Перечень сокращений

|  |  |
| --- | --- |
| БРЛС | - бортовая радиолокационная станция |
| ДНА | - диаграмма направленности антенны |
| ЗС | - зондирующий сигнал |
| ЗМ | - закон модуляции |
| ЛА | - летательный аппарат |
| ПБО | - переднебоковой обзор |
| ПП | - подстилающая поверхность |
| РЛИ | - радиолокационное изображение |
| СА | - синтезированная апертура антенны |
| ТО | - телескопический обзор |
| ТТХ | - тактико-технические характеристики |
| ФЦА | - фазовый центр антенны |
| ЭПР | - эффективная поверхность рассеивания |

## Алгоритм формирования отраженного от подстилающей поверхности сигнала БРЛС в режиме «воздух-поверхность»

Алгоритм формирования отраженного сигнала от подстилающей поверхности

### Предустановленные параметры

При моделировании отсчетов принятого сигнала, используются предустановленные параметры, обусловленные характеристиками БРЛС, видом обзора земной поверхности, а также характеристиками конкретного типа цели. Перечень используемых параметров представлен в таблице 1.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | 1.1 | – Предустановленные параметры моделирования | | | | |
| **№** | **Обозначение** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** |
| 1 |  | | | м | 0,0,6000 | Прямоугольные координаты ФЦА БРЛС в момент времени синтезирования |
| 2 |  | | | м | 0, 0, 0 | Координаты центра участка картографирования |
| 3 |  | | | град | 3.0 | Ширина ДНА по азимуту |
| 4 |  | | | град | 3.0 | Ширина ДНА по углу места |
| 5 |  | | | м/с | 350 | Скорость движения носителя БРЛС |
| 6 |  | | | кВт | 10 | Импульсная мощность зондирующего сигнала |
| 7 |  | | | м/c | 3e8 | Скорость распространения ЭМВ |
| 8 |  | | | мкс | 100 | Длительность зондирующего импульса |
| 9 |  | | | МГц | 150 | Ширина спектра зондирующего сигнала |
| 10 |  | | | мс | 3 | Период повторения импульсов |
| 11 |  | | | м | 0.03 | Длина волны зондирующего сигнала |
| 12 |  | | | м | 0 | Массив координат разверток подстилающей поверхности по оси X |
| 13 |  | | | м | 0 | Массив координат начала развертки подстилающей поверхности по оси Y |
| 14 |  | | | м | 0 | Массив координат окончания развертки подстилающей поверхности по оси Y |
| 15 |  | | | м2 | 0 | Удельная ЭПР подстилающей поверхности |

### Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | | 1.2 | – Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования | | | | |
| **№** | **Обознач.** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Откуда поступает** | |
| 1 |  | | | м | Соответствуют текущему пространственному положению цели | Текущее положение БРЛС |  | |
| 3 |  | | | м | Зависит от исходных условий | Координаты теней по оси Y | Алгоритм формирования сигнала отраженного от корпуса | |
| 4 |  | | | м | Зависит от исходных условий | Координаты теней по оси Y | Алгоритм формирования сигнала отраженного от корпуса | |
| 5 |  | | | м | Зависит от исходных условий | Координаты теней по оси X для элементов выше на 2 | Алгоритм формирования сигнала отраженного от корпуса | |
| 6 |  | | | м | Зависит от исходных условий | Координаты теней по оси X для элементов выше на 3 | Алгоритм формирования сигнала отраженного от корпуса | |

### Выходные параметры алгоритма

Выходные данные алгоритма приведены в таблице 1.3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | | 1.3 | – Выходные данные алгоритма | | | | |
| **№** | **Обознач.** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Куда поступает** | |
| 1 |  | | | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая сигнала | В алгоритм формирования принятого сигнала | |
| 2 |  | | | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая сигнала | В алгоритм формирования принятого сигнала | |

### Описание последовательности выполнения алгоритма

Блок схема алгоритма формирования отраженного от участка картографирования сигнала представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 ‑ Схема алгоритма формирования отраженного сигнала

Последовательность выполнения алгоритма формирования отраженного сигнала.

Этапы, выполняемые однократно.

1. Чтение данных:

‑ координаты центра участка картографирования (,,);

‑ координаты БРЛС в середине интервала синтезирования апертуры   
(,,);

‑ скорость движения БРЛС ;

‑ ширина ДНА по углу места ;

‑ ширина ДНА по азимуту ;

‑ скорость распространения электромагнитной волны ;

‑ длина волны зондирующего сигнала ;

‑ длительность зондирующего импульса ;

‑ ширина спектра закона модуляции зондирующего сигнала ;

‑ период повторения импульсов ;

‑ мощность передатчика БРЛС ;

‑ массив координат подстилающей поверхности (, , );

‑ удельная ЭПР подстилающей поверхности .

1. Расчет наклонной дальности центра участка картографирования

 (1.3)

1. Расчет протяженности участка картографирования по дальности

 (1.4)

1. Расчет времени начала и окончания приема сигнала, отраженного от участка картографирования

 (1.5)

1. Расчет шага временной развертки по дальности

 (1.6)

1. Расчет общей временной развертки по дальности, в пределы которой попадают импульсы, отраженные от любой точки участка картографирования

 (1.7)

1. Расчет энергетического коэффициента БРЛС

 (1.8)

 (1.9)

 (1.10)

Этапы, выполняемые каждый период повторения.

1. Чтение данных

‑ координаты текущего положения БРЛС для *k*-го периода повторения   
().

1. Чтение координат пространственных элементов, занятых тенью наземного объекта , , , .
2. Расчет текущей дальности для *m*-го пространственного элемента подстилающей поверхности в *i*-ой развертке по оси X

 (1.12)

Нумерация m для пространственных элементов ведется подряд по *i*-ым разверткам. Например, в первой развертке по X значения = 100.5 метра и = 140.83 метра. Число целых пространственных элементов при разрешении 1 метр равно  = 40 и элементы нумеруются как *m* = 0 : 39. Тогда во второй развертке по X для значений = 93.2 метра и = 141.11 метра число целых пространственных элементов равно 48 и нумерация элементов продолжится *m* = 40 : 87 и т.д.

1. Определение элементов, координаты которых совпадают с координатами теневых пространственных элементов

 (1.13)

1. Расчет комплексного значения сигнала на частоте Доплера для *m*-го пространственного элемента в *i*-ой развертке

 (1.13)

На рисунке 1.3 приведены квадратуры сигналов с частотой Доплера и их энергетические спектры для двух элементов подстилающей поверхности, разнесенных в пространстве. Первый элемент подстилающей поверхности расположен в центре участка картографирования, а второй элемент смещен по оси Y на величину 50 метров.

****

Рисунок 1.3 – Квадратуры сигнала на доплеровской частоте, энергетический спектр и расчет реальной ДНА на интервале синтезирования

Моделирование выполнено для следующих условий  = 250 м/c,   
 = 4000 м,  = 20000 м,  = 0 м,  = 10000 м,  = 2 мс,  = 0.03 м,   
 = 1 c. Смещение центральной частоты спектра сигнала относительно нуля вызвано углом ориентации реальной ДНА в азимутальной плоскости отличного от 90 градусов (для данных условий моделирования угол составляет 78.69 градуса).

Различие в пространственном положении элементов подстилающей поверхности приводит к соответствующему смещению по частоте в траекторном сигнале.

1. Формирование массива ЭПР для элементов подстилающей поверхности с учетом средней ЭПР 

 (1.14)

где  ‑ операция генерирования случайного числа в интервале 3-х сигм относительно среднего ЭПР.

1. Расчет амплитудного множителя 

 (1.14)

1. Расчет закона модуляции ЗС для *m*-го элемента в *k*-ом зондировании

Временная развертка по дальности, смещенная в отрицательную область

 (1.15)

ЛЧМ импульс, преобразованный на видеочастоту

 (1.16)

 (1.17)

На рисунке 1.4 показан алгоритм моделирования положения импульса на временной развертке по дальности, отраженного от *m*-го элемента участка картографирования в *k*-ом зондировании.



Рисунок 1.4 ‑ Моделирование временного положения отраженного импульса на развертке по дальности: а) общая временная развертка по дальности; б) развертка, смещенная на  в отрицательную область; в) результат наложения смещенной временной развертки

Время задержки импульса, отраженного от *m*-го элемента участка картографирования в *k*-ом зондировании составляет . На это значение временная развертка  смещается в отрицательную область и обозначается . На смещенной развертке с учетом условия  определяется положение импульса. Далее смещенная развертка с определенным положением импульса накладывается на общую временную развертку, тогда начало отраженного импульса соответствует времени задержки .

Реальная квадратура отраженного ЛЧМ импульса на временной развертке по дальности приведена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 ‑ Квадратуры отраженного ЛЧМ импульса на видеочастоте   
( = 50 МГц,  = 4 мкс,  = 2 мкс, = 10 мкс)

Отраженный ЛЧМ импульс рассчитан по выражению (1.16) с учетом времени задержки равному 4 мкс. Частота ЛЧМ импульса в результате преобразования изменяется с  на .

1. Формирование отраженного сигнала для *k*-ого периода повторения

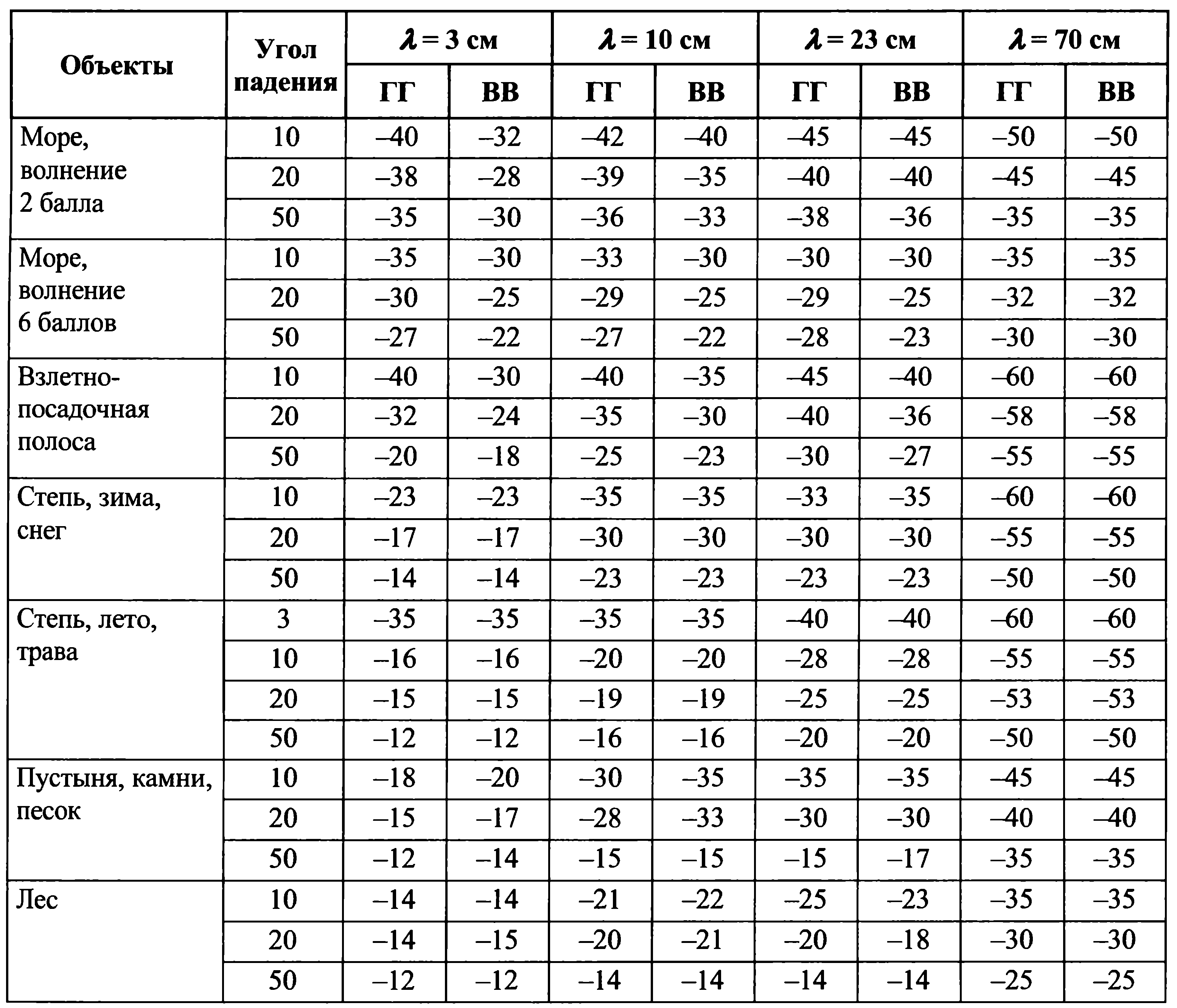
 (1.18)

Выходом алгоритма формирования отраженного сигнала являются реальная и мнимая квадратура сигнала  рассчитываемые для каждого периода повторения.

### Описание алгоритма

Подстилающую поверхность как объект рассеивания электромагнитной волны можно охарактеризовать удельной эффективной поверхностью рассеивания (таблица 1.1 [1]).

Таблица 1.1 – Удельная ЭПР земных покровов при разных длине волны, поляризациях и углах падения



Значение удельной ЭПР в зависимости от длины волны, угла падения и поляризации определяет амплитуду отраженного от земной поверхности сигнала.

Аналитическое выражение, характеризующее сигнал БРЛС, отраженный от наземного точечного *m*-го излучателя имеет вид:

 (1.1)

где  ‑ «медленное» и «быстрое» время, которые в контексте РСА характеризуют изменение межпериодных и внутрипериодных параметров сигнала;

‑ амплитудный множитель, характеризующий удельную ЭПР подстилающей поверхности;

 ‑ комплексный закон модуляции зондирующего сигнала;  ‑ огибающая сигнала;  ‑ линейная частотная модуляция;  ‑ ширина спектра закона модуляции;  ‑ длительность одиночного импульса;  ‑ скорость распространения электромагнитной волны;

 ‑ постоянная начальная фаза отраженного импульса, характеризующая изменение радиальной скорости носителя БРЛС и *m*-го излучателя на интервале синтезирования (комплексный отсчет траекторного сигнала).

Соответственно сигнал от подстилающей поверхности, состоящий из N элементов представляет собой сумму сигналов, отраженных от каждого элемента для одного периода повторения:

. (1.2)

Кинематика движения БРЛС относительно участка картографирования представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Кинематическая схема картографирования земной поверхности при переднебоковом обзоре

Наклонная дальность центра участка картографирования и середина интервала синтезирования рассчитываются во время  = 0, когда ФЦА находится в начале системы координат ( = 0,  = 0) на высоте . Траектория движения БРЛС – прямолинейная с постоянной скоростью.

Подстилающая поверхность представляет собой совокупность пространственных элементов разрешения участка картографирования (площадь элемента 1 м2) с удельной ЭПР одинаковой для всех элементов. Задается подстилающая поверхность по пространственным элементам разрешения в виде разверток вдоль оси Y. Каждая развертка задается тремя координатами  номер *i*-той развертки по X,  начало *i*-той развертки по Y и  окончание *i*-той развертки по Y (рисунок 1.1). Таким образом, координаты подстилающей поверхности в общей с БРЛС декартовой системе координат представлены в виде координат разверток (,,) и удельной ЭПР.

Литература

1. Верба, В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. - М.: Радиотехника, 2010. - 680 с: ил.