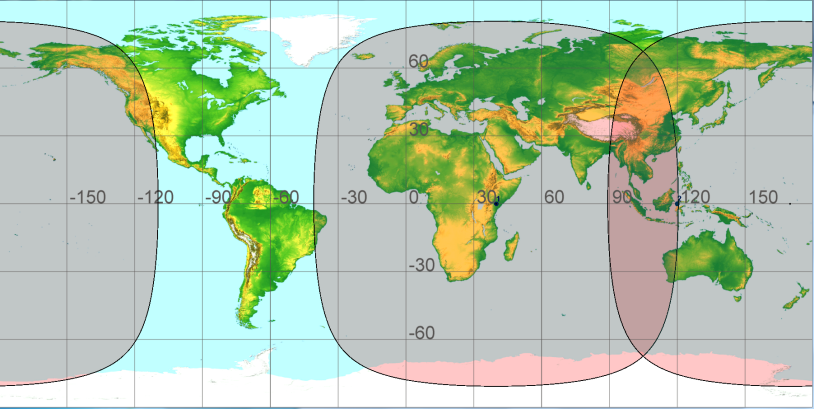
 - ширина диаграммы направленности антенны подсвета.

Зная размеры зоны подсвета одним лучом и максимальную дальность обнаружения цели ПрП, требуется определить количество станций, необходимых для размещения в одной зоне подсвета. При этом стоит учитывать, что зоны обнаружения цели приемными пунктами должны пересекаться, чтобы обеспечить требуемую вероятность обнаружения ВО.

Однако, для формирования зоны подсвета с равновероятностными характеристиками обнаружения ВО энергетический потенциал на границах зоны должен быть равным. Решение этой задачи требует разработки алгоритма расчета, учитывающего географические особенности местности, неравность коэффициента усиления антенны подсвета и потери на трассе распространения электромагнитной волны.

1. *Определение количества КА*

Исходя из поставленной цели, необходимо определить число КА и их точки стояния (при выполнении условия по минимизации КА), которые позволят обеспечить требуемую зону видимости КА (рисунок 3).



*Рисунок 3. Зоны видимости двух геостационарных КА*

Если варьировать разницей долгот КА с КИП и ПрП,

 (7)

то можно определить для каждой разницы  долгот соответствующую ей широту, в пределах которой можно размещать ПрП для обеспечения всевысотности функционирования МПРЛС-КИП.

Таким образом, для любой точки стояния КА можно определить географические координаты, в пределах которых будет выполняться условие совместной видимости ВО для КА и ПрП и обеспечиваться всевысотность функционирования МПРЛС-КИП.

Предложенный алгоритм позволяет проводить расчет параметров зоны действия многопозиционной радиолокационной системы с кооперируемым источником подсвета, размещенного на КА на ГСО. Однако, для реализации предложенного алгоритма с учетом влияния таких факторов, как рельеф местности и энергетические соотношения между элементами системы, требуется разработка программы, основанной на итерационном методе проверки выполнения всех приведенных условий.

**Библиографический список**

1. Michael H. Miklaski, Joel D. Babbitt «A methodology for developing timing constraints for the ballistic missile defense system» – Monterey, California: Naval postgraduate school, 2002

2. С.В. Абламейко, В.А. Саечников, А.А. Спиридонов. Спутниковые системы связи. Минск, БГУ, 2012.

3. Справочник по радиолокации. В 2-х томах. Под редакцией М.И.Сколника. М.- Техносфера, 2014.

4. В.В. Грузов, Ю.В. Колковский, А.В. Криштопов, А.И. Кудря. Новые технологии дистанционного зондирования земли из космоса. – Москва, Техносфера, 2019.

5. В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. – Москва. Радиотехника. 2010.