### Алгоритм моделирования принятого сигнала в режиме «воздух – воздух»

В пункте 4.1.1 Приложения №2.1 к Контракту указано, что ППП должен для различных режимов работы БРЛС моделировать принятый сигнал, включающий в себя следующие радиолокационные помехи и сигналы:

* отраженные сигналы от воздушных целей различных классов;
* активные помехи;
* пассивные помехи, в том числе от поверхности Земли, поверхности моря, метеообразований (облаков дождя, снега), облаков дипольных отражателей;
* внутренние шумы приемных каналов БРЛС.

В соответствии с пунктом 4.1.6 Приложения №2.1 к Контракту принятый сигнал представляет собой аддитивную смесь отражённого сигнала, пассивных (мешающие отражения от Земли, моря, гидрометеообразований и облаков дипольных отражателей), активных помех и внутренних шумов приёмника БРЛС.

Пункт 4.1.2 Приложения №2.1 к Контракту требует, чтобы моделирование сигналов и помех осуществлялось на видеочастоте с учётом комплексных огибающих сигналов и явлений, характерных для СВЧ сигналов. Должно быть учтено влияние диаграммы направленности антенны (ДНА) БРЛС на модуляцию сигналов и помех в приемных трактах БРЛС.

#### Краткое описание алгоритма

Алгоритм предназначен для моделирования принятого БРЛС сигнала на выходе высокочастотной части четырёхканального радиоприёмного устройства (суммарный канал, разностный канал по азимуту, разностный канал по углу наклона, компенсационный канал) при полном поляризационном приёме.

При формировании принятого сигнала учитываются свойства диаграммы направленности антенны БРЛС и её положение.

#### Предустановленные параметры

Предустановленные параметры данного алгоритма представлены в таблице 1.14.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 1.14 | – Предустановленные параметры алгоритма |

| **№** | **Обозначение** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  | градус | 2,45 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности антенной системы БРЛС по азимуту на передачу при нормальном к раскрыву антенны угловом положении луча и несущей частоте 10 ГГц |
| 2 |  | градус | 2,45 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности антенной системы БРЛС по углу наклона на передачу при нормальном к раскрыву антенны угловом положении луча и несущей частоте 10 ГГц |
| 3 |  | градус | 3 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности антенной системы РЛС суммарного приёмного канала по азимуту при нормальном к раскрыву антенны угловом положении луча и несущей частоте 150 МГц |
| 4 |  | градус | 3 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности антенной системы РЛС суммарного приёмного канала по углу наклона при нормальном к раскрыву антенны угловом положении луча и несущей частоте 150 МГц |
| 5 |  | градус | 3,4 | Рассовмещение по азимуту парциальных диаграмм направленности разностной диаграммы направленности по азимуту |
| 6 |  | градус | 3,4 | Рассовмещение по углу наклона парциальных диаграмм направленности разностной диаграммы направленности по углу наклона |

#### Параметры, задаваемые в интерфейсе пользователя

Задаваемые в интерфейсе пользователя параметры данного алгоритма представлены в таблице 1.15.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 1.15 | – Параметры алгоритма, задаваемые в интерфейсе пользователя |

| **№** | **Обозначение** | **Ед. измер.** | **Значение** | **Название** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  | ед. | 3…20 | Коэффициент, определяющий во сколько раз ширина диаграммы направленности антенной системы защитного канала БРЛС по азимуту больше ширины диаграммы направленности суммарного канала по азимуту |
| 2 |  | ед. | 3…20 | Коэффициент, определяющий во сколько раз ширина диаграммы направленности антенной системы защитного канала БРЛС по углу наклона больше ширины диаграммы направленности суммарного канала по углу наклона |
| 3 |  | дБ | 8…13 | Относительный уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны на передачу |
| 4 |  | дБ | 35…40 | Относительный уровень боковых лепестков суммарной диаграммы направленности антенны на приём |
| 5 |  | ед. | 0…4 | Количество моделируемых целей |
| 6 |  | ед. | 0…4 | Количество моделируемых активных помех[ |
| 7 |  | ед. | 0…1 | Количество моделируемых облаков пассивных помех |

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

В процессе моделирования на вход алгоритма поступают данные, указанные в таблице 1.16.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 1.16 | – Данные, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования |

| **№** | **Обозначение** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Откуда поступает** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  | градус | -60…60 | Текущий азимут -го моделируемого объекта (цели, постановщика помехи, облака, отражателей на поверхности земли (моря)) | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 2 |  | градус | -60…60 | Текущий угол наклона-го моделируемого объекта (цели, постановщика помехи, облака, отражателей на поверхности земли (моря)) | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 3 |  | градус | -60…60 | Текущее положение биссектрисы диаграммы направленности антенны по азимуту | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 4 |  | градус | -60…60 | Текущее положение биссектрисы диаграммы направленности антенны по углу наклона | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 5 |  | градус | \_\_\_\_ | Текущий азимут нормали к раскрыву антенны | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 6 |  | градус | \_\_\_\_ | Текущий угол наклона нормали к раскрыву антенны | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 7 |  | Гц |  | Несущая частота зондирующего сигнала | Из алгоритмов моделирования устройств и систем БРЛС, обеспечивающих выделение сигнала из помех, обнаружение цели, измерение её координат |
| 8 |  | м | 50…12000 | Высота полёта носителя БРЛС | Из алгоритма моделирования движения носителя БРЛС |
| 9 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая отражённого сигнала от -ой цели на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования отражённого от цели сигнала |
| 10 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая отражённого сигнала от -ой цели на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования отражённого от цели сигнала |
| 11 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая -ой активной помехи на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования активных помех |
| 12 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая -ой активной помехи на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования активных помех |
| 13 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая пассивной помехи от  -го облака на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования пассивных помех |
| 14 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая пассивной помехи от  -го облака на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования пассивных помех |
| 15 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая пассивной помехи от поверхности земли на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования пассивных помех |
| 16 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая пассивной помехи от поверхности земли на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритмов моделирования пассивных помех |
| 17 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая шумов приёмника суммарного, разностного по азимуту, разностного по углу наклона, компенсационного каналов для соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритма моделирования внутренних шумов приемника |
| 18 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая шумов приёмника суммарного, разностного по азимуту, разностного по углу наклона, компенсационного каналов для соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | Из алгоритма моделирования внутренних шумов приемника |

#### Выходные данные алгоритма

Выходные данные алгоритма приведены в таблице 1.17.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 1.17 | – Выходные данные алгоритма |

| **№** | **Обознач.** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Куда поступает** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая принятого сигнала суммарного канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 2 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая принятого сигнала суммарного канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 3 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая принятого сигнала разностного по азимуту канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 4 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая принятого сигнала разностного по азимуту канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 5 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая принятого сигнала разностного по углу наклона канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 6 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая принятого сигнала разностного по углу наклона канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 7 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая принятого сигнала компенсационного канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 8 |  | Вольт | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая принятого сигнала компенсационного канала на соответствующей поляризации (HH, HV, VH, VV) | В алгоритмы моделирования устройств и систем БРЛС |
| 9 |  | градус | 3,0…13,8 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности приёмной антенной системы БРЛС по азимуту, соответствующее направлению диаграммы направленности антенны на -ый объект | В алгоритмы моделирования отражённого от цели сигнала;  в алгоритмы моделирования пассивных помех |
| 10 |  | градус | 3,3…15 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности приёмной антенной системы БРЛС по углу места, соответствующее направлению диаграммы направленности антенны на -ый объект | В алгоритмы моделирования отражённого от цели сигнала;  в алгоритмы моделирования пассивных помех |
| 11 |  | градус | 3…11 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности передающей антенной системы БРЛС по азимуту, соответствующее направлению диаграммы направленности антенны на -ый объект | В алгоритмы моделирования отражённого от цели сигнала;  в алгоритмы моделирования пассивных помех |
| 12 |  | градус | 3,3…12 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности передающей антенной системы БРЛС по углу места, соответствующее направлению диаграммы направленности антенны на -ый объект | В алгоритмы моделирования отражённого от цели сигнала;  в алгоритмы моделирования пассивных помех |

#### Описание последовательности выполнения алгоритма

Последовательность шагов выполнения алгоритма описана ниже.

Шаг 1. Считываются текущие положения биссектрисы диаграммы направленности антенны БРЛС , и нормали к антенному полотну , .

Шаг 2. Рассчитывается ширина диаграммы направленности антенны БРЛС для текущего угла отклонения луча от нормали к антенному полотну и текущей несущей частоты зондирующего сигнала.

Для этого производится расчёт углов отклонения текущего положения биссектрисы диаграммы направленности антенны от её перпендикулярного положения к полотну антенны:

,

.

Производится расчёт текущей ширины диаграммы направленности передающей антенны и диаграммы направленности суммарного приёмного канала по азимуту и углу наклона:

,

,

,

.

При описании последующих шагов алгоритма для упрощения записи аргумент не записывается, но подразумевается.

Шаг 3. Расчёт множителей диаграммы направленности антенны на передачу.

Множители диаграммы направленности антенны на передачу зависят от формы соответствующих диаграмм направленности по азимуту и углу места, а также от координат наблюдаемых объектов.

Множитель диаграммы направленности антенны на передачу по азимуту для *l-*го наблюдаемого объекта в каждый момент времени определяется выражением:

,

где ,

.

Примечание. В приведенных выше математических выражениях и в последующих используется значение величины в единицах. Для получения этого значения выполняется пересчёт из дБ в единицы по формуле:

.

Множитель диаграммы направленности антенны на передачу по углу наклона для го наблюдаемого объекта в каждый момент времени определяется произведением диаграммы направленности антенны по углу наклона в свободном пространстве и модуля интерференционного множителя Земли передающей антенны при положении диаграммы направленности антенны по углу наклона *:*

.

Множитель диаграммы направленности антенны по углу наклона на передачу в свободном пространстве рассчитывается так:

,

где .

Модуль интерференционного множителя Земли антенны на передачу при положении диаграммы направленности по углу наклона определяется с помощью формулы:

.

В этом выражении

– соответствующее углу наклона наблюдаемого объекта значение модуля коэффициента зеркального отражения;

– фаза комплексного коэффициента зеркального отражения.

В случае горизонтальной поляризации зондирующего сигнала

,

.

При вертикальной поляризации зондирующего сигнала

.

Длина волны зондирующего сигнала определяется несущей частотой зондирующего сигнала:

.

Множитель диаграммы направленности антенны на передачу для текущих угловых координат и для каждого го моделируемого объекта рассчитывается как произведение соответствующих множителей диаграмм направленности на передачу по азимуту и углу места :

.

Шаг 4. Расчёт множителей суммарной диаграммы направленности антенны на приём.

Множитель суммарной диаграммы направленности антенны на приём для текущих угловых координат го моделируемого объекта и рассчитывается как произведение соответствующих множителей диаграмм направленности на приём по азимуту и углу места :

.

Множитель суммарной диаграммы направленности антенны на приём по азимуту определяется выражением:

,

где ,

.

Примечание. В приведенных выше математических выражениях и в последующих используется значение величины в единицах. Для получения этого значения выполняется пересчёт из дБ в единицы по формуле:

.

Множитель суммарной диаграммы направленности антенны по углу наклона на приём рассчитывается как произведение множителя диаграммы направленности антенны на приём по углу наклона в свободном пространстве и множителя модуля интерференционного множителя Земли антенны на приём при положении суммарной диаграммы направленности по углу наклона :

.

В этом выражении:

,

где .

Множитель модуля интерференционного множителя Земли антенны на приём при положении диаграммы направленности по углу наклона с учётом полученных при расчёте множителей диаграммы направленности передающей антенны значений модуля коэффициента зеркального отражения и фазы комплексного коэффициента зеркального отражения определяется выражением:

.

Шаг 5. Расчёт множителей диаграммы направленности антенны разностного по азимуту канала.

Множитель диаграммы направленности разностного по азимуту приёмного канала антенны БРЛС рассчитывается для текущих угловых координат моделируемого объекта и как произведение разностной по азимуту диаграммы направленности антенной системы и суммарной диаграммы направленности антенны по углу места :

.

Разностная по азимуту диаграмма направленности антенны на приём представляет собой разность двух игольчатых диаграмм направленности, рассовмещённых по азимуту:

.

Каждая из рассовмещённых по азимуту игольчатых диаграмм направленности разностного по азимуту приёмного канала антенны БРЛС определяется следующим образом:

,

,

где .

Множитель суммарной диаграммы направленности антенны по углу наклона рассчитывается так, как описано в шаге 3.

Шаг 6. Для всех моделируемых объектов рассчитываются множители разностной диаграммы направленности антенны на приём по углу места.

Множитель диаграммы направленности разностного по углу наклона приёмного канала антенны БРЛС рассчитывается для текущих угловых координат моделируемого объекта и как произведение разностной по углу наклона диаграммы направленности антенны и суммарной диаграммы направленности антенны по азимуту :

.

Разностная диаграмма направленности антенны БРЛС по углу наклона с учётом переотражений от поверхности Земли определяется выражением:

.

Присутствующая в этом выражении разностная диаграмма направленности антенны по углу наклона на приём в свободном пространстве представляет собой разность двух рассовмещённых по углу наклона игольчатых диаграмм направленности:

.

Рассовмещённые по углу наклона игольчатые диаграммы направленности разностного по углу наклона приёмного канала антенны БРЛС определяются так:

,

,

где .

Модуль интерференционного множителя Земли разностной диаграммы направленности антенны по углу наклона для направления на объект по углу наклона , положения биссектрисы диаграммы направленности по углу наклона рассчитывается в соответствии с формулой:

.

Шаг 7. Расчёт множителей диаграммы направленности компенсационного канала антенны.

Множитель диаграммы направленности компенсационного канала для текущих угловых координат го моделируемого объекта и определяется как произведение соответствующих множителей диаграмм направленности компенсационного канала по азимуту и компенсационного канала по углу наклона :

В этом выражении диаграмма направленности компенсационного канала по азимуту определяется следующим образом:

Диаграмма направленности антенны компенсационного канала по углу наклона представляет собой произведение диаграммы направленности антенны компенсационного канала по углу наклона в свободном пространстве и модуля интерференционного множителя Земли диаграммы направленности по углу наклона компенсационного канала антенны , причём

Диаграмма направленности компенсационного канала по углу наклона в свободном пространстве может быть представлена следующим образом:

Интерференционный множитель Земли диаграммы направленности по углу места компенсационного канала антенны при положении суммарной диаграммы направленности по углу наклона с учётом полученных при расчёте множителей передающей диаграммы направленности значений модуля коэффициента зеркального отражения и фазы комплексного коэффициента зеркального отражения определяется выражением:

.

Шаг 8. Определяются квадратурные составляющие принятого сигнала для каждого канала приёма с учётом четырёх элементов поляризационной матрицы (HH, HV, VH, VV, первый символ означает поляризацию излучения, второй – поляризацию приёма). Для уменьшения количества аналогичных записей далее индексы, характеризующие поляризацию сигнала на излучение и приём не указываются

Для суммарного канала приёма для каждого сочетания поляризации на передачу и приём:





Для разностного по азимуту канала приёма для каждого сочетания поляризации на передачу и приём:





Для разностного по углу наклона канала приёма для каждого сочетания поляризации на передачу и приём:





Для компенсационного канала приёма для каждого сочетания поляризации на передачу и приём:





Число соответствующих отражённым сигналам от целей слагаемых , количество постановщиков помех , число объёмно-распределённых облаков  в представленных выше выражениях может изменяться в зависимости от выбранной оператором тактической ситуации. При формировании каждой из составляющих принятого сигнала учитываются те значения множителей диаграмм направленностей, которые соответствуют текущему угловому положению моделируемого объекта.

#### Пояснения к алгоритму

Алгоритм разработан на основании математических моделей принятого радиолокатором сигнала, описанных в разделе 3 Книги 3 научно-технического отчёта за этап 1A.