

УДК 621.396.96: 004.942 (045)

Соколов Г.Е., к.ф.-м.н.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОПЛЕРОВСКОГО ОХРАННОГО РАДИОЛОКАТОРА

Национальный авиационный университет

dr.gennadii.sokolov@gmail.com

Введение

Охранный доплеровский локатор (радиоволновой извещатель) предназначен для охраны помещений от проникновения посторонних лиц [1]. Это и определяет его главную особенность – работа в небольшом замкнутом пространстве.

Для того, чтобы надежно фиксировать появление нарушителя в любой точке объема помещения, в котором используется локатор, зона охраны должна превышать его размеры. Однако, неподвижных предметов в помещении в зоне охраны много, сигналы, порождаемые отраженными от них волнами, имеют большую амплитуду, чем полезный сигнал. Поэтому селекция по скорости, использующая эффект Доплера, принципиально важна для работы извещателя.

Однако, информационный доплеровский сигнал возникает лишь при движении нарушителя в направлении «на локатор – от локатора». При тангенциальном направлении движения нарушителя информационный доплеровский сигнал равен нулю. Соответственно, нарушитель будет пропущен. При реальной же работе охранного доплеровского локатора нару-

шитель обнаруживается при любом направлении движения.

Это указывает на то, что для адекватного моделирования обработки сигналов в охранном локаторе необходимо исследовать характер информационного сигнала в реальных условиях его работы.

Исследования направлены на поиск путей улучшения обработки сигналов в радиоволновом извещателе.

Объект исследования

В качестве объекта исследования был взят типичный охранный радиоволновой извещатель «Норма».

Технические данные охранного извещателя «Норма»:

- Максимальная дальность обнаружения не менее – 12 м;
- Ширина зоны охраны – 8 м;
- Обнаруживаемые скорости нарушителя – 0,3-3 м/с
- Частота излучения– 10510 - 10590 МГц;
- Мощность излучения – 5-50 мВт;
- Размеры радиолокатора – 160x60x35 мм.

На рис.1 приведена функциональная блок-схема радиоволнового извещателя «Норма». Из нее видно, что структура извещателя также типична.

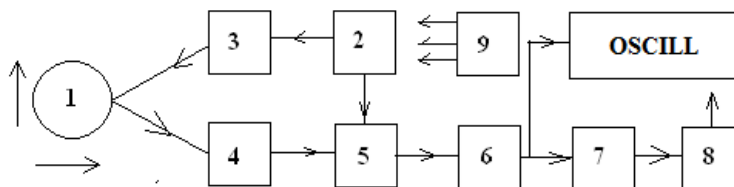


Рис. 1 Структурная схема активного охранного извещателя «Норма»:

1- человек- нарушитель в охранной зоне; 2- генератор на диоде Ганна; 3- передающая антенна; 4- приемная антенна; 5- смеситель на диоде Шоттки; 6- усилитель-ограничитель доплеровского информационного сигнал; 7- узел логической обработки; 8- формирователь выходного сигнала; 9- стабилизатор напряжения.

Особенности работы локатора следующие.

Узлы 2-5 являются СВЧ частью локатора. Она выполнена из единого литого конструктива, представляющего два прямоугольных волновода с общей узкой стенкой. Канал излучателя собран на одном волноводе, канал приемника – на другом волноводе. Антенны обоих каналов представляют собой апертуры открытых концов прямоугольного волновода. Каналы излучателя и канал приемника связаны между собой за счет щели связи в общей узкой стенке прямоугольных волноводов.

Генераторный диод Ганна включен в волновод канала излучателя за счет штыря связи и настроен на максимальную мощность излучения подстроечным поршнем. Смесительный диод Шоттки включен в волновод канала приемника за счет штыря связи и настроен на максимальную чувствительность подстроечным поршнем. Выходной низкочастотный сигнал снимается с цепи смещения диода Шоттки через РС – цепь. СВЧ составляющие напряжения на диоде запираются в волноводе СВЧ фильтром узла связи.

Питание на диод Ганна и смещение на диод Шоттки подается от стабилизатора напряжения, собранного на двух биполярных транзисторах и стабилитроне.

Выходной низкочастотный сигнал смесителя усиливается двумя усилителями низкой частоты собранными на микросхемах операционных усилителей. Верхняя частота полосы пропускания усилителей составляет величину около 200 Гц. Нижняя частота определяется РС – цепями и составляет величину около 10 Гц. Коэффициент усиления составляет значительную величину, в результате режим ограничения выходного сигнала второго каскада усиления на уровне 8 в является рабочим режимом двухкаскадного усилителя.

Узел логической обработки состоит из двух пороговых устройств. Входной сигнал узла подается на вход триггера. Одновременно на этот же вход подается

напряжение смещения от стабилизатора через делитель на резисторах. Таким образом, этот узел играет роль порогового устройства. Прямоугольные импульсы на выходе триггера обостряются дифференцирующей цепью.

Эти импульсы считаются счетчиком, собранным на двух микросхемах. Счетчик обнуляется через период около 1,5 секунд. Если за этот период счетчик переполнился, то напряжение на его выходе переключает входной триггер формирователя выходного сигнала, что, в свою очередь, меняет состояние ключей, собранных на двух биполярных транзисторах. При этом первый ключ включает красный светодиод, а второй ключ включает реле и тем размыкает нормально-замкнутые выходные контакты извещателя, подключаемые в шлейф.

При измерениях доплеровского информационного сигнала радиолокатор «Норма» фиксировался в пространстве штатным узлом фиксации. «Нарушитель» перемещался вдоль и поперек относительно направления излучения локатора с разной скоростью. Нарушитель обладал ростом около 1,75 м, массой – около 75 кг и был одет в джинсы и куртку из тканого материала.

Информационный сигнал измерялся на выходе усилителя-ограничителя доплеровского информационного сигнала (в конструкции имеется для этого специальное контрольное гнездо) с помощью компьютерного USB-осциллографа с памятью марки «OSCILL». По своим техническим характеристикам осциллограф позволяет измерять и фиксировать в памяти компьютера осциллограммы измеряемого напряжения [2].

Результаты измерений

Результаты измерений информационного аналогового сигнала в виде осциллограмм, измеренных при движении нарушителя со средней скоростью поперек направления излучения (рис. 2) и вдоль направления излучения извещателя (рис. 3), анализировались. Временной ин-

тервал между каждыми последовательными пиками сигнала фиксировался как единичное измерение периода сигнала, на основании которого получали одно значение частоты.

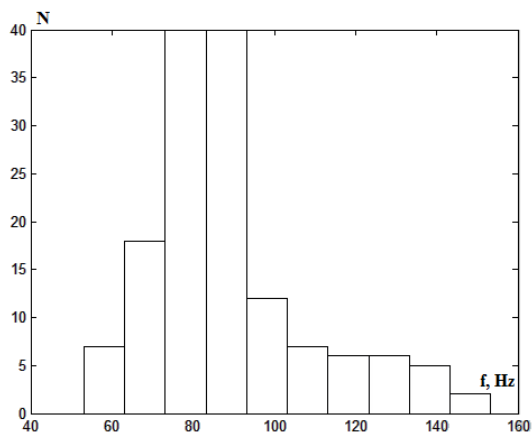


Рис. 2. Частота сигнала при радиальном движении нарушителя.

Анализ результатов измерений показывает, что характер осциллограмм для этих двух групп измерений различен.

В первой группе (рис. 2) – это осциллограммы сигнала с малыми флуктуациями по частоте и амплитуде, при этом области концентрации частот отдельных реализаций осциллограмм разнятся, например: 73 ± 12 Гц или 115 ± 19 Гц. Последнее вызвано невозможностью для человека точно контролировать свою скорость, что и привело к расширению гистограммы на рис. 2. Средняя же частота 85 Гц на гистограмме соответствует скорости человека 1,275 м/с (или 4,59 км/час).

Рис. 2 однозначно свидетельствует, что отраженный сигнал – Доплеровский, соответствующий средней скорости движения человека в помещении.

Во второй группе (рис. 3) – это осциллограммы случайного сигнала, со значительными флуктуациями по частоте и амплитуде. При этом измеренные частоты концентрируются у нижнего предела полосы пропускания приемника радиолокатора.

Рис. 3 свидетельствует, что отраженный сигнал не соответствует

На рис. 2 и 3 приведены массивы результатов измерений частоты в виде гистограмм.

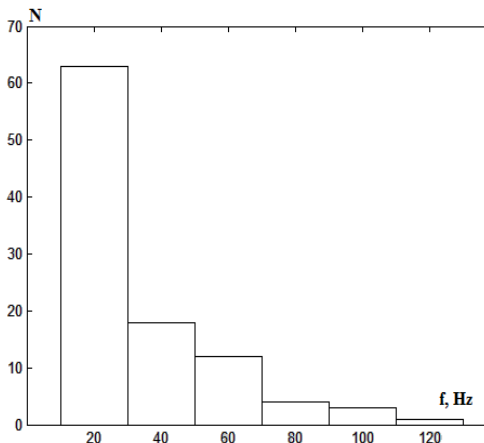


Рис. 3. Частота сигнала при тангенциальном движении нарушителя.

скорости перемещения человека при измерениях. Распределения спектра информационного сигнала совсем другое. Таким образом, этот сигнал вызван не переотражением волн от стен.

Анализ литературы показал, что в диссертации 2010 года по исследованию радиолокаторов ближней локации [3] был проведен теоретический расчет спектра полезного сигнала при тангенциальном движении нарушителя. Основой расчета было предположение о флуктуации эффективной поверхности рассеяния нарушителя, вызванные особенностями биомеханики движения человека. На рис.4 (заимствован из[3]) показаны результаты этих расчетов.

Сравнение измеренного распределения мгновенных частот сигнала при тангенциальном движении нарушителя (рис. 3) с теоретическим расчетом этой функции (рис. 4) показывает, что физической причиной флуктуаций параметров информационного сигнала являются флуктуации эффективной поверхности рассеяния нарушителя, вызванные особенностями биомеханики движения человека.

Охранный доплеровский радиолокатор при тангенциальном направлении движения нарушителя осуществляет селекцию движущихся целей не на основе эффекта Доплера, а на основе флуктуации эффективной поверхности рассеяния нарушителя, вызванные особенностями

биомеханики движения человека. В результате, отраженный от нарушителя сигнал модулирован по амплитуде низкочастотным случайным сигналом со спектром, показанным на рис. 4.

СВЧ смеситель в этом случае работает в режиме синхронного детектора.

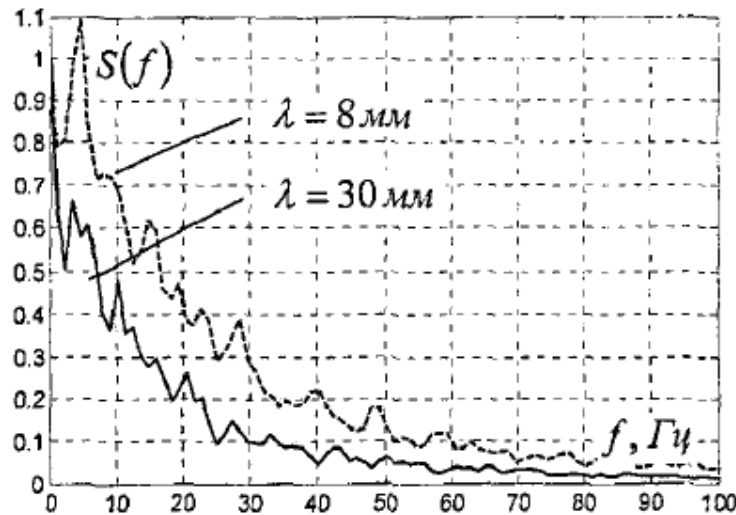


Рис. 4. Огибающие спектра полезного сигнала (флуктуаций ЭПР).

Теоретический анализ

Теоретический анализ информационного аналогового сигнала, возникающего при тангенциальном движении нарушителя, был проведен в предположе-

нии, что нарушитель имеет и радиальную компоненту скорости, но гораздо меньшую по величине по сравнению с тангенциальной. В этом случае сигнал на входе смесителя имеет вид:

$$U_{\text{СИГН.}} = U_{\text{СИГН.0}}(1 + U_0(t)) \sin(\omega_{\text{НЕС.}} + \omega_{\text{ДОП.}})t, \quad (1)$$

где $U_0(t)$ - низкочастотный случайный сигнал со спектром, показанным на рис.4, $\omega_{\text{НЕС.}}$ - частота несущей, $\omega_{\text{ДОП.}}$ - доплеровская частота.

Идеальный СВЧ смеситель осуществляет перемножение $U_{\text{СИГН.}}$ и $U_{\text{ГЕТЕР.}}$ и

$$U_{\text{СМЕС.}} = U_{\text{СМЕС.0}}(1 + U_0(t)) \cos \omega_{\text{ДОП.}}t. \quad (2)$$

Выходной низкочастотный сигнал смесителя усиливается усилителем с полосой пропускания (10...200) Гц, т.е. с

отсекает СВЧ составляющие в результате перемножения. На выходе идеального смесителя получаем низкочастотный сигнал:

коэффициентом усиления $K(\omega)$. Таким образом информационный аналоговый сигнал:

$$U_{\text{ИНФ.}} = K(\omega) * U_{\text{СМЕС.}} \quad (3)$$

Данная математическая модель численно рассчитывалась средствами пакета MATLAB [4].

Для построения модели сигнала смесителя согласно соотношению (2) средствами MATLAB на временном от-

резке моделирования (1 секунда) создавался случайный сигнал с равномерным спектром. Затем моделировалась фильтрация этого сигнала с помощью фильтра с полосой пропускания (0...35 Гц) методом, приведенным в [5-6]. Получившимся низкочастотным случайным сигналом модулировалась амплитуда гармонического сигнала доплеровской частоты.

Для расчета информационного сигнала согласно соотношению (3) моделировалась фильтрация средствами MATLAB сигнала смесителя с помощью фильтра с полосой пропускания (10...200 Гц).

Пример расчетного информационного сигнала для доплеровской частоты 2 Гц приведен на рис.5.

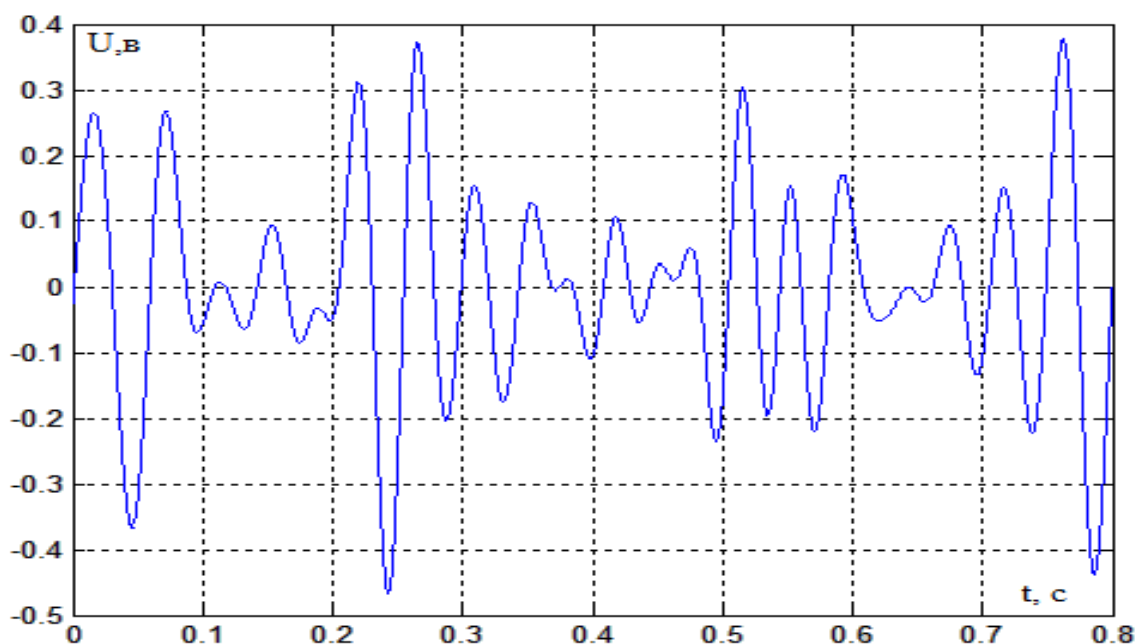


Рис. 5. Расчетная модель информационного сигнала.

Пример измеренного информационного сигнала приведен на рис. 6.

Сравнение расчетного и измеренного информационного сигнала при поперечном движении нарушителя показывает, что амплитуда случайного сигнала модулируется сигналом доплеровской частоты. Рис.6 дает значение доплеровской частоты 2 Гц, что соответствует радиальной скорости 0,03 м/с. Как показано выше, средняя скорость движения нарушителя в эксперименте составляла 1,275 м/с. Это доказывает, что радиальная скорость при составляла несколько процентов от тангенциальной, т.е. эксперимент проведен корректно.

Эпюра информационного сигнала на рис.5 показывает, что распознавание его как признака нарушителя счетом импульсов носит вероятностный характер и может не произойти.

Выводы

1. Экспериментально доказано, что охранный доплеровский радиолокатор при тангенциальном направлении движения нарушителя осуществляет селекцию движущихся целей не на основе эффекта Доплера, а на основе флуктуации эффективной поверхности рассеяния нарушителя, вызванные особенностями биомеханики движения человека.

2. На основе этих знаний построена теоретическая модель информационного аналогового сигнала и проведен численный расчет средствами пакета MATLAB. Сравнение теоретических и экспериментальных данных позволило оценить радиальную составляющую скорости движения нарушителя при тангенциальном его движении как погрешности эксперимента. Она оказалась незначительной.

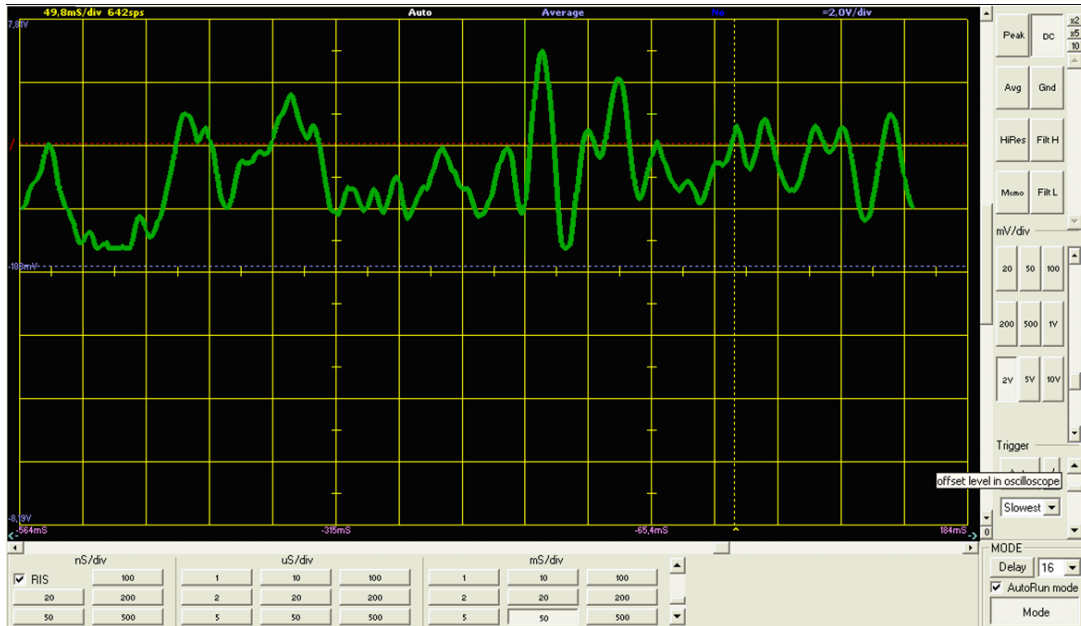


Рис. 6. Осциллограмма информационного сигнала при движении нарушителя в тангенциальном направлении на расстоянии 5 м от извещателя (масштаб по горизонтали - 50 мс/дел.)

3. Разработанная теоретическая модель информационного аналогового сигнала позволит тестировать различные алгоритмы автоматического распознавания информационного сигнала на фоне помехи.

4. Представленная теоретическая модель может быть полезна как разработчикам охранных извещателей при совершенствовании алгоритмов обработки, так и студентам при изучении принципов работы радиоэлектронных систем безопасности.

Литература

1. Ворона В.А. Технические системы охранной и пожарной сигнализации. / Ворона В.А., Тихонов В.А. –М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 376 с.

2. Соколов Г.Е. Исследование характеристик сигнала приемника охранного ИК-извещателя. Статистичні методи обробки сигналів і даних: Матеріали Міжнародної наукової конференції; м.Київ, 16-17 жовтня 2013 р.-К: НАУ, 2013. С.168-170.

3. Матвиенко А.Е. Системы ближней локации для обнаружения наземных целей на основе частотно-модулированного и многочастотного зондирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация». М. 2010. – 20 с.

4. Дьяконов В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. / Дьяконов В.П. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 976 с.

5. Sokolov G.E. A procedure of building a computer model of an optoelectronic measuring system/ Sokolov G.E. // Electronic and Control Systems. – 2012. – № 4(34). – P.123-129.

6. Sokolov G.E. Building a computer model of an optoelectronic burglar alarm detector/ Sokolov G.E. // Electronic and Control Systems. – 2013. – № 4(38). – P.142-148.

Статью представлено в редакцию 11.03.2018

Соколов Г. Е.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОПЛЕРОВСКОГО ОХРАННОГО РАДИОЛОКАТОРА

В работе проведены исследования характера информационного сигнала в реальных условиях работы доплеровского охранного локатора (извещателя), который предназначен для охраны помещений от проникновения посторонних лиц. Обнаружение нарушителя на фоне отражений от местных предметов производится на основе типовой обработки отраженного сигнала в доплеровском радиолокаторе. Однако, при тангенциальном направлении движения нарушителя информационный доплеровский сигнал теоретически равен нулю.

В качестве объекта исследования был взят типичный охранной радиоволновой извещатель «Норма». При измерениях информационного сигнала на выходе активного фильтра «Нарушитель» перемещался вдоль и поперек относительно направления излучения локатора с разной скоростью. Нарушитель обладал ростом около 1,75 м, массой – около 75 кг и был одет в джинсы и куртку из тканого материала.

Экспериментально доказано, что охранной доплеровский радиолокатор при тангенциальном направлении движения нарушителя осуществляет селекцию движущихся целей не на основе эффекта Доплера, а на основе флуктуации эффективной поверхности рассеяния нарушителя, вызванные особенностями биомеханики движения человека. Разработанная теоретическая модель информационного аналогового сигнала позволит тестировать различные алгоритмы автоматического распознавания информационного сигнала на фоне помехи.

Ключевые слова: радиолокационные измерения, моделирование систем, охранной радар, MATLAB.

Соколов Г. Є.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ОХОРОННОГО РАДІОЛОКАТОРА

В роботі проведені дослідження характеру інформаційного сигналу в реальних умовах роботи доплерівського охоронного локатора (сповіщувач), який призначений для охорони приміщень від проникнення сторонніх осіб. Виявлення порушника на тлі віддзеркалень від місцевих предметів проводиться на основі типової обробки відбитого сигналу в доплерівським радіолокаторі. Однак, при тангенціальному напрямку руху порушника інформаційний доплерівський сигнал теоретично дорівнює нулю.

Як об'єкт дослідження було взято типовий охоронний радіохвильової сповіщувач «Норма». При вимірах інформаційного сигналу на виході активного фільтра «Порушник» переміщувався вздовж і поперек щодо направлення випромінювання локатора з різною швидкістю. Порушник мав зріст близько 1,75 м, масою - близько 75 кг і був одягнений в джинси і куртку з тканого матеріалу.

Експериментально доведено, що охоронний доплерівський радіолокатор при тангенціальному напрямку руху порушника здійснює селекцію рухомих цілей не на основі ефекту Доплера, а на основі флуктуації ефективної поверхні розсіювання порушника, викликані особливостями біомеханіки руху людини. Розроблена теоретична модель інформаційного аналогового сигналу дозволить тестувати різні алгоритми автоматичного розпізнавання інформаційного сигналу на тлі перешкоди.

Ключові слова: радіолокаційні вимірювання, моделювання систем, охоронний радар, MATLAB.

Sokolov G.E.

RESEARCHES OF DOPPLER SECURITY RADAR

The paper concentrates on the nature of the information signal in the real conditions of the Doppler security radar. The security radar (detector) is designed to protect the premises from the penetration of unauthorized persons. Detection of the intruder on the background of reflections from local objects is based on the typical processing of the reflected signal in Doppler radar. However, with the tangential direction of movement of the intruder, the information Doppler signal is theoretically equal to zero.

A typical security radio wave detector «Norma» was taken as the object of study. When measuring the information signal at the output of the active filter, the intruder moved along and across relative to the direction of the radar radiation at different speeds. The intruder had a height of about 1.75 m, weight - about 75 kg and was dressed in jeans and a woven jacket.

It has been experimentally proved that the guard Doppler radar with the tangential direction of movement of the intruder does not select moving targets based on the Doppler Effect, but based on fluctuations of the effective scattering surface of the intruder, caused by the peculiarities of the biomechanics of human movement. The developed theoretical model of the information analog signal will allow testing various algorithms for the automatic recognition of the information signal on the background of interference.

Keywords: radar measurements, modeling of systems, security alarm radar, MATLAB.