Республиканское

научно-производственное унитарное предприятие

«Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси»

Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа

«Разработка для импульсно-доплеровского бортового радиолокатора пакетов прикладных программ оценки помехозащищённости и системы автоматического распознавания классов целей»

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**

**по части B «Разработка системы автоматического распознавания целей для импульсно-доплеровского бортового радиолокатора»**

Этап 2B

«Результаты эскизного проектирования SSPD и предварительные алгоритмы моделирования сигналов для радиолокатора Покупателя»

Книга 1

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Минск, 2020 г.

Содержание

[Перечень сокращений 4](#_Toc40196675)

[1 Анализ требований технического задания к системе моделирования сигналов и информации *(Шумский П.Н.)* 5](#_Toc40196676)

[2 Предварительные алгоритмы моделирования сигналов для радиолокатора Покупателя 5](#_Toc40196677)

[2.1 Алгоритмы моделирования движения целей и носителя бортового импульсно-доплеровского радиолокатора 5](#_Toc40196678)

[2.1.1 Алгоритмы моделирования движения целей *(Шумский П.Н.)* 5](#_Toc40196679)

[2.1.2 Алгоритмы моделирования движения носителя бортового импульсно-доплеровского радиолокатора *(Дятко А.А.)* 5](#_Toc40196680)

[2.2 Алгоритм моделирования принятого сигнала *(Шумский П.Н.)* 5](#_Toc40196681)

[2.3 Алгоритмы моделирования диаграммы направленности антенны бортового импульсно-доплеровского радиолокатора *(Шумский П.Н.)* 5](#_Toc40196682)

[2.4 Алгоритмы моделирования отраженных от целей сигналов бортового импульсно-доплеровского радиолокатора 5](#_Toc40196683)

[2.4.1 Алгоритмы моделирования отраженных от воздушных целей сигналов бортового импульсно-доплеровского радиолокатора *(Ярмолик С.Н., Храменков А.А.)* 5](#_Toc40196684)

[2.4.2 Алгоритмы моделирования отраженных от наземных целей сигналов бортового импульсно-доплеровского радиолокатора 5](#_Toc40196685)

[2.4.2.1 Алгоритм моделирования отражённого от корпуса наземной цели сигнала в режиме «воздух – поверхность» *(Ростов А.А., Романович А.Г.)* 5](#_Toc40196686)

[2.4.2.2 Алгоритм моделирования отражённого от вращающихся колёс и гусениц наземной цели сигнала в режиме «воздух – поверхность» *(Дятко А.А.)* 5](#_Toc40196687)

[2.5 Алгоритм моделирования внутренних шумов приемника *(Шумский П.Н.)* 5](#_Toc40196688)

[2.6 Алгоритмы моделирования мешающих отражений от поверхности земли 6](#_Toc40196689)

[2.6.1 Алгоритмы моделирования мешающих отражений от поверхности земли в режиме «воздух – воздух» *(Дятко А.А.)* 6](#_Toc40196690)

[2.6.2 Алгоритмы моделирования отражений от поверхности земли в режиме «воздух – земля» *(Ростов А.А.)* 6](#_Toc40196691)

[3 Эскизный проект программного обеспечения SSPD 6](#_Toc40196692)

[3.1 Разработка требований к принципам работы ПО SSPD 6](#_Toc40196693)

[3.1.1 Функциональные требования *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)* 6](#_Toc40196694)

[3.1.2 Нефункциональные требования *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)* 6](#_Toc40196695)

[3.2 Функциональное моделирование ПО SSPD *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)* 6](#_Toc40196696)

[3.2.1 Модель вариантов использования *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)* 6](#_Toc40196697)

[3.3 Разработка требований к структуре ПО SSPD 6](#_Toc40196698)

[3.3.1 Статическая модель ППП *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)* 6](#_Toc40196699)

[3.3.2 Требования к компонентам ППП *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)* 6](#_Toc40196700)

[Список использованной литературы 7](#_Toc40196701)

[3.4 Алгоритм моделирования отражённого сигнала от ракеты 7](#_Toc40196702)

[3.4.1 Краткое описание алгоритма 7](#_Toc40196703)

[3.4.2 Предустановленные параметры 8](#_Toc40196704)

[3.4.3 Параметры, задаваемые на интерфейсе пользователя 8](#_Toc40196705)

[3.4.4 Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования 9](#_Toc40196706)

[3.4.5 Выходные параметры алгоритма 10](#_Toc40196707)

[3.4.5.1.1 Описание последовательности выполнения алгоритма 11](#_Toc40196708)

[3.4.6 Пояснения к алгоритму 13](#_Toc40196709)

Перечень сокращений

|  |  |
| --- | --- |
| АРУ | - автоматическая регулировка усиления |
| БМП | - боевая машина пехоты |
| БРЛС | - бортовая радиолокационная станция |
| БМП | - боевая машина пехоты |
| БРМ | - боевая разведывательная машина |
| БРЭО | - бортовое радиоэлектронное оборудование |
| БТР | - бронетранспортёр |
| ГСН | - головка самонаведения |
| ДНА | - диаграмма направленности антенны |
| ДРЛО | - дальнее радиолокационное обнаружение |
| ЗРК | - зенитно-ракетный комплекс |
| КВД | - компрессор высокого давления |
| КНД | - компрессор низкого давления |
| КНД | - коэффициент направленного действия |
| КР | - крылатая ракета |
| КСД | - компрессор среднего давления |
| ЛА | - летательный аппарат |
| ЛБВ | - лампа бегущей волны |

# Анализ требований технического задания к системе моделирования сигналов и информации *(Шумский П.Н.)*

# Предварительные алгоритмы моделирования сигналов для радиолокатора Покупателя

## Алгоритмы моделирования движения целей и носителя бортового импульсно-доплеровского радиолокатора

### Алгоритмы моделирования движения целей *(Шумский П.Н.)*

### Алгоритмы моделирования движения носителя бортового импульсно-доплеровского радиолокатора *(Дятко А.А.)*

## Алгоритм моделирования принятого сигнала *(Шумский П.Н.)*

## Алгоритмы моделирования диаграммы направленности антенны бортового импульсно-доплеровского радиолокатора *(Шумский П.Н.)*

## Алгоритмы моделирования отраженных от целей сигналов бортового импульсно-доплеровского радиолокатора

### Алгоритмы моделирования отраженных от воздушных целей сигналов бортового импульсно-доплеровского радиолокатора *(Ярмолик С.Н., Храменков А.А.)*

### Алгоритмы моделирования отраженных от наземных целей сигналов бортового импульсно-доплеровского радиолокатора

Алгоритм моделирования отражённого от корпуса наземной цели сигнала в режиме «воздух – поверхность» *(Ростов А.А., Романович А.Г.)*

Алгоритм моделирования отражённого от вращающихся колёс и гусениц наземной цели сигнала в режиме «воздух – поверхность» *(Дятко А.А.)*

## Алгоритм моделирования внутренних шумов приемника *(Шумский П.Н.)*

## Алгоритмы моделирования мешающих отражений от поверхности земли

### Алгоритмы моделирования мешающих отражений от поверхности земли в режиме «воздух – воздух» *(Дятко А.А.)*

### Алгоритмы моделирования отражений от поверхности земли в режиме «воздух – земля» *(Ростов А.А.)*

# Эскизный проект программного обеспечения SSPD

## Разработка требований к принципам работы ПО SSPD

### Функциональные требования *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)*

### Нефункциональные требования *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)*

## Функциональное моделирование ПО SSPD *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)*

### Модель вариантов использования *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)*

## Разработка требований к структуре ПО SSPD

### Статическая модель ППП *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)*

### Требования к компонентам ППП *(Насонов И.В., Шамович Э.И.)*

Список использованной литературы

1. Форум «Стелс машины». <http://paralay.iboards.ru/.>
2. Welch M. Electronic Warfare Test and Evaulation. California: North Atlantic Treaty Organisation, 2012. – 314 p.

*При оформлении отчёта необходимо использовать стили оформления (основной текст, нумерация формул, названия таблиц, подрисуночные надписи, пояснения к формулам и т.д.), приведенные в шаблоне алгоритма.*

*Алгоритмы должны быть оформлены в соответствии с приведенным ниже шаблоном.*

Шаблон алгоритма

*При оформлении алгоритма необходимо учитывать не только предложенную в этом шаблоне структуру алгоритма, но и стили оформления.*

## Алгоритм моделирования отражённого сигнала от ракеты

Рассматривая ракеты с турбовентиляторными двигателями, можно утверждать, что аэродинамические объекты данного класса не имеют на поверхности наблюдаемых вращающихся отражательных элементов [1]. \_\_\_\_\_\_\_\_.

### Краткое описание алгоритма

Алгоритм предназначен для моделирования радиолокационных сигналов, отражённых от ракет.

Алгоритм позволяет моделировать для заданных условий наблюдения все характерные особенности отражений ракеты: комплексную огибающую отраженного сигнала с учетом требуемой мощности, используемой поляризации ЗС, а также формы и параметров временной корреляционной функции, время запаздывания и частотный сдвиг, обусловленные особенностями пространственного перемещения объекта.

### Предустановленные параметры

При моделировании отсчетов сигнала, отраженного от ракеты, используются предустановленные параметры, обусловленные характеристиками радиолокатора, режимом зондирования пространства наблюдения, а также характеристиками конкретного типа цели. Перечень используемых параметров представлен в таблице .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 3.1 | – Предустановленные параметры моделирования |

| **№** | **Обозначение** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  | м/c |  | Скорость распространения ЭМВ |
| 2 |  | м | 0,0,0 | Прямоугольные координаты точки стояния радиолокатора |
| 3 |  | кВт | 30 | Импульсная мощность зондирующего сигнала |
|  |  |  |  |  |
| 20 |  | ед. | (соответствует 25 дБ) | Величина развязки по поляризации |

### Параметры, задаваемые на интерфейсе пользователя

Перечень параметров, задаваемых с интерфейса пользователя и используемых при моделировании отсчетов сигнала, отраженного от ракеты, представлен в таблице .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 3. | – Параметры (данные), задаваемые в интерфейсе пользователя |

| **№** | **Обознач.** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | - | - | AIM-120 AMRAAM;  AGM-88 | Тип ракеты |
| 2 |  | МГц | 150…270,  шаг изменения  1 МГц | Несущая частота зондирующего сигнала |
| 3 |  | МГц | 0,1…1 с шагом 0,1 | Девиация частоты ЛЧМ радиоимпульса |
| 4 |  | мкс | 20…300 с шагом 10 | Длительность ЛЧМ радиоимпульсов |
| 5 |  | c |  | Время наблюдения отражённого сигнала |
| 6 |  | шт. | 25…60  (по умолчанию 60) | Количество импульсов подпачки многочастотного отражённого сигнала |
| 7 |  | c |  | Период повторения зондирующего сигнала |

Для конкретного типа ракеты и условий наблюдения применительно к интересующему диапазону несущих частот при использовании заданной поляризации на передачу и на прием из базы данных считывается совокупность отсчетов комплексной ЧХ ракеты, которая определяет тип моделируемого объекта:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3.1) |

где  – -й комплексный отсчет частотной характеристики ракеты, характеризующий мощность отраженного сигнала на заданной ( или ) поляризации при анализе отражений на -й несущей частоте.

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

Перечень параметров, поступающих на вход алгоритма моделирования отсчетов сигнала, отраженного от ракеты, представлен в таблице .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 3. | – Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования сигнала ракеты |

| **№** | **Обознач.** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Откуда поступает** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | (далее обозначается ) | м | 0…400000 | Дальность ракеты | Из алгоритма пересчёта координат и определения ракурса цели |
| 2 | (далее обозначается) | градус | 0…360 | Азимут ракеты | Из алгоритма пересчёта координат и определения ракурса цели |
|  |  |  |  |  |  |
| 15 |  | градус | 3,3…12 | Эффективное значение ширины диаграммы направленности передающей антенной системы РЛС по углу места, соответствующее направлению диаграммы направленности антенны на -ую цель | Из алгоритма моделирования принятого сигнала на выходе фильтра сжатия |

При моделировании угол крена ракеты равен нулю .

### Выходные параметры алгоритма

Выходные данные алгоритма приведены в таблице .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Таблица | 3.4 | – Выходные данные алгоритма |

| **№** | **Обознач.** | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Куда поступает** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая сигнала, отраженного от ракеты на горизонтальной поляризации и текущей несущей частоте применительно к моменту времени | В алгоритм моделирования принятого сигнала на выходе фильтра сжатия |
| 2 |  | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая сигнала, отраженного от ракеты на горизонтальной поляризации и текущей несущей частоте применительно к моменту времени | В алгоритм моделирования принятого сигнала на выходе фильтра сжатия |
|  |  |  |  |  |  |
| 6 |  | ед. | Определяется шириной диаграммы направленности приёмной антенны | Коэффициент усиления приёмной антенны | В алгоритм моделирования информации, поступающей из VHF радиолокатора |

##### Описание последовательности выполнения алгоритма

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке \_\_\_\_\_\_\_. *(Необходимость наличия или отсутствия блок-схемы определяет автор алгоритма. Алгоритм должен быть изложен так, чтобы последовательность операций и их содержание были понятны).*

Блок 1. Чтение с интерфейса пользователя данных, необходимых для организации процесса моделирования отсчетов сигнала, отраженного от имитируемой ракеты. Перечень читаемых данных рассмотрен в подпункте 3.4.3

Блок 2. Предварительные вычисления.

Производятся необходимые для моделирования вычисления. При необходимости производится расчет интервала временной дискретизации, соответствующий заданному размеру дискрета дальности радиолокатора (). Определяется количество дискрет дальности , укладывающихся в пределах протяженности моделируемой ракеты:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3.2) |

где  - размер дискрета дальности, соответствующий используемому интервалу временной дискретизации;

 - максимальная протяженность (длина) моделируемой крылатой ракеты.

Производится расчет угловых размеров строба моделирования ракеты в азимутальной и угломестной плоскостях:

|  |  |
| --- | --- |
| ,  , |  |

где , () - эффективное значение ширины диаграммы направленности приёмной антенной системы РЛС по азимуту (по углу места);

 – начальное расстояние от радиолокатора до моделируемой ракеты (из алгоритма пересчёта координат и определения ракурса цели).

С целью обеспечения удобства моделирования временных отсчетов сигнала, отраженного от ракеты, осуществляется переход от ЧХ ракеты к отсчетам ее импульсной характеристики:

|  |  |
| --- | --- |
| , , | (3.3) |

где  - шаг изменения несущей частоты зондирующего сигнала;

 - вектор отсчетов комплексной импульсной характеристики ракеты, рассчитанный для анализируемых условий наблюдения применительно к интересующему диапазону несущих частот при использовании заданной поляризации ( или ) на передачу и на прием (рисунок ).



|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Рисунок |   3.1 – Иллюстрация распределения мощности отраженного сигнала ракеты в соответствии с ее импульсной характеристикой |

…

Блок 12.Отображение результатов моделирования.

При необходимости производится отображение результатов моделирования. Сформированные отсчеты сигнала, отраженного от ракеты, передаются для дальнейшего учета в реализации принятого сигнала.

### Пояснения к алгоритму

*В этом подразделе даются ссылки на результаты, изложенные в отчёте этапа 1 или, если в алгоритме появился не упоминавшийся в отчёте 1 материал, даётся теоретическое обоснование используемых в алгоритме решений (по возможности с формулами и рисунками).*