



1881

ВИСШЕ ВОЕННОМОРСКО УЧИЛИЩЕ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”



ФАКУЛТЕТ „НАВИГАЦИОНЕН”

КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОНИКА”

Желязко Кирилов Николов

**ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОСИСТЕМИ С
РАЗШИРЕН ЧЕСТОТЕН СПЕКТЪР**

научна специалност 02.07.03. „Радиолокация и радионавигация”

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор”

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

ДОЦ. Д-Р ЦВЯТКО ТОДОРОВ ЦАНЕВ

НАУЧНО ЖУРИ:

ПРОФ. Д.Т.Н. АНДОН ДИМИТРОВ ЛАЗАРОВ

ДОЦ. Д-Р ДРАГАН АНДОНОВ БЛАГОЕВ

ДОЦ. Д-Р ЧАВДАР БРАНИМИРОВ ОРМАНОВ

ПРОФ. Д.Т.Н. ТРИФОН ДИМИТРОВ ПЕНКОВ

ДОЦ. Д-Р ЦВЯТКО ТОДОРОВ ЦАНЕВ

ДАНИИ ЗА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:

Дисертационният труд се състои от 117 страници.

Основен текст - 109 страници

Брой на литературните източници – 127

Брой на фигурите – 35

Брой на таблиците – 15

Брой на формулите – 78

Брой на публикациите по дисертацията – 4

**Защитата на дисертационния труд ще се състои на
..... отч. в зала на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”.**

**Авторефератът, рецензиите и становищата на членовете на
научното жури са публикувани в сайта на училището:**

www.naval-acad.bg

**Материалите по защитата са на разположение на
интересуващите се в канцеларията на факултет „Навигационен” на
ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”. Адрес: гр. Варна, ул. ”Васил Друмев”
№73.**



1881

ВИСШЕ ВОЕННОМОРСКО УЧИЛИЩЕ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”



ФАКУЛТЕТ „НАВИГАЦИОНЕН”

КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОНИКА”

Желязко Кирилов Николов

**ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОСИСТЕМИ С
РАЗШИРЕН ЧЕСТОТЕН СПЕКТЪР**

научна специалност 02.07.03. „Радиолокация и радионавигация”

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор”

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

ДОЦ. Д-Р ЦВЯТКО ТОДОРОВ ЦАНЕВ

НАУЧНО ЖУРИ:

ПРОФ. Д.Т.Н. АНДОН ДИМИТРОВ ЛАЗАРОВ

ДОЦ. Д-Р ДРАГАН АНДОНОВ БЛАГОЕВ

ДОЦ. Д-Р ЧАВДАР БРАНИМИРОВ ОРМАНОВ

ПРОФ. Д.Т.Н. ТРИФОН ДИМИТРОВ ПЕНКОВ

ДОЦ. Д-Р ЦВЯТКО ТОДОРОВ ЦАНЕВ

ВАРНА • 2011

Докторантът работи в катедра „Електроника” на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”.

Изследванията по дисертационния труд са извършени във ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”.

Дисертационният труд е насочен за защита от Факултет „Навигационен” при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, в съответствие на чл. 5, ал. 1 от ЗРАС.

Забележка: Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези от дисертацията.

Автор: к-н III р. инж. Желязко Кирилов Николов

Заглавие: „Възможности за въздействие на радиосистеми с разширен честотен спектър”

Тираж: броя

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Радиосистемите с разширен честотен спектър притежават висока устойчивост на смущения. Те са създадени и първоначално са използвани единствено за военни цели, но днес се развиват бурно и в комерсиалната област.

Глобалната спътникова радио-навигационна система NAVSTAR (Navigation System using Timing And Ranging), популярна като GPS (Global Positioning System), е пример за бурно развитие и нарастващо значение на приложенията на радиосистемите с разширен честотен спектър и по-конкретно на радиосистемите с непосредствено разширяване на спектъра. През последните години се наблюдава повишена зависимост на военните оръжейни системи, и по-конкретно на осигуряването на насочването на ракетно оръжие, от GPS системата. Актуалността на проблема за изследването на устойчивостта на системата за управление на тези оръжия, на преднамерени смущения, се повишава и от липсата на решение за ефективното им електронно противодействие.

Мотиви

Развитието на радиосистемите с разширен честотен спектър служи като катализатор за създаването и прилагането на все по-ефективни средства за въздействие върху тях. Анализът на резултатите от изследването и детайлното познаване на възможностите за въздействие върху тези радиосистеми е важно условие за успешното водене на съвременна електронна война.

Цел и задачи

Цел на дисертацията е обосноваването на способ за ефективно въздействие върху конкретна радиосистема с разширен честотен спектър, с оглед практическото му прилагане.

За постигането на целта е необходимо да се решат следните основни задачи:

- моделиране на GPS система и изследване на устойчивостта ѝ в условията на въздействие на ширококолентов шум;
- провеждане на натурен експеримент с GPS система и изследване на устойчивостта ѝ в условията на въздействие на ширококолентов шум;
- определяне на начин за електронно противодействие срещу ракетно оръжие, което използва GPS приемник за насочване. Разработване на критерии, на базата на адаптиране на известни такива, за оценяване на ефективността на въздействието.

Предмет

Предмет на разработката е теоретично и експериментално изследване на устойчивостта на радиосистема с разширен честотен спектър на преднамерени смущения.

Новост

В резултат на проведената научно-изследователска и експериментална работа по темата на дисертацията са получени следните основни резултати:

- на базата на анализ на възможностите за въздействие на GPS приемник, използван за насочване от ракетно оръжие, е установено, че ефективно електронно противодействие срещу него може да бъде осигурено чрез ширококолентови смущения;
- чрез експериментално изследване на въздействието на предавател на преднамерени смущения върху GPS приемници са получени данни, необходими при работата и проверката на адекватността на модел на GPS система, работеща в условията на преднамерени смущения, в Simulink среда;
- построен е модел на GPS система, работеща в условията на преднамерени смущения, в Simulink среда, резултатите от действието на който са използвани за определянето на параметри на постановка на преднамерени смущения за защита на неподвижна цел от ракетно оръжие, използващо GPS приемник за насочване;
- определен е теоретичен израз (4.4), който позволява да бъде изчислена необходимата мощност на предавател на преднамерени смущения за осигуряването на въздействие на GPS приемник, при дадено пределно разстояние;
- разработен е тактически критерий – вероятност за изпълнение на бойна задача при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху системата за управление на оръжието, чрез адаптиране на известен критерий за оценяване на ефективността на мероприятията по електронно противодействие в интерес на осигуряване на бойните действия на авиацията по преодоляване на противовъздушната отбрана на противника;
- разработен е тактически критерий – отклонение на ракетата от целта при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху системата за управление на оръжието, чрез адаптиране на известен критерий за оценяване на ефективността на електронно противодействие срещу ракетно оръжие с радиолокационна глава за насочване;

Приложение

Вижданията на автора за насоките на бъдещите приложения на посочените резултати се свеждат до:

- изследване и усъвършенстване на разработения софтуерен модел, с оглед осигуряването на данни, които позволяват направата на изводи за устойчивостта на дадена радиосистема с непосредствено разширяване на спектъра на смущения и за необходимите условия за нейното ефективно електронно противодействие;
- предложение за прилагане на определения теоретичен израз (4.4), при изчисляване на необходимата мощност на предавател на предназначени смущения за осигуряването на въздействие на GPS приемник, при дадено пределно разстояние;
- предложение за прилагане на адаптираните критерии за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху система за управление на ракетно оръжие, използваща GPS приемник.

Публикации

Основни части на дисертационния труд са публикувани в издания на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” и в списание в чужбина.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Първа глава

Обзор на възможностите за въздействие на радиосистеми с разширен честотен спектър

Сравнителният анализ на възможностите за въздействие на радиосистеми с разширен честотен спектър позволява да бъдат направени изводи относно необходимите условия за тяхното ефективно електронно противодействие. Това е причина обзорът да бъде насочен към осигуряването на информация за извършването на този анализ. Направен е преглед на възможностите за въздействие на всеки от двата типа радиосистеми с разширен честотен спектър използвани днес:

- радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра (Direct-Sequence Spread Spectrum Systems);
- радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота (Frequency Hopping Spread Spectrum Systems).

1.2. Възможности за въздействие на радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра.

Възможностите за въздействие на радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра включват използване на:

- широколентови смущения;
- теснолентови смущения;
- импулсни смущения;
- смущения чрез повторение на сигнала.

1.2.6. Сравнителен анализ на възможностите за въздействие на радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра.

Сравнителният анализ на възможностите за въздействие на радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра е извършен на базата на съпоставка на зависимостите на вероятността за грешка P_e от отношението на енергията на информационен импулс към спектралната плътност на шума E_b/N_j .

Колкото по-висока е стойността на разширяващия фактор на разглежданата радиосистема, толкова по-висока е нейната устойчивост на смущения [80]. Това е причината разглежданите възможности за въздействие при които се използват некорелирани смущения (широколентови, теснолентови и импулсни смущения) да бъдат относително неефективни при радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра със сравнително висока стойност на разширяващия фактор [103]. Анализът на зависимостите от фиг. 1.3. показва, че при едно и също ниво на отношението на енергията на информационен импулс към спектралната плътност на шума E_b/N_j , широколентовите смущения осигуряват по-висока стойност на вероятността за грешка P_e от импулсните. Съвременните радиосистеми, при които се използват адаптивни филтри, кодиране с повторение и интерливинг са сравнително устойчиви на импулсни и теснолентови смущения [90, 94, 98]. Но изводът, направен в резултат на анализа на израз (1.14), показва, че това не е достатъчна защита при използването на широколентови смущения с мощност, много по-висока от тази на полезния сигнал. Въпреки че, използването на сравнително висока мощност може да доведе до лесното откриване на предавателя на преднамерени смущения, въздействието с широколентов шум може да се приеме за най-ефективно, в сравнение с останалите некорелирани смущения.

В резултат на разгледаните в т. 1.2.5. особености на корелираните смущения се установи, че използването им за въздействие върху радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра, дори при ниски стойности на отношението на енергията на информационен импулс към спектралната плътност на шума E_b/N_j , води до по-голяма вероятност за грешка P_e в сравнение с резултата от въздействието с широколентови смущения. Но ефективността на станцията за

преднамерени смущения чрез повторение на сигнала е ограничена от изискванията за ниска стойност на времето за обработка на сигнала T_{rep} и сравнително малки разстояния между нея, предавателя и приемника на радиосистемата с непосредствено разширяване на спектъра.

Следователно при избора на електронно противодействие срещу дадена радиосистема с непосредствено разширяване на спектъра е необходимо да бъдат отчетени както нейните особености, така и възможностите за разполагане на предавателя на преднамерени смущения в близост до нея и запазването на скритостта му.

1.3. Възможности за въздействие на радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота.

Възможностите за въздействие на радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота включват използване на:

- широколентови смущения;
- теснолентови смущения;
- смущения чрез тонове;
- следящи смущения.

1.3.6. Сравнителен анализ на възможностите за въздействие на радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота.

Ниската ефективност на широколентовите смущения, в сравнение с всички останали възможности за въздействие на радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота [90, 94], се дължи на факта, че излъчената мощност е разпределена в сравнително широка честотна лента.

Съсредоточаването на мощността на предавателя на преднамерени смущения в определена честотна лента, при теснолентовите смущения, води до повишаване на вероятността за грешка на информационен символ в сравнение с широколентовите [94].

Използването на широколентови смущения е оправдано при недостатъчна информация за параметрите на радиосистемата със скокообразно изменяща се работна честота. Познаването на тези параметри позволява прилагането на теснолентови смущения и смущения с тонове. От друга страна, като защита от тези две възможности за въздействие при радиосистемите се използват кодиране с повторение и изменения на работната честота повече от един път за информационен символ.

Използването на тонове е най-ефективният начин за въвеждане на шум в некохерентен детектор [90], но е необходима информация за подносещите на всяка стойност на работната честота в частта от честотната лента, подложена на въздействие.

Анализът на особеностите на разгледаните възможности за въздействие на радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота показва, че високата скорост на сканиране на съвременните

широколентови сканиращи приемници и съсредоточаването на излъчената мощност на определена честота, позволяват чрез използването на следящи смущения да бъде осигурено най-ефективно въздействие. Въпреки това, ефективността на това въздействие е ограничена от редица фактори. Най важният от тях е високата скорост на изменение на работната честота [53, 80] (малка стойност на активния интервал T_h). Освен това, необходимата скорост на сканиране е обратнопропорционална на T_h [43].

Използването от някои радиосистеми, няколко хиляди изменения на честотата в секунда, водят до необходимостта от висока точност на синхронизация на приемника и предавателя. От друга страна, работата на радиосистемите със скокообразно изменяща се работна честота, които използват външен източник за синхронизация, например GPS приемник, може лесно да бъде нарушена при смущаване на канала за синхронизация.

За осигуряването на ефективно електронно противодействие е необходимо станцията за следящи смущения да се разположи близо до радиосистемата със скокообразно изменяща се работна честота, за да бъде минимизирано закъснението, резултат от времето за разпространение на сигнала [45].

Съвременните радиосистеми използващи схеми за игнориране на сигнали, приети от посока различна от тази на полезния сигнал [72], създават ограничения свързани с позиционирането на станцията по направлението “предавател – приемник на радиосистемата”.

Към сканиращите приемници на станциите за следящи смущения има по-високи изисквания за отношението сигнал – шум, отколкото към приемниците на радиосистемите със скокообразно изменяща се работна честота [53]. Фактът, че за да работи ефективно, станцията използва приемник непрекъснато, я прави уязвима от смущения. Това означава, че използването на неефективно срещу радиосистемата със скокообразно изменяща се работна честота смущение, в по-голяма част от работната ѝ честотна лента, например широколентов шум с ниска мощност, ще блокира действието на станцията за следящи смущения.

Следователно при избора на ефективно електронно противодействие срещу радиосистема със скокообразно изменяща се работна честота е необходимо да бъдат отчетени познаването на параметрите ѝ, особеностите при използването ѝ и възможностите за разполагане на предавателя на преднамерени смущения в близост до нея или по направлението “предавател – приемник на радиосистемата”.

1.4.1. Избор на обект на изследването.

За постигането на целта на дисертацията изследването е насочено към конкретна радиосистема с разширен честотен спектър - глобалната спътникова радио-навигационна система NAVSTAR, популярна като GPS.

За осигуряване на извършването на анализ на възможностите за въздействие на GPS приемник, използван за насочване от ракетно оръжие, са разгледани някои особености на това оръжие.

1.4.4. Анализ на възможностите за въздействие на GPS приемник, използван за насочване от ракетно оръжие.

Сравнителният анализ, описан в т. 1.2.6, показва, че корелираните смущения са най-ефективният начин за въздействие на радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра. Това се отнася и за GPS системата, но ефективността и в този случай може да се осигури, ако не бъде пренебрегнато изискването, че станцията за преднамерени смущения чрез повторение на сигнала трябва да бъде разположена на сравнително малко разстояние от приемника. Това показва, че корелираните смущения могат да бъдат използвани за осигуряването на въздействие срещу приемници, използвани от обекти, които се намират в район със сравнително малки размери. Когато GPS приемникът се намира на бързо движещ се обект (ракетно оръжие), разстоянията между него и станцията за преднамерени смущения ще се изменят значително. Това ще направи смущението неефективно. От друга страна, особеност на GPS приемниците, които работят на честота L₂ (за военни цели), е наличието на защита от корелирани смущения (anti-spoofing), чрез криптирането на P кода. Този факт позволява в приемника да бъдат отстранени корелираните смущения и да се декриптира полезния сигнал [57].

Следователно ефективно въздействие срещу GPS приемник на ракетно оръжие не може да бъде осигурено чрез използване на корелирани смущения.

Прилагането на теснолентови смущения за въздействие срещу GPS приемник, който работи на честота L₂=1227,60MHz, P(Y) код, е неефективно, защото величината на разширяващия фактор и използваната честотна лента са сравнително големи.

Импулсните смущения не осигуряват ефективно въздействие срещу GPS приемници, защото при тях стойността на отношението на енергията на информационен импулс към спектралната плътност на шума E_b/N_j е много по-малка от 0,7 (GPS приемниците работят при нива на наблюдавания шумов фон до 30dB по-високи от нивото на полезния сигнал).

Използването на сравнително висока стойност на разширяващия фактор при GPS системата е една от причините за нейната сравнително висока шумоустойчивост. Преодоляването ѝ и елиминирането на използваните техники за защита от смущения, включително ефективността на използваното кодиране на сигнала, може да бъде осъществено при разпределяне на мощността на смущаващия сигнал в цялата честотна лента на приемника. Това се осигурява чрез използване на широколентови смущения.

Следователно ефективно въздействие срещу GPS приемник, използван за насочване от ракетно оръжие, може да бъде осигурено чрез широколентови смущения.

1.5. Изводи по първа глава.

1. В резултат на направения сравнителен анализ в т. 1.2.6. е установено, че използването на корелирани смущения за въздействие върху радиосистема с непосредствено разширяване на спектъра води до по-голяма вероятност за грешка в сравнение с резултата от въздействието с широколентови, теснолентови и импулсни смущения. Но ефективността в този случай е ограничена от изискванията за ниска стойност на времето за обработка на сигнала в станцията за предназначени смущения чрез повторение на сигнала и сравнително малки разстояния между нея, предавателя и приемника на смущаваната радиосистема.

2. Чрез анализ на особеностите на разгледаните възможности за въздействие на радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота е установено, че най-ефективно електронно противодействие може да бъде осигурено чрез използването на следящи смущения, като не се пренебрегват свързаните с това изисквания.

3. Установено е, че при избора на електронно противодействие срещу дадена радиосистема с разширен честотен спектър е необходимо да бъдат отчетени както нейните особености и параметри, така и възможностите за разполагане на предавателя на предназначени смущения в близост до нея и запазването на скритостта му.

4. В резултат на обобщаване на особеностите на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване е установено, че електронно противодействие срещу него може да бъде осигурено при условие, че постановката на смущения е извършена в сравнително обширен район до или около целта.

5. Анализът на възможностите за въздействие на GPS приемник, използван за насочване от ракетно оръжие показва, че ефективно електронно противодействие срещу него може да бъде осигурено чрез широколентови смущения.

Втора глава

Моделиране на GPS система

работеща в условията на въздействие на широколентов шум

2.1. Въведение.

Днес съществува разнообразие от специализиран софтуер, който позволява моделиране на радиосистеми и изследване на устойчивостта им на предназначени смущения. Използването на такива програми

осигурява възможност изследванията да бъдат проведени за различни параметри на наблюдаваната система и предавателя на преднамерени смущения, при минимален разход на време и средства.

2.2. Цел и етапи на моделирането на GPS система.

Целта на моделирането е да се построи GPS приемник, който да бъде изследван в условията на въздействие на широколентови смущения. За осигуряването на това е построен и предавател на системата, който да осигури полезния сигнал за симулацията.

Моделирането е извършено в Simulink среда под Matlab 7.7.

Етапите на моделирането са:

- определяне на основните съставни части на GPS системата и техните особености от гледна точка на осигуряване на моделирането;
- избор на блокове от Simulink библиотеката (Simulink Library) и построяване на модела;
- проверка на работоспособността на модела.

2.4. Избор на блокове от Simulink библиотеката и построяване на модела.

За осигуряване на решаването на задачите на дисертацията са построени два модела на GPS система, която работи в условията на широколентов шум.

Първият модел е на система GPS, работеща на честота $L_1=1575,42\text{MHz}$, C/A код, блоковата схема на който е показана на фиг. 2.6.

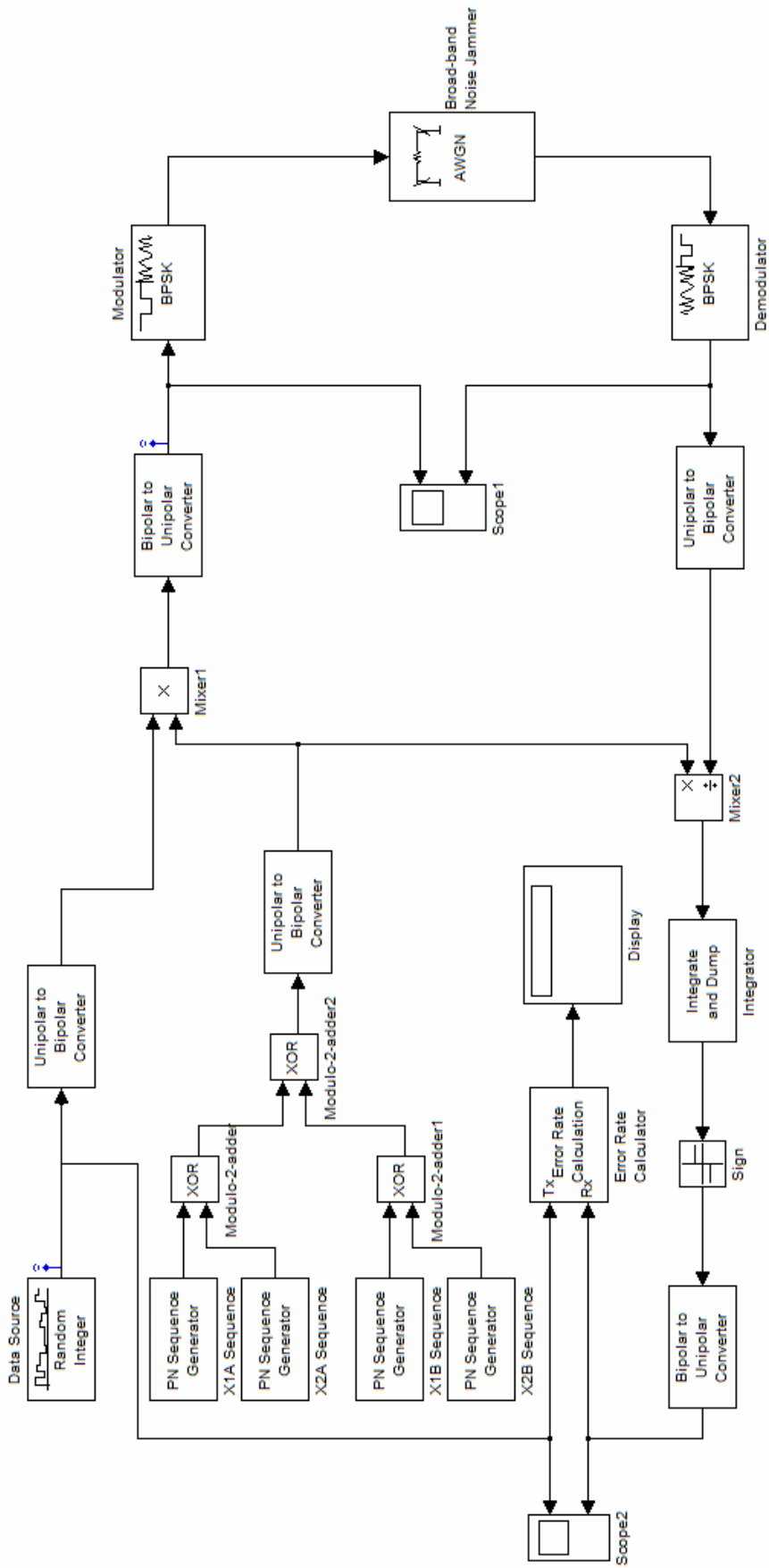
Вторият модел е на система GPS, работеща на честота $L_2=1227,60\text{MHz}$, P(Y) код, блоковата схема на който е показана на фиг. 2.7.

2.5. Проверка на работоспособността на модела.

Известно е, че процесорното навигационно решаващо устройство на GPS приемник не е в състояние да определи географски координати, когато коефициентът на двоична грешка достигне стойност 1.10^{-5} [57, 67].

При проверката на работоспособността на двата модела на система GPS, бяха въведени различни стойности на отношението сигнал-шум в канала за връзка.

Блокът за отчитане на коефициента на двоична грешка на модела на система GPS, работеща на честота $L_1=1575,42\text{MHz}$, C/A код, показва стойност 1.10^{-5} при въведено отношение сигнал-шум на входа на приемника -78dB .



Фиг. 2.7. Блокова схема на модел на система GPS, Р код, в Simulink среда.

Блокът за отчитане на коефициента на двоична грешка на модела на система GPS, работеща на честота $L_2=1227,60\text{MHz}$, P(Y) код, показва стойност 1.10^{-5} при въведено отношение сигнал-шум на входа на приемника -89dB .

Построените два модела са достатъчно гъвкави, за да позволят въвеждането на данни, резултат от проведен натурен експеримент или от изчисления по математически формули. Резултатите от действието на моделите за различни стойности на мощността на източника на широколентов шум и различни разстояния между него и приемника (различни стойности на отношението сигнал-шум) са показани и анализирани в трета и четвърта глава на дисертацията.

Адекватността на двата модела е проверена в трета глава на дисертацията.

2.6. Изводи по втора глава.

1. Построен е модел, в Simulink среда, на система GPS, работеща на честота $L_1=1575,42\text{MHz}$, C/A код, който позволява изследването ѝ в условията на широколентов шум.

2. Построен е модел, в Simulink среда, на система GPS, работеща на честота $L_2=1227,60\text{MHz}$, P(Y) код, който позволява изследването ѝ в условията на широколентов шум.

3. При проверката на работоспособността на двата модела са намерени стойностите на отношението сигнал-шум, при които GPS приемниците, работещи в условията на широколентов шум, не определят географски координати.

Трета глава

Експериментално изследване на въздействието на източник на широколентов шум върху GPS система

3.1. Въведение.

Експерименталното изследване на въздействието на предавател на преднамерени смущения върху дадена радиосистема позволява да бъдат направени изводи относно устойчивостта ѝ на смущения. Наличието на данни, резултат от действието на софтуерен модел на разглежданата система, осигурява възможността за сравняването им с експериментално получените. По този начин, освен доказване на адекватността на модела и неговото пълноценно използване, могат да бъдат направени по-комплексни изводи относно устойчивостта на изследваната радиосистема на смущения и създаването на условия за нейното ефективно електронно противодействие.

3.2. Цели, етапи и постановка на експеримента.

Експерименталното изследване е проведено с източник на широколентов шум и GPS приемници, които работят на честота $L_1=1575,42\text{MHz}$, C/A код.

Целите на експеримента са:

- да се определи пределното разстояние на което предавателят на преднамерени смущения (ППС), със зададена мощност, може да въздейства на GPS приемник;
- да се сравнят нивата на плътността на мощността, създадена от предавателя на преднамерени смущения на експериментално определеното му пределно разстояние и плътността на мощността, създадена от орбитален GPS предавател;
- да се извърши апроксимация на експериментално получената зависимост на плътността на мощността S_{JAM} , създадена от предавателя на преднамерени смущения, от разстоянието D до него.

Етапите на експеримента са:

- определяне на носещата честота и широчината на честотната лента на предавателя на преднамерени смущения;
- установяване на пределното разстояние на което предавателят на преднамерени смущения може да въздейства на GPS приемник;
- определяне на зависимостта на плътността на мощността S_{JAM} , създадена от предавателя на преднамерени смущения от разстоянието D до него..

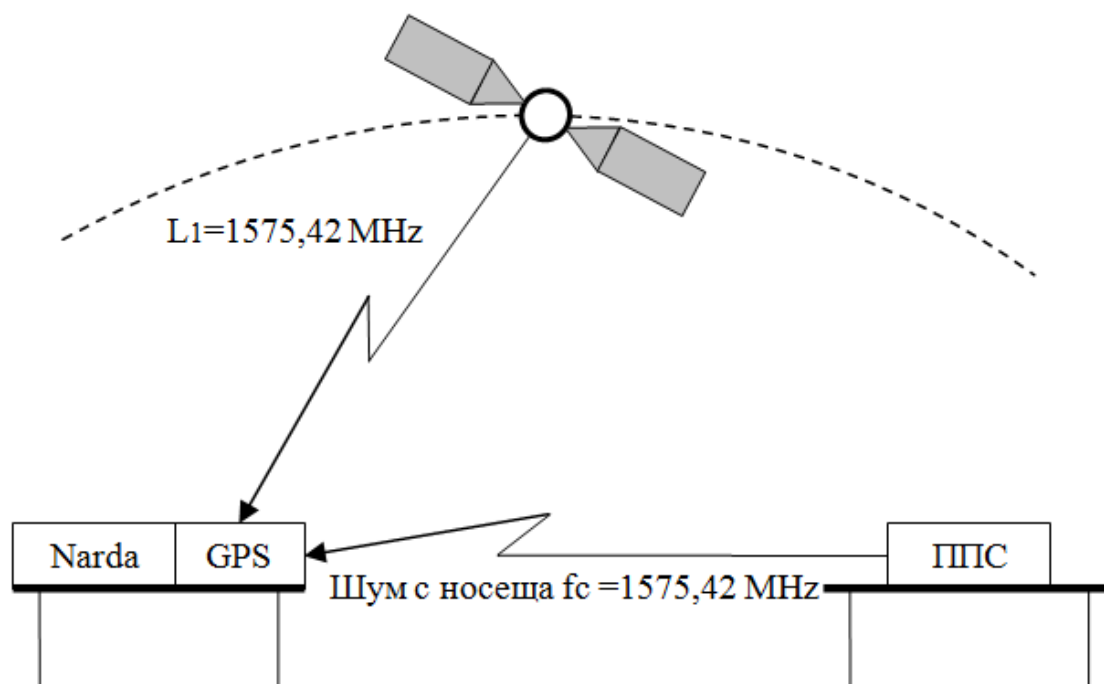
За провеждането на експеримента са използвани:

- корабен GPS приемник Trimble NT300D;
- корабен GPS приемник Simrad CP50;
- преносим малогабаритен GPS приемник Garmin GPSMAP76CS;
- прибор за измерване на пътност на мощност Narda 8718;
- предавател на преднамерени смущения със следните технически данни:
 - носеща честота $f_c=1575,42\text{ MHz}$, модулирана от широколентов шум;
 - мощност $P=500\text{ mW}$;
 - коефициент на усилване на антената $G=2,1\text{ dBi}$.

Експериментът с GPS приемник Trimble NT300D е проведен в акваторията на Военноморска база Варна, а с останалите два приемника в района на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”.

3.4. Сравняване на нивата на плътността на мощността, създадена от предавателя на преднамерени смущения и плътността на мощността създадена от орбитален GPS предавател на експериментално определеното пределно разстояние.

Известно е, че вероятността за грешка (коэффициентът на двоична грешка) на радиосистема с непосредствено разширяване на спектъра, зависи от отношението на енергията на информационен импулс към спектралната плътност на шума E_b/N_j (1.14). Тази зависимост показва, че пределната стойност на коэффициента на двоична грешка при която приемникът на радиосистемата не може да възпроизвежда съдържащата се в полезния сигнал информация, при известни брой импулси на разширяващата поредица за информационен импулс N и мощност на полезния сигнал на входа на приемника P_s (например GPS приемник), може да се постигне при определена стойност на мощността на смущаващия сигнал P_j



Фиг. 3.1. Постановка на експеримента.

Един от етапите на експеримента е свързан с определянето на пределното разстояние D_{lim} . На това разстояние нивото на смущаващия сигнал на входа на приемника е с пределно ниската стойност, при която се осигурява коэффициент на двоична грешка ($1 \cdot 10^{-5}$ [57, 67]), който не позволява извличането на полезната информация от сигнала.

При провеждането на експеримента, съгласно постановката на фиг. 3.1, се установи, че трите наблюдавани GPS приемника не регистрират географски координати при включване на предавателя на

преднамерени смущения на разстояние един метър от тях. При постепенното увеличаване на разстоянието между GPS приемниците и източника на смущението бяха достигнати различни стойности за пределното разстояние D_{lim} за трите приемника. Тези експериментално определени разстояния са показани в таблица 3.2.

Нивото на сигнала на повърхността на Земята, създадено от орбитален предавател на GPS системата, е под прага на наблюдавания шумов фон. По тази причина за сравняването на нивата на плътността на мощността S , създадена от двата предавателя, при съответните разстояния между тях и наблюдавания GPS приемник е необходимо да бъдат направени изчисления. За тази цел е използвана следната формула [46]:

$$S = \frac{PG}{4\pi D^2} \quad (3.1)$$

където:

S - плътност на мощност [mW/cm^2];

P - мощност [mW];

G - коефициент на усилване на антената, $G = 10^{10}$ ^[dBi];

D - разстояние от предавателя до разглежданата точка [cm].

Еквивалентната изотропно излъчена мощност (Equivalent Isotropically Radiated Power – EIRP), която е произведение от P и G , осигурена от предавател на GPS сигнал на честота $L_1=1575,42MHz$, C/A код, е 25,4dBW [121].

Средната стойност на разстоянието от GPS предавателите до повърхността на Земята може да бъде приета за 20200km [111].

След заместване на посочените величини във формула (3.1) е получена стойността на плътността на мощността, създадена от орбитален GPS предавател на честота L_1 , C/A код, на повърхността на Земята:

$$S_{GPS_{L_1}} = 6,79 \cdot 10^{-15} mW/cm^2$$

Резултатите от изчисленията по формула (3.1), за определяне на създадената на разстояние D_{lim} , плътност на мощността S_{lim} , от предавателя на преднамерени смущения са показани в таблица 3.2.

Отношението сигнал към смущение v' на входа на GPS приемниците, резултат от действието на предавателя на преднамерени смущения, без отчитане на фоновия шум в [dB], е разгледано като отношение на S_{GPS} [mW/cm^2] към плътността на мощността, създадена от предавателя на преднамерени смущения S_{JAM} [mW/cm^2]. Поради разликата от няколко порядъка в нивата на енергията на сигналите е използвана логаритмична мярка:

$$v' = 10 \log_{10} \frac{S_{GPS}}{S_{JAM}} [dB] \quad (3.2)$$

Резултатите от изчисленията по формула (3.2) за $S_{JAM}=S_{lim}$ са показани в таблица 3.2.

Таблица 3.2

№	модел GPS приемник	D_{lim} [m]	S_{lim} [dBm/cm ²]	v' [dB]
1	NT300D	240	-68,38	-73,3
2	GPSMAP76CS	210	-67,22	-74,45
3	Simrad CP50	120	-62,36	-79,32

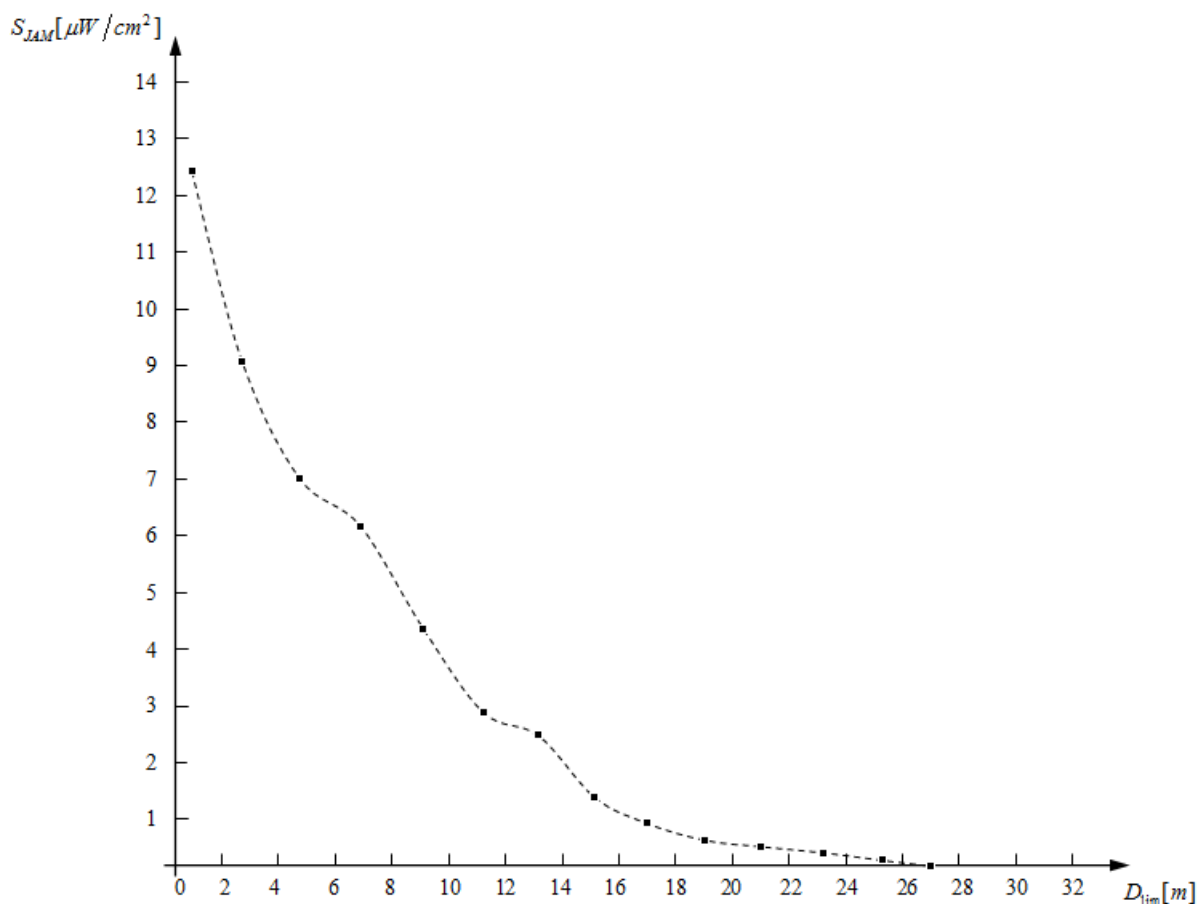
Получените стойности за v' позволяват да бъде оценена степента на въздействието за конкретен образец GPS приемник.

3.5. Определяне на зависимостта на плътността на мощността, създадена от предавателя на преднамерени смущения, от разстоянието.

Резултатите от измерванията на плътността на мощността при различни разстояния до предавателя на преднамерени смущения, при честота на измерителния прибор $f=1,57\text{GHz}$, са показани в таблица 3.3. Зависимостта $S_{JAM} = f(D)$, по данни от таблица 3.3, е нанесена на фиг. 3.3.

Таблица 3.3

№	D [m]	S_{JAM} [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]
1	1	12,6
2	3	9,1
3	5	7,1
4	7	6,2
5	9	4,5
6	11	3,2
7	13	2,7
8	15	1,8
9	17	1,2
10	19	0,9
11	21	0,8
12	23	0,5
13	25	0,2
14	27	0



Фиг. 3.3. Зависимост на плътността на мощността от разстоянието до ППС, получена от експерименталните данни.

За да бъдат отстранени случайните отклонения, свързани с неизбежната грешка при отчитането на експерименталните данни, е необходимо да се апроксимира експериментално получената зависимост $S_{JAM} = f(D)$, като полученият резултат да не ѝ противоречи. За целта е използван методът на най-малките квадрати. За оценяване на степента на съответствие на теоретично получената зависимост и експерименталната е използван дисперсионен анализ.

Полученият в резултат на апроксимацията израз (3.6) е използван при работата на модела на система GPS, работеща на честота $L_1=1575,42\text{MHz}$, C/A код, построяването на който е описано във втора глава на дисертацията.

$$S_{th} = 14,3 \cdot e^{-0,135D} \quad (3.6)$$

3.7. Изводи по трета глава.

1. Чрез експериментално изследване са определени пределни разстояния на които източник на широколентов шум, с известна мощност, не може да въздейства върху конкретни образци GPS приемници.

2. Чрез израз (3.2) са сравнени нивата на плътността на мощността, създадена от предавател на преднамерени смущения на експериментално определеното му пределно разстояние и плътността на мощността, създадена от орбитален GPS предавател. Получените стойности за отношението сигнал към смущение v' са използвани за проверката на адекватността на двата софтуерни модела на радиосистемата, построяването на които е описано във втора глава на дисертацията.

3. Чрез апроксимация на експериментално получената зависимост на плътността на мощността S , създадена от предавател на преднамерени смущения, от разстоянието D до него, е получен израз (3.6), който е използван за осигуряването на данни за действието на модела на система GPS, работеща на честота L_1 , C/A код, построяването на който е описано във втора глава на дисертацията.

4. В резултат на проведения натурен експеримент е установено, че сравнително малката височина на полета на разгледаното в първа глава на дисертацията ракетно оръжие, позволява електронно противодействие срещу него чрез постановка на смущения от предавател или предаватели, разположени на водната или земната повърхност.

5. Чрез обобщаване на резултатите, получени при натурния експеримент и симулацията на работата на система GPS, е установено, че за стойности на v' при които коефициентът на двоична грешка надвишава 0,5 предавателят на ширококолентов шум е енергийно неефективен.

6. В резултат на обобщаване на данните, получени при натурния експеримент и симулацията на работата на система GPS, е установено, че за стойности на плътността на мощността, използвани при изчисление на v' от участъка от зависимостта $S = f(D)$ при който наклонът спрямо абсцисата е най-малък, енергийната ефективност на източника на ширококолентов шум е най-висока и неговото откриване е най-трудно.

7. Чрез сравняване на получените в резултат на работата на модела на система GPS, C/A код, данни, с получените от реалния експеримент, е установено, че разглеждания модел, както и модела на система GPS, P код, построяването на които е описано във втора глава на дисертацията, са адекватни.

Четвърта глава
Ефективност на въздействието на източник
на широколентов шум върху система за управление
на ракетно оръжие използваща GPS приемник

4.3. Определяне на мощността на предавателите на преднамерени смущения.

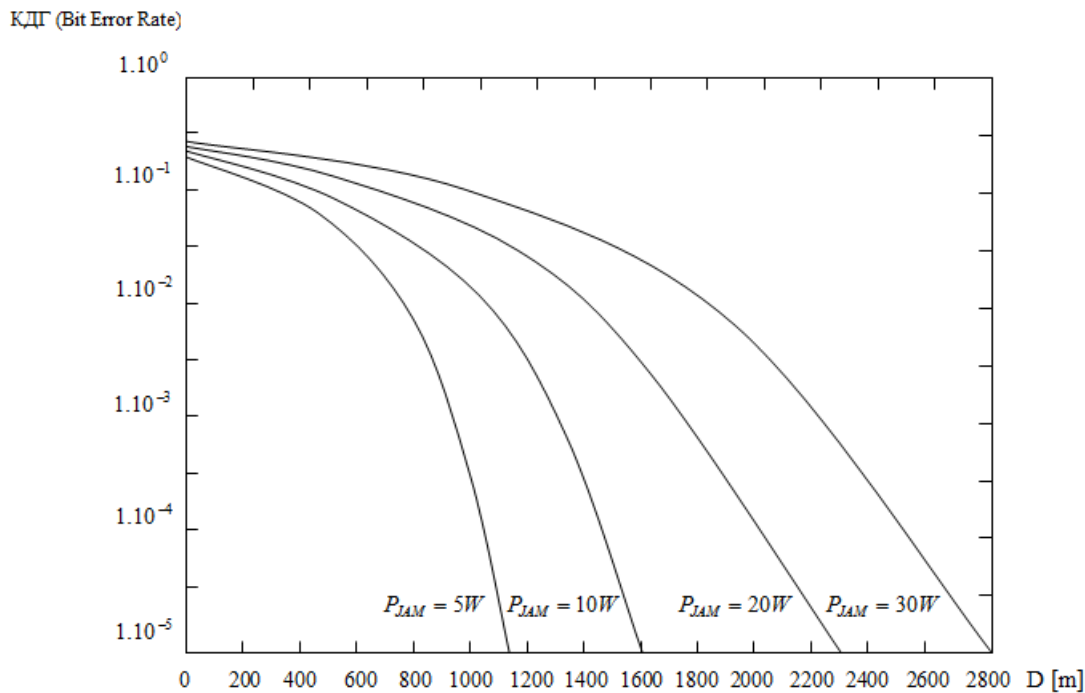
Направеният разчет за постановка на смущения е за определен брой предаватели. Те осигуряват необходимата плътност на мощността на шума на честоти L1 и L2, за осигуряването на ефективно въздействие срещу GPS приемник на ракетно оръжие, в район до или около защитавания кораб на кей или брегови обект. Разгледаният във втора глава на дисертацията модел на GPS система, работеща на честота L2, P(Y) код, е използван при определянето на необходимата мощност на предавателите.

Сравнително високата стойност на разширяващия фактор при GPS системата на честота L2, P(Y) код, както и използваните техники за редуциране на ефективността на въздействието на преднамерени смущения, използвани от бордовите приемници на ракетите, са причина за избора на антена на предавателя на преднамерени смущения, която да осигури необходимото ниво на създавания шум. Избраната антена е спирална с коефициент на усилване $G=20\text{dBi}$.

При заместване на параметрите на орбитален GPS предавател, работещ на честота L2, P(Y) код и разстоянието до него, а именно еквивалентна изотропно излъчена мощност (Equivalent Isotropically Radiated Power) $\text{EIRP}=23\text{dBW}$ ($P=13,65\text{W}$, $G=11,65\text{dBi}$) [121] и $D=20200\text{km}$ [111], в израз (3.1) се получава средната стойност на плътността на мощността на повърхността на Земята $S_{GPS L_2} = 3,89 \cdot 10^{-15} \text{ mW/cm}^2$. По същата формула са изчислени и стойностите за S_{th} , показани в таблици 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4, за различни разстояния до предавателя на преднамерени смущения, съответно за мощности 5W, 10W, 20W, 30W при $G=20\text{dBi}$.

Получените в резултат на изчисленията стойности за плътността на мощността са заместени в израз (3.2) за получаването на отношението сигнал към смущение v' за различни мощности и разстояния до предавателя на преднамерени смущения. Данните за v' са въведени в модела на GPS система, работеща на честота L2, P код.

Показаните на фиг. 4.1. зависимости на коефициента на двоична грешка от разстоянието до предавател на преднамерени смущения са по данни, резултат от работата на модела.



Фиг. 4.1. Зависимости на коефициента на двоична грешка от разстоянието при различни мощности на ППС.

Използването на сравнително висока стойност на мощността на предавателите на преднамерени смущения позволява да бъдат използвани по-малък брой от тях в дадения район. Но това води до възможността, при унищожаване на един или повече предаватели да се освободят полета в района на постановката, в които действието на останалите да бъде недостатъчно за ефективно въздействие.

От друга страна, изборът на сравнително висока стойност на мощността на предавателите на преднамерени смущения създава ограничения от гледна точка на осигуряване на определена продължителност на живот на използваните батерии.

Постановката на смущения в мористо направление позволява използването на предаватели на преднамерени смущения с еднаква мощност и автономно хранване. Разставянето на предаватели на брега е свързано както с изчисления на мощността им за конкретния релеф, особености на района около защитавания неподвижен обект и местоположение на предавателите на преднамерени смущения, така и с възможността тези с по-висока мощност да бъдат стационарни. Предаватели със сравнително висока мощност, например такива разположени на височини ще бъдат лесна цел за ракети от типа „Harm”. Това налага необходимостта от използване на дублиращи предаватели на преднамерени смущения – лъжливи цели, осигуряващи енергиен блик в определен брой, подходящо избрани радиоконтрастни точки, за отклоняване на ракети “Harm” от действителната постановка.

Съвременните схемни решения и техники за неутрализиране на смущенията при GPS приемниците, работещи на честота L₂, P(Y) код (адаптивна диаграма на насоченост на антената, подтискане на сигнали с определена поляризация, амплитудно-фазово елиминиране и други), осигуряват редуциране на отношението сигнал-шум с до 40dB [48, 102]. Описаните в дисертацията два модела на GPS система не отчитат наблюдавания шумов фон, който има нива до 30dB по-високи от тези на полезния сигнал. Компенсирането на останалите 10dB е извършено чрез намаляване на D_{lim}. Показаните в таблици от 4.1 до 4.4 стойности за отношението сигнал към смущение при пределното разстояние на предавателя на преднамерени смущения са съответно: -89,04dB; -89,03dB; -88,88 dB; и -88,94dB. За осигуряване на редуцирането на 10dB това отношение е избрано със стойност -99,00dB.

След заместване на стойностите за отношението сигнал към смущение $v' = -99dB$ и плътността на мощността $S_{GPS L_2} = 3,89 \cdot 10^{-15} mW/cm^2$ в израз (3.2) се получава необходимата теоретична плътност на мощността S_{th}, осигурена от предавателя на преднамерени смущения на входа на приемника. Посочените в таблица 4.5 стойности за пределното разстояние D_{lim}, при различна мощност на предавателя, са изчислени с помощта на израз (3.1) за получената величина на S_{th}.

Таблица 4.5

№	P _{JAM} [W]	D _{lim} [m]
1	5	358,844
2	10	507,481
3	15	621,535
4	20	717,686
5	25	802,399
6	30	878,984
7	35	949,411
8	40	1014,963
9	45	1076,531
10	50	1134,763
11	55	1190,150
12	60	1243,071
13	65	1293,829
14	70	1342,670

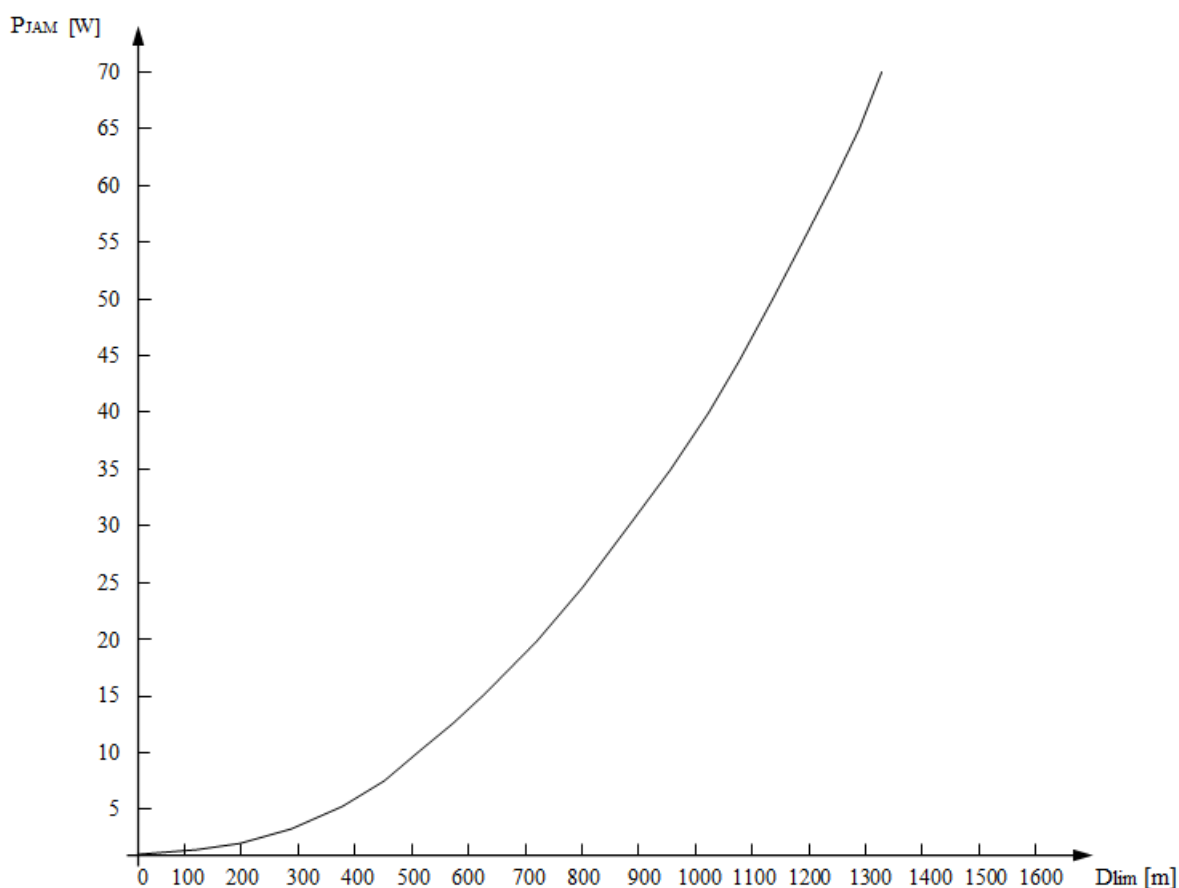
4.3.1. Определяне на зависимостта на мощността на предавател на преднамерени смущения от пределното му разстояние.

Изчисленията свързани с конкретна постановка на смущения с определен брой предаватели на преднамерени смущения трябва да бъдат съобразени с особеностите на района. Така за всяка стойност на

пределното разстояние трябва да бъде осигурена възможност за определянето на необходимата мощност на предавателите на преднамерени смущения, за да бъде електронното противодействие ефективно. За целта е получена математическа зависимост на мощността на предавател на преднамерени смущения от пределното му разстояние, чрез апроксимация на зависимостта $P_{JAM} = f(D_{lim})$, показана на фиг. 4.2, по данни от таблица 4.5, като полученият резултат не ѝ противоречи. Изчисленията са извършени с помощта на математическия апарат разгледан в т. 3.5.

В резултат на апроксимацията е получен изразът:

$$P_{th} = -0,0001 + 0,00003883D_{lim}^2 \quad (4.4)$$



Фиг. 4.3. Апроксимирана зависимост на необходимата мощност на ППС от пределното му разстояние.

Анализът на зависимостта, изобразена на фиг. 4.3, получена с помощта на израз (4.4), показва, че за стойности до 500m изменението на пределното разстояние на предавателя на преднамерени смущения с няколко десетки метра е свързано с изменение на мощността с няколко единици вата. Но тази енергийна ефективност е свързана със сравнително малък радиус на действие на предавателя. При организирането на постановка на смущения оптимално решение,

осигуряващо компромисен вариант между пределно разстояние (брой използвани при постановката предаватели на преднамерени смущения) и продължителност на живот на батериите, може да бъде търсено за стойности над посочената.

4.4. Определяне на времето, необходимо за натрупването на зададена грешка, от система за управление на ракетно оръжие, използваща GPS приемник, в резултат на въздействието на смущения.

Грешката при насочването, допусната от ракетно оръжие използващо GPS приемник, е свързана с времето за което ракетата се намира под действието на смущения. За осигуряване на зададена стойност на отклонението е необходимо избраната площ на района на постановката да бъде съобразена с нея.

Изчисленията за стойността на отклонението, допуснато в резултат на грешката на инерциална система с точност CEP (Circular Error Probable – вероятна кръгова грешка), са извършени с помощта на следната формула [99]:

$$X_{CEP} = 0,589(X_{\sigma N} + X_{\sigma E}) \quad (4.11)$$

$$\text{при } \frac{X_{\sigma N}}{3} < X_{\sigma E} < 3X_{\sigma N}$$

където:

X_{CEP} - грешката в местоположението на инерциална система с точност CEP;

$X_{\sigma N}$ - грешката в местоположението на инерциална система, в посока север, с точност 1σ ;

$X_{\sigma E}$ - грешката в местоположението на инерциална система, в посока изток, с точност 1σ .

Таблица 4.8

№	t [s]	$X_{\sigma N}$ [m]	$X_{\sigma E}$ [m]	X_{CEP} [m]
1	25	0,75	0,75	0,88
2	50	2,5	2,5	2,95
3	75	5	5	5,89
4	100	12	10	12,96
5	125	25	17	24,74
6	150	37	24	35,93
7	175	48	32	47,12
8	200	58	38	56,54
9	225	70	43	66,56
10	250	77	48	73,63
11	275	85	52	80,69
12	300	89	56	85,41

Стойностите за $X_{\text{СЕР}}$, изчислени с помощта на израз (4.11), са показани в таблица 4.8. Данните за X_{GN} и X_{GE} са от [99].

4.5. Вариант за използване на предаватели на преднамерени смущения за защита на неподвижна цел близо до брега от ракетно оръжие, използващо GPS приемник за насочване.

За осигуряване на възможност за оценяване на ефективността на електронно противодействие е необходимо да са налице конкретни данни. За целта са извършени изчисления за параметрите на постановка на смущения за дадена стойност на търсеното като краен резултат отклонение на ракетата от целта.

Данните за грешката $X_{\text{СЕР}}$ и времето t от таблица 4.8 са използвани при изчисляване на площта на района на постановката на смущения за защитата на брегови обект или кораб на кей. Изчисленията са направени за отклонение на ракетата от целта 24,74m. Следователно времето, необходимо за натрупването на посочената грешка, в резултат на въздействието на смущения в района на постановката, е не по-малко от 125s, за случаите на движение без смяна на посоката в програмирани пътни точки. Грешката, допусната от инерциална система, при липса на данни от GPS приемник зависи от траекторията на движение на ракетата [40]. Следователно въвеждането на пътни точки, при програмирането на траекторията, които се намират в района непосредствено преди достигането на целта (района на постановка на смущения) ще доведе до по-голяма грешка.

Скоростта на движение на ракета Exocet MM-40 Block III е 310 m/s [112]. Следователно за постигането на посоченото отклонение на ракетата от целта, изминатото разстояние трябва да бъде не по-малко от 38750m.

Необходимата плътност на мощността на шума, създаден от предавателите на преднамерени смущения, на всяка от честотите L_1 и L_2 , в район осигуряващ посоченото изискване, може да бъде изчислена с помощта на израз (4.4). За целта е необходимо пределното разстояние на използваните предаватели да се определи като се вземат предвид особеностите на конкретния район на постановката.

4.6. Критерии за оценяване на ефективността на въздействието на предавател на преднамерени смущения върху система за управление на ракетно оръжие, използваща GPS приемник.

4.6.1. Необходимост от определяне на критерии за оценяване на ефективността на електронното противодействие.

Основният принцип на електронното противодействие се състои в следното: чрез въздействие върху радиоелектронните средства да се

намали бойната ефективност на средствата за поразяване на противника, като се измени количеството информация в системата за управление [6]. Един показател за ефективност на електронното противодействие трябва да установява зависимост между параметрите на използваните средства и степента в която те влияят на бойната ефективност. Числената мярка на показателя за ефективност се нарича критерий за ефективност [19].

Оценяването на ефективността на въздействието върху радиосистемите е важен фактор за осигуряване на успешното водене на електронна война. Използването на съвременни способности и системи за управление на средствата за поразяване е свързано с налагането на нови критерии за оценяване на електронното противодействие. Едно от решенията е прилагането на известен критерий, след въвеждането на промени отчитащи нововъведенията. Адаптациите които следват са извършени, като са отчетени особеностите за използване и насочване на ракетно оръжие с GPS приемник.

Основно практическо приложение за оценяване на ефективността на електронното противодействие са намерили критериите: информационен, енергиен, тактически и минимално отклонение от целта на средството за поразяване [6]. Енергийният и тактическият критерии са използвани за целите на дисертацията.

4.6.2. Тактически критерии.

4.6.2.1. Тактически критерий – вероятност за изпълнение на бойна задача при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване.

Адаптиран за целите на дисертацията е описаният в [6] тактически критерий за оценяване на ефективността на мероприятията по електронно противодействие в интерес на осигуряване на бойните действия на авиацията по преодоляване на противовъздушната отбрана на противника.

В качеството на критерий е приета вероятността за изпълнение на бойна задача – P_{mt} . За да бъде изпълнена бойна задача при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване е необходимо настъпването на две събития:

- преодоляване на противоракетната отбрана от ракетата;
- нанасяне на определени загуби на целта.

Тогава вероятността за изпълнение на бойна задача може да се запише като:

$$P_{mt} = P_{md} P_{dt} \quad (4.12)$$

където:

P_{md} – вероятност за преодоляване на противоракетната отбрана от ракетата;

P_{dt} – вероятност за нанасяне на определени загуби на целта.
 P_{md} зависи от качеството на информационното осигуряване;
 P_{dt} зависи от качеството на системата за управление.

Степента на изменение на вероятността за преодоляване на противоракетната отбрана позволява да се оцени ефективността на методите и средствата за електронно противодействие, използвани в конкретни условия за водене на бойни действия и да се избере оптималният способ за действие в тези условия. Така организирането на противоракетната отбрана, в определен етап, трябва да е насочено към средства и създаване на смущения, които да осигурят минимално значение на вероятността P_{md} .

Може да се приеме, че ракетното оръжие е преодоляло противоракетната отбрана, ако то не е било унищожено и постановката на смущения не е довела до появата на грешка при насочването, по-голяма от разчетената при проектирането му [6].

Тогава може да се запише:

$$P_{md} = (1 - P_{ej})(1 - P_{dr}) \quad (4.13)$$

където:

P_{ej} – вероятност за ефективна постановка на смущения;

P_{dr} – вероятност за унищожаване на ракетата от средствата на противоракетната отбрана.

Настоящото изследване е насочено към осигуряване на ефективно въздействие върху конкретна радиосистема с разширен честотен спектър. По тази причина е прието, че средства на противоракетната отбрана за унищожаване на ракетно оръжие не се използват (P_{dr} приблизително равна на нула). Тогава вероятността за преодоляване на противоракетната отбрана от ракетата P_{md} зависи само от вероятността за ефективна постановка на смущения P_{ej} .

Вероятността за ефективна постановка на смущения може да бъде разгледана като:

$$P_{ej} = (1 - P_{dj})P_{ro} \quad (4.14)$$

където:

P_{dj} – вероятност за откриване и унищожаване на предавателя (предавателите) на преднамерени смущения от противника преди пускане на ракетата;

P_{ro} – вероятност за надеждна работа на предавателя (предавателите) на преднамерени смущения.

4.6.2.2. Тактически критерий – отклонение на ракетата от целта при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване.

Величината на отклонението на ракетата от целта се използва за оценяване по тактически критерий, когато то е предизвикано от въздействията на смущения и резултатът е отклонение, което превишава грешката при насочването, наблюдавана при отсъствие на смущения [6].

Тактическият критерий – отклонение на ракетата от целта, който се отнася за ракетно оръжие с радиолокационна глава за насочване, описан в [6], е адаптиран за целите на дисертацията. Същността на извършената адаптация се състои в следното:

Като критерий за оценяване на ефективността на електронното противодействие, водещо до появата на случайна грешка е целесъобразно да се приеме изменението на величината на вероятността за попадане на ракетата в кръг с радиус $R_{ЗСЕР}$, равен на радиуса на кръг в който ракетата ще попадне с вероятност приблизително единица при липса на въздействие и център съвпадащ с географските координати на целта, въведени при етапа на управление на старта. За опростяване на оценяването на ефективността на електронното противодействие насочването на ракетата е разгледано в една равнина и споменатата вероятност е означена с $P_{тр}$ – вероятност за достигане на точката на целта.

За да бъде възможно, в общия случай, определянето на изменението на величината $P_{тр}$ е необходимо да се знае законът за разпределение на възникналата случайна грешка. За оценяването се използва диференциалният закон за разпределение на отклонението на ракетата от целта.

Поради големия брой фактори, които влияят на отклонението на ракетата, е избран нормален закон за разпределение на отклонението от точката на целта.

Тогаво плътността на вероятността за отклонение може да се запише като:

$$p(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\xi^2}} e^{-\frac{(\Delta-\alpha)^2}{2\xi^2}} \quad (4.15)$$

където:

Δ - отклонение на ракетата от целта – случайна величина;

α – математическо очакване на отклонението;

ξ^2 - дисперсия на отклонението.

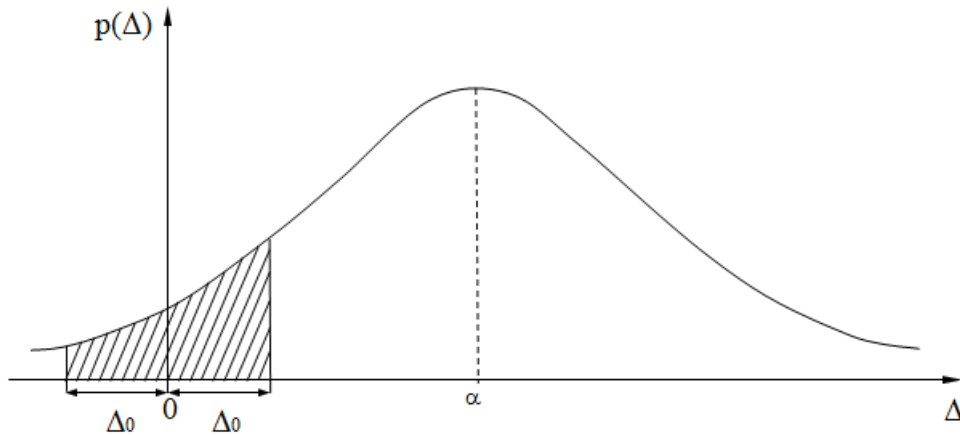
Началото на координатната система на фиг. 4.6. е прието за местоположение на целта, обект на атака. Вероятността за достигане на точката на целта се определя като вероятност за попадане на случайната величина Δ в интервала $(-\Delta_0; \Delta_0)$.

Тогава:

$$P_{тр} = \int_{-\Delta_0}^{\Delta_0} p(\Delta) d\Delta \quad (4.16)$$

където:

Δ_0 - максималната стойност на отклонението на ракетата.



Фиг. 4.6. Диференциален закон за разпределение на отклонението в една равнина.

Графично величината на вероятността за достигане на точката на целта $P_{тр}$ се определя от заштрихованата площ под кривата на разпределение на отклонението (фиг. 4.6.).

Постигането на величина на отклонението на ракета от целта, превишаващо разчетеното при проектирането ѝ е показател за ефективността на дадено въздействие [6]. Следователно електронното противодействие е ефективно ако е изпълнено условието:

$$\Delta_0 > R_{3СЕР}$$

В общия случай, когато смущенията са причина и за случайна и за систематическа грешка вероятността за достигане на точката на целта $P_{тр}$ се определя от следния израз [7]:

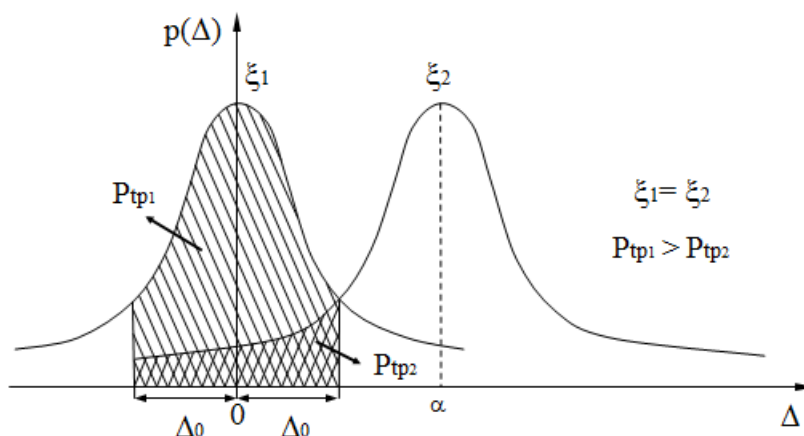
$$P_{тр} = \Phi\left(\frac{\Delta_0 - \alpha}{\xi}\right) \quad (4.17)$$

където:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \text{интеграл на вероятностите.}$$

За намиране на вероятността за попадане на случайната величина Δ в участък, симетричен спрямо центъра на разсейване (математическото очакване), с дължина $2l$, е използван изразът [7]:

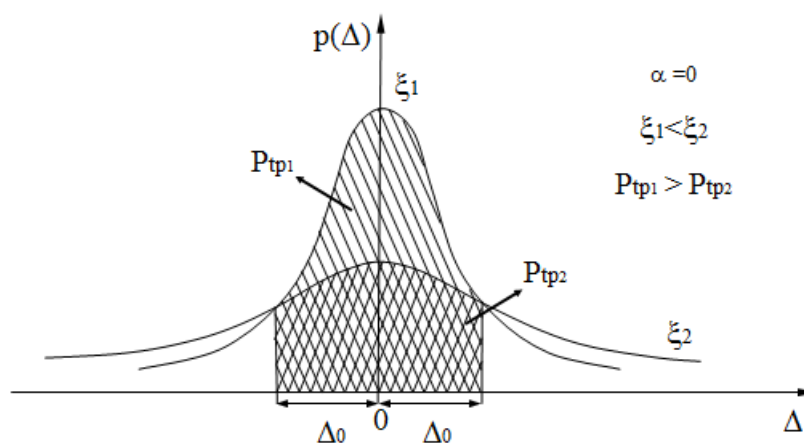
$$P_{tp} = 2\Phi\left(\frac{l}{\xi}\right) - 1 \quad (4.18)$$



Фиг. 4.7. Влияние на систематическата грешка – математическото очакване на отклонението върху вероятността за достигане на точката на целта.

От израз (4.17) се установява, че вероятността за достигане на точката на целта P_{tp} зависи и от математическото очакване и от дисперсията на отклонението.

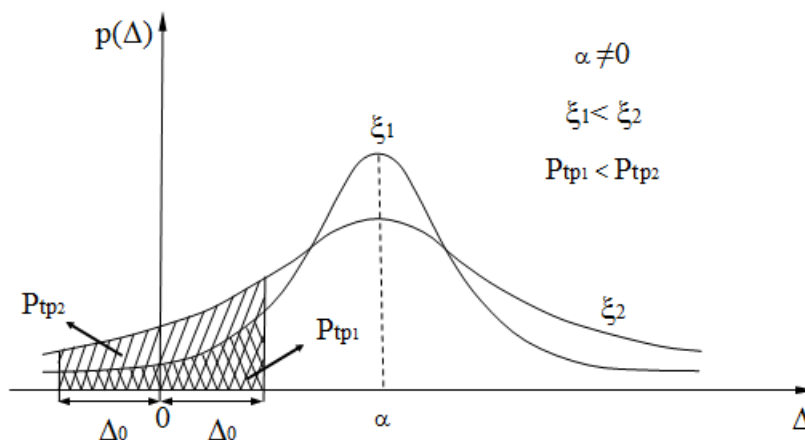
При условие, че в резултат на електронно противодействие дисперсията остава постоянна, а се увеличава систематическата грешка – математическото очакване α , то както се вижда от фиг. 4.7. вероятността P_{tp} намалява.



Фиг. 4.8. Влияние на дисперсията на отклонението върху вероятността за достигане на точката на целта.

Ако при нулево математическо очакване действието на смущенията води до увеличаване на дисперсията, то вероятността за достигане на точката на целта P_{tp} намалява (фиг. 4.8.).

Когато въздействието на смущенията води до изменение на математическото очакване и на дисперсията на отклонението увеличаването на дисперсията е нежелано (фиг. 4.9.)



Фиг. 4.9. Влияние на математическото очакване и дисперсията на отклонението върху вероятността за достигане на точката на целта.

Описаните способи за оценяване на ефективността на електронното противодействие чрез $P_{тр}$ и Δ могат да се прилагат, ако са приети следните условия:

- насочването се осъществява в една равнина;
- грешката при насочването в резултат на действието на смущенията превишава допустимата грешка на системата за управление на ракетата т.е.

$$\alpha_{JAM} > \alpha_{er}$$

$$\xi_{JAM}^2 > \xi_{er}^2$$

където:

α_{JAM} и ξ_{JAM}^2 - математическо очакване и дисперсия на отклонението в резултат на електронното противодействие;

α_{er} и ξ_{er}^2 - математическо очакване и дисперсия на отклонението, резултат от допустимата грешка при насочването.

4.6.3. Енергиен критерий.

Коефициентът на подавяне е енергиен критерий за оценяване на ефективността на дадено електронно противодействие. Той се определя като минимално необходимото отношение на енергията на смущаващия сигнал към енергията на полезния сигнал на входа на приемника на радиоелектронното средство, обект на въздействие, при което са налице определени информационни загуби [6]:

$$K_{JSR} = \frac{P_j}{P_s} \quad (4.19)$$

Поради разликата от няколко порядъка в нивата на енергията на смущаващия и на полезния сигнал в израз (4.19) е по-удобно да се използва логаритмична мярка. По тази причина за целите на дисертационния труд в качеството на енергиен критерий е използвано отношението сигнал към смущение v' - израз (3.2).

4.8. Изводи по четвърта глава.

1. Чрез моделиране на работата на GPS приемник, работещ на честота L2, P код, са определени пределните разстояния при различни мощности на предавател на преднамерени смущения и е определена зависимост между тях.

2. Чрез апроксимация на зависимостта на необходимата мощност на предавател на преднамерени смущения от пределното му разстояние, е получен израз (4.4), който може да бъде използван при определянето на параметри на конкретна постановка на преднамерени смущения.

3. Разработен е тактически критерий – вероятност за изпълнение на бойна задача при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху системата за управление на оръжието, чрез адаптиране на известен критерий за оценяване на ефективността на мероприятията по електронно противодействие в интерес на осигуряване на бойните действия на авиацията по преодоляване на противовъздушната отбрана на противника.

4. Разработен е тактически критерий – отклонение на ракетата от целта при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху системата за управление на оръжието, чрез адаптиране на известен критерий за оценяване на ефективността на електронно противодействие срещу ракетно оръжие с радиолокационна глава за насочване.

5. Израз (3.2) е приложен като енергиен критерий за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху система за управление на ракетно оръжие, използваща GPS приемник, на базата на отчитане на особеностите на разглежданата радиосистема при използване на коефициента на подавяне.

6. Оценена е ефективността на електронното противодействие, осигуряващо конкретна стойност на очакваното отклонение от целта, на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, чрез прилагане на енергийния и адаптираните тактически критерии. Посочени са необходимите условия, за да бъде ефективно електронното противодействие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на проведената научно-изследователска и експериментална работа по темата на дисертацията са получени следните основни резултати:

1. На базата на сравнителен анализ на възможностите за въздействие на GPS приемник, използван за насочване от ракетно оръжие, е установено, че ефективно електронно противодействие срещу него може да бъде осигурено чрез широколентови смущения.

2. Чрез експериментално изследване на въздействието на предавател на преднамерени смущения върху GPS приемници са получени данни, използвани при работата и проверката на адекватността на модел на GPS система, работеща в условията на преднамерени смущения, в Simulink среда.

3. Построен е модел на GPS система, работеща в условията на преднамерени смущения, в Simulink среда, резултатите от действието на който са използвани за определянето на параметри на постановка на преднамерени смущения за защита на неподвижна цел от ракетно оръжие, използващо GPS приемник за насочване.

4. Определен е теоретичен израз (4.4), който позволява да бъде изчислена необходимата мощност на предавател на преднамерени смущения за осигуряването на въздействие на GPS приемник, при дадено пределно разстояние.

5. Разработен е тактически критерий – вероятност за изпълнение на бойна задача при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху системата за управление на оръжието, чрез адаптиране на известен критерий за оценяване на ефективността на мероприятията по електронно противодействие в интерес на осигуряване на бойните действия на авиацията по преодоляване на противовъздушната отбрана на противника.

6. Разработен е тактически критерий – отклонение на ракетата от целта при използване на ракетно оръжие с GPS приемник за насочване, за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху системата за управление на оръжието, чрез адаптиране на известен критерий за оценяване на ефективността на електронно противодействие срещу ракетно оръжие с радиолокационна глава за насочване.

Вижданията на автора за насоките на бъдещите приложения на посочените резултати се свеждат до:

- изследване и усъвършенстване на разработения софтуерен модел, с оглед осигуряването на данни, които позволяват направата на изводи за устойчивостта на дадена радиосистема с непосредствено разширяване на спектъра на смущения и за необходимите условия за нейното ефективно електронно противодействие;
- предложение за прилагане на определения теоретичен израз (4.4), при изчисляване на необходимата мощност на предавател на преднамерени смущения за осигуряването на въздействие на GPS приемник, при дадено пределно разстояние;
- предложение за прилагане на адаптираните критерии за оценяване на ефективността на преднамерено смущение върху система за управление на ракетно оръжие, използваща GPS приемник.

Списък на публикациите по темата

1. Николов, Ж. Относно въздействието на станция за следящи смущения върху радиосистеми със скокообразно изменяща се работна честота. Морски научен форум, Т. 3, с. 9-14, Варна, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, 2008. ISSN 1310-9278.

2. Николов, Ж., Ц. Цанев, М. Цветков. Един начин за апроксимиране на зависимостта на плътността на мощността от разстоянието до предавател на преднамерени смущения. Научни трудове на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, №29, с. 97-100, Варна, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, 2010. ISSN 1312-0867.

3. Николов, Ж., Ц. Цанев, М. Цветков. Методи за въздействие на радиосистеми с непосредствено разширяване на спектъра. Морски научен форум, Т. 3, с. 57-64, Варна, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, 2008. ISSN 1310-9278.

4. Nikolov, Z., T. Tsanev, M. Tsvetkov. Experimental Research of a Jamming over a Direct Sequence Spread Spectrum System. Journal of Marine Technology and Environment, vol. II, pp. 83-88, Constanta, Constanta Maritime University, 2009. ISSN 1844-6116.