

УДК 004:623.618

В.А. Малышев, А.В. Толстых
**АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ
ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ В РАДИОЛОКАЦИОННОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ
ИЗМЕРЕНИЯМИ**

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

Радиолокационные информационные системы (РИС), предназначенные для обеспечения потребителей радиолокационной информацией, в определенных случаях, подвержены воздействию имитирующих помех. Данный вид помех формирует ложную информацию, тем самым создавая для оператора РИС условия неопределенности. В рассматриваемых условиях оператору предлагается оказать помощь в виде информационной подсказки, которая формируется интегрированной в РИС компьютерной системой поддержки принятия решения (СППР). При помощи данной СППР осуществляется проверка части радиолокационной информации, отображаемой на индикаторе, которая, по мнению оператора-профессионала, вызывает сомнения в том, что состоит из воздушных целей, а не ложных меток, образованных имитирующими помехами. В работе рассмотрена модель измерения для СППР, измененная с учетом появления в приемных каналах РИС фазовых координат искусственного происхождения, созданных с помощью имитирующих помех (однопараметрические (однократные) или многопараметрические (многократные) ответные и ответные с синхронным уводом). Также описана работа алгоритма распознавания помеховой обстановки, позволяющего совершать автоматическое определение помеховых ситуаций, что в конечном результате положительно влияет на оператора РИС и позволяет ему различать истинные воздушные цели от ложных.

Ключевые слова: радиолокационная информационная система, имитирующие помехи, модель измерений, система поддержки принятия решения, алгоритм.

Успешное осуществление функций управления воинскими формированиями Воздушно-космических сил немыслимо без непрерывно поступающих данных о воздушных объектах (ВО), своих и противника, на таких удалениях, которые бы обеспечивали своевременную реакцию командира на изменение обстановки. Для своевременной оценки обстановки и принятия оптимального решения о локационных целях в воздушном пространстве большой протяженности создаются специальные автоматизированные системы управления (АСУ), в которых важнейшей составной частью является информационная подсистема, предназначенная для сбора и обработки информации об воздушных объектах, необходимой для управления. Данная информационная подсистема определяется как совокупность технических средств и организационных комплексов с участием специально подготовленного человека – оператора и называется

радиолокационной информационной системой.

По содержанию деятельность оператора РИС преимущественно исполнительская, но при оценке информации и принятии решения – самостоятельная. При обработке радиолокационной информации в нормальных условиях, у оператора отсутствует какая-либо неясность в отношении перспектив принятия решения относительно локационной цели, что неизбежно приведет к заранее известному единственному результату. Но существуют ситуации, при которых работа оператора происходит в условиях, характеризующихся отсутствием достаточного количества информации для принятия решения и целесообразной организации действий. Условия, когда установить вероятность наступления событий и потенциальных результатов невозможно, называют условиями неопределенности. В условиях неопределенности проблема информационной неполноты ощущается наиболее остро: необходимые для поиска решения сведения либо отсутствуют, либо их пригодность вызывает обоснованные сомнения. Происходит это под воздействием групп неблагоприятных (дестабилизирующих) факторов, влияющих на РИС.

Основным неблагоприятным фактором, способствующим возникновению условий неопределенности, является действие преднамеренных помех, а именно имитирующих (дезинформирующих). Излучаемые станцией активных помех они предназначены для внесения ложной информации в подавляемую РИС. В результате воздействия указанных помех создаются ситуации, характеризующиеся следующими признаками: потерей радиолокационной информации на время или окончательно, созданием ложной радиолокационной обстановки на экране рабочего места оператора РИС. В конечном итоге эффективность деятельности (пропускная способность) оператора РИС значительно ухудшается. Повысить пропускную способность оператора РИС на этапе обнаружения и распознавания локационных целей возможно, если, своевременно обеспечив его необходимой информацией реализованной в виде подсказки.

Для того чтобы оператор РИС принимал обоснованные решения при возникновении условий неопределенности, в практике используются различные компьютерные системы, оказывающие помощь в процессе принятия решения. Учитывая анализ компьютерных систем по поддержке принятия решения, проведенный в [1], для формирования подсказки оператору АИИС РЛИ целесообразно применять систему поддержки принятия решения (СППР).

Одним из важных компонентов современных СППР является база моделей. Рассматриваемая далее модель измерений используется для описания и оптимизации процесса распознавания формируемой

тактической ситуации и является основой для алгоритма автоматического распознавания помеховой обстановки.

Модель измерений (наблюдений) разрабатываемой системы поддержки принятия решений

В качестве примера сложной предметной области в статье рассматривается автоматическое распознавание тактической ситуации целевой и помеховой обстановки. Под тактической ситуацией понимаются воздушные объекты, находящиеся в зоне контроля РИС, параметры их движения, вид целей, их взаимные характеристики [2].

В свою очередь, группа или отдельно обнаруженные ВО, отдельно отображаемые на индикаторах кругового обзора РИС, считаются локационными целями (ЛЦ). Принимая во внимание сложную помеховую обстановку, в которой функционирует РИС, к помехам относятся симитированные станцией активных помех противника метки воздушных объектов. В сфере, связанной с обнаружением и выдачей радиолокационной информации ЛЦ принято делить на воздушные цели (ВЦ) и свои самолеты. К ВЦ относятся ЛЦ, которые не были распознаны в системе государственного радиолокационного опознавания, не отвечают на запросы операторов управления воздушным движением и имеют характерные признаки средств воздушного нападения противника. Свои самолеты выполняют перелеты по маршрутам, запланированным и утвержденными планами полетов.

Для описания и представления перемещения ВО в пространстве используются фазовые координаты. Фазовые координаты — это различные параметры, характеризующие траекторию движения ЛЦ в определенные моменты времени: дальность до цели, азимут, угол места, скорость движения цели и её ускорение. Если известна зависимость фазовых координат ЛЦ за заданный период времени, то траектория цели считается известной.

Оцениваемые РИС фазовые координаты ЛЦ, не всегда являются полным набором параметров движения, входящих в состав вектора состояния воздушного объекта. Связь между вектором измеряемых параметров $Z(t)$ и вектором состояния $Y(t)$ в каждый момент времени задается уравнением измерения (наблюдения).

Скорее всего, что в процессе измерений вектора состояния $Y(t)$, не все его компоненты будут доступны для измерения. Тогда на интервале (t_0, t) , где t_0 — начало измерений, фактически измеряется не весь вектор $Y(t)$, а только часть его компонент. Это обстоятельство учитывается произведением $C(t)Y(t)$, где $C(t)$ — матрица измерений с нулевыми неизмеряемыми составляющими, которая связывает переменные состояния

$Y(t)$ и измерения (наблюдения) $Z(t)$. Учитывая, что применяемые в РИС линейные безынерционные измерители в процессе наблюдения не изменяют своих свойств, то уравнение измерения записывается в виде m -мерного вектора $Z(m \leq n)$ с учетом вектора помехи $N(t)$

$$Z(t) = C(t)Y(t) + N(t), \quad (1)$$

где $N(t)$ – m -мерный вектор центрированного гауссова белого шума с корреляционной функцией $K_N(t, t_1) = Q(t)\delta(t - t_1)$; $Q(t)$ – матрица интенсивностей шума; $\delta(t - t_1)$ – функция Дирака.

Работа одного из входящих в состав РИС измерителей, относящихся к техническим устройствам, описывается исходя из присущих им режимов работы:

- нормальной работы – уравнением (1);
- аномальных измерений при наличии отказов – уравнением [3]

$$Z(t) = C(t)Y(t) + K(t)N(t), \quad (2)$$

где $K(t) \gg 1$;

- неинформативных измерений (пропадание сигнала) – уравнением

$$Z(t) = N(t). \quad (3)$$

Обратная связь в канале измерения является причиной того, что на его свойства оказывают влияние процессы, протекающие в используемом РИС фильтре. В дальнейшем управляемым измерителем будет считаться один из каналов измерения РИС: по дальности, азимуту, углу места, с обозначенной в них обратной связью. Представленное в [4] уравнение описывает работу измерителя и имеет следующий вид

$$Z(t) = C(t)Y(t) + D(t)U(t) + N(t), \quad (4)$$

где $U(t)$ – r -мерный вектор управлений; $D(t)$ – известная $m \times r$ - мерная матрица.

Для естественного согласования с измерением процессов типа представленных в [5] уравнение измерения будет иметь вид

$$Z(t) = C^{(s)}(t)Y^{(s)}(t) + D^{(s)}(t)U^{(s)}(t) + N^{(s)}(t), \quad (5)$$

где $C^{(s)}(t)$ – $m \times n$ -мерная матрица с известными при фиксированном значении $S = s$ элементами; S – скалярная марковская цепь с конечным числом состояний $s(t) = \overline{1, S}$; $Y^{(s)}(t)$ – измеряемый векторный процесс с изменяющейся в зависимости от s -структурой; $U^{(s)}(t)$ – r -мерный вектор управлений в s -й структуре; $D^{(s)}(t)$ – $m \times r$ -мерная матрица с известными при фиксированном значении $S = s$ элементами; $N^{(s)}(t)$ – m -мерный вектор центрированного гауссова белого шума с $Q^{(s)}(t)$ матрицей

интенсивностей в s -й структуре контура измерения.

Дискретный аналог уравнения (2.10) представляется выражением

$$Z_k = \left[C^{(s)}Y^{(s)} + D^{(s)}U^{(s)} + N^{(s)} \right]_k, \quad (6)$$

где индекс k , соответствующий значению величин в правой части (5) в k -й момент времени, вынесен за квадратные скобки.

Из выше указанного следует, что управляемый измеритель может находиться в одном из двух присущих ему режимах: нормальном и аномальных измерений. Суть аномальных измерений заключается в неравномерном изменении параметров измерителя или сигналов с его выхода. Несмотря на это, аномальные измерения, которые превышают ограничения, с большой вероятностью могут быть обнаружены. А вот постепенные изменения фазовых координат, которые последовательно уводят измерители (6) по навязанным ложным траекториям, как показывает практика, практически не распознаются.

Существенные трудности у оператора РИС возникают при осуществлении анализа полученных результатов измерения в условиях преднамеренного обмана противником с помощью имитирующих помех. Цель использования помех заключается в создании симитированной радиолокационной обстановки за счет навязанных РИС ложных измерений. Оператор РИС при выполнении своих обязанностей по обнаружению и завязки траекторий ВЦ будет подвергаться негативным воздействиям, выражаемых через следующие эффекты: увеличение количества меток и изменение фазовых координат ВЦ, не соответствующих реальной обстановки. Общая модель имитирующей помехи описана в работе [5]. Рассмотренные эффекты, предлагается учесть в модели измерения как мультипликативные, так и аддитивные составляющие. После изменения общая модель измерения в дискретном виде будет выглядеть, так:

$$Z_k = \left[C^{(s)}M^{(s)}Y^{(s)} + D^{(s)}U^{(s)} + G^{(s)} + N^{(s)} \right]_k, \quad (7)$$

где $M^{(s)}$ – коэффициент, моделирующий искажение числовых параметров фазовых координат целей; $G^{(s)}$ – составляющая, которая указывает на приращение значений фазовых координат у помеховых отметок по отношению к фазовым координатам истинной цели.

Приращение $G^{(s)}$ будет зависеть от типа боевого порядка, имитируемого противником соответствующими типами воздушных объектов, входящих в его состав (крылатые ракеты, бомбардировщики, истребители и др.), на основе которых можно предположить разность фазовых координат воздушных объектов – описать его расположение в пространстве по отношению к одной цели, предположительно источником имитирующих помех, или между собой. Для примера рассмотрим фазовые

координаты в моменты времени k и $k+1$ одной обнаруженной тактической группы. На момент времени k каждому из четырех событий $S=4$, составляющих группу локационных целей (целесообразно рассматривать четыре значения $G^{(1)-(4)}$ соответствующих используемому в настоящее время боевому порядку тактической группы ударного эшелона противника: три метки относятся к имитирующим и одна к реальному ВО присвоены значения $G^{(1)}$, $G^{(2)}$, $G^{(3)}$, $G^{(4)}$, то есть приращения, определяющие возможное количество проверяемых отображаемых меток на экране координатно-знакового индикатора (Рисунок 1). В следующий момент времени $k+1$ установленные значения $G^{(s)}$ не меняются, но меняются результаты измерений, тем самым моделируется движение боевого порядка противника.

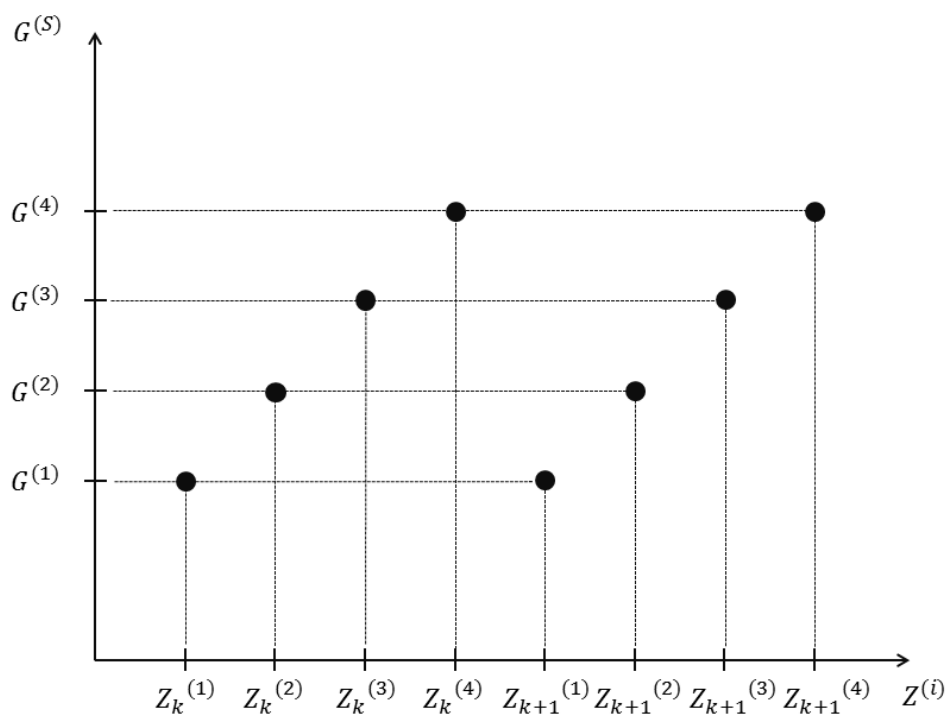


Рисунок 1 – Зависимость результатов измерений от изменений коэффициента $G^{(s)}$

Значение $M^{(s)}$ будет зависеть от типа имитируемого ЛА и присущих ему тактико-технических характеристик, на основе которых можно предположить изменение фазовых координат воздушного объекта – описать его движение. Рассматриваемый коэффициент принимает значения, вносящие изменение в фазовые координаты обнаруженной ЛЦ, тем самым моделируется её маневр, а на самом деле увод одной цели или вариант с применением многократных ответных помех, когда имитируется увод группы ВЦ. Для уводящих помех по каналу дальности осуществляется имитация замедления или увеличения изменения

дальности от ВЦ до РИС обнаружения в различные моменты времени (Рисунок 2).

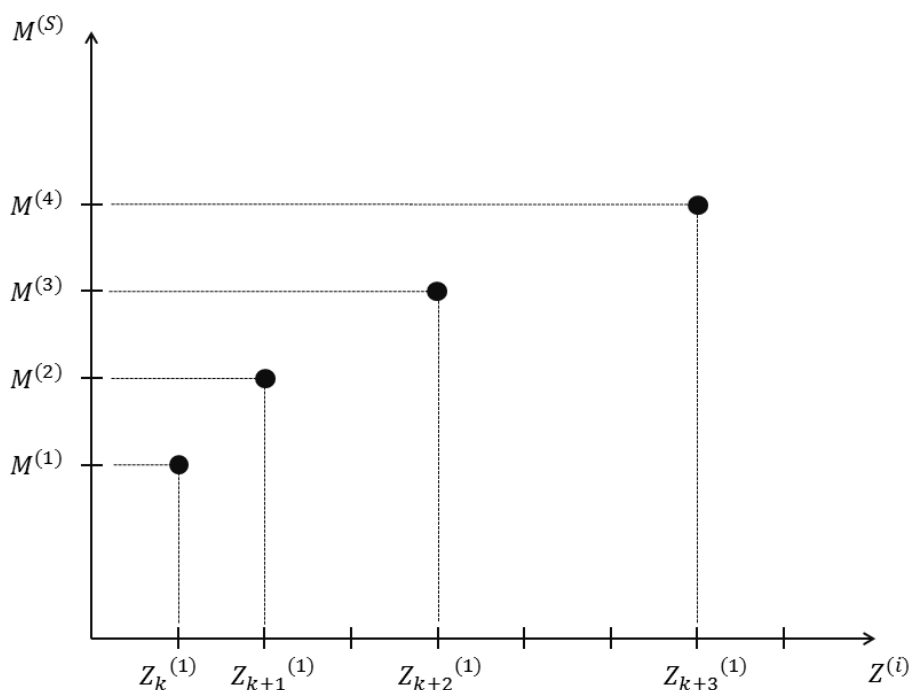


Рисунок 2 – Зависимость результатов измерений от изменений коэффициента $M^{(S)}$

Таким образом, измененная модель измерения описывает однопараметрические (однократные), многопараметрические (многократные) ответные имитирующие помехи или ответные имитирующие помехи с синхронным уводом, которые в ответ на сигнальный импульс создает n ответных сигналоподобных импульсов. Так создается ложная многоцелевая обстановка, иногда с синхронным уводом всей пачки ответных импульсов радиолокационного сигнала. Модель измерения (7) подлежит согласованию с имеющимся алгоритмическим обеспечением РИС и алгоритмическим обеспечением разрабатываемой СППР.

Алгоритм автоматического распознавания помеховой обстановки

Совокупность тактических ситуаций образует тактическую обстановку, но с учетом возможности возникновения сложной радиолокационной обстановки, связанной с воздействием имитирующих помех, может сформироваться помеховая обстановка, которая состоит из ряда помеховых ситуаций.

Оператор, в рамках выполнения своих функциональных обязанностей, должен вовремя распознать складывающуюся помеховую обстановку. Процесс принятия оператором решений усложняется воздействием преднамеренных помех и заключается в правильном выборе

измерителя РИС, который осуществляет измерения фазовых координат ВЦ. Аналогичную процедуру в автоматическом режиме должна дублировать СППР и формировать актуальную информационную подсказку.

На основании вычисления апостериорных вероятностей возникших тактических ситуаций в конкретный момент времени, которые формируются в результате полученной априорной информации об интенсивности смены ситуаций, а также при расчетах, проведенных с помощью измененной модели измерений (7), в СППР будет автоматически подготавливаться подсказка оператору РИС о возможной помеховой ситуации. Данная модель измерения (7) учитывает возможные искажения числовых параметров фазовых координат ВО, а также предполагаемое размножение отметки цели из-за действия имитирующих помех. Совокупность возможных помеховых ситуаций должна составлять полную группу несовместных событий, при этом номер помеховой ситуации $s \in S$, сложившейся в текущий момент времени будет определяться по критерию максимума апостериорной вероятности.

Вычисление апостериорной вероятности $\hat{P}^{(s)}$ каждой s -й помеховой ситуации осуществляется по формуле Байеса [6]:

$$\hat{P}_k^{(s)} = \left[\frac{\tilde{P}^{(s)} \exp[-0,5h^{(s)}(Z)]}{\sum_{s=1}^S \tilde{P}^{(s)} \exp[-0,5h^{(s)}(Z)]} \right]_k, \quad (8)$$

где

$$\tilde{P}_k^{(s)} = \left[\hat{P}^{(s)} - \Delta t \left(\hat{P}^{(s)} \sum_{s=1 \neq q}^S \tilde{v}^{(sq)} - \sum_{q=1 \neq s}^S \tilde{v}^{(qs)} \hat{P}^{(q)} \right) \right]_{k-1} \quad (9)$$

$$h^{(s)}(Z) = \prod_{i=1}^I h^{(s)(i)}(Z^{(i)}), \quad s = \overline{1, S}, \quad (10)$$

$$h^{(s)(i)}(Z^{(i)}) = \left[\frac{Z^{(i)} - C^{(s)(i)} \hat{Y}^{(i)}}{\sigma^{(s)(i)}} \right]^2, \quad (11)$$

$\hat{P}_k^{(s)}$ – апостериорная вероятность s -й помеховой ситуации на k -м шаге счета, основанная на обработке выходных сигналов измерителей, а также априорной информации об интенсивностях переходов $\tilde{v}^{(sq)}$; $\tilde{P}_k^{(s)}$ – прогнозируемая на один шаг $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ вероятность s -й ситуации;

$\sigma^{(s)(i)} = \sqrt{\tilde{R}_i^{(s)} + D^{(s)}}$, $\tilde{R}_i^{(s)}$ – прогнозируемая на один шаг дисперсия фазовой координаты Y ; $D^{(s)}$ – дисперсия флуктуационного шума i -го канала измерителя в s -й ситуации; $\tilde{\nu}^{(sq)}$ – априорные значения интенсивностей переходов между помеховыми ситуациями.

Решение о сложившейся в текущий момент времени помеховой ситуации принимается по критерию:

$$\hat{s}_k = \arg \max_s \{ \hat{P}_k^{(s)} \}, s = \overline{1, S}. \quad (12)$$

Обработка информации в соответствии с (7), (8) – (12) по S параллельным ветвям является алгоритмом распознавания помеховой обстановки. При обработке информации в данном случае выполняются следующие действия в соответствии с алгоритмом автоматического распознавания помеховой обстановки (Рисунок 3):

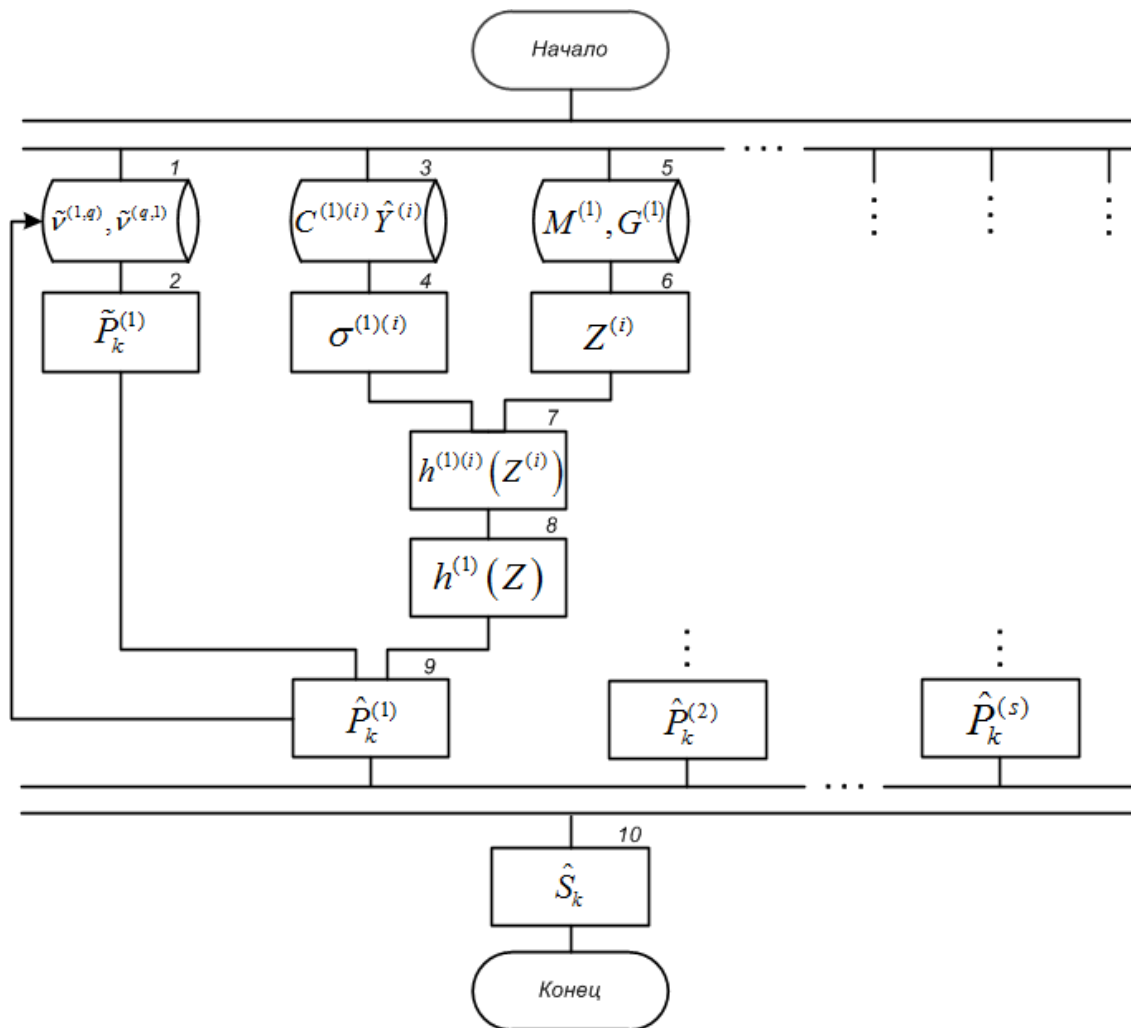


Рисунок 3 – Алгоритм автоматического распознавания помеховой обстановки

1. Запись и накопление в БД вероятностей возникших ситуаций по

результатам анализа действия помех в $k-1$ момент времени и выдача полученных значений априорных интенсивностей переходов $\tilde{V}^{(sq)}$, $\tilde{V}^{(qs)}$ между помеховыми ситуациями;

2. Определение прогнозируемой вероятности $\tilde{P}_k^{(s)}$ s -й ситуации по формуле (9).

3. Назначение оценок $\hat{Y}^{(i)}$ выполняется согласованно с таблицей целевых ситуаций и, как правило, данные оценки совпадают со значениями записанных в БД результатов вычислений алгоритма целевой обстановки коэффициентов сноса в соответствующей l -й целевой ситуации.

4. Определение среднеквадратического отклонения $\sigma^{(s)(i)}$ каждой измеряемой в s -й помеховой ситуации фазовой координаты объекта с учетом прогнозируемой на один шаг ее дисперсии.

5. Обновление значений коэффициентов $G^{(s)}$ и $M^{(s)}$, моделирующих эффект размножения отметки цели и искажение числовых параметров фазовых координат целей при действии организованных помех, соответственно.

6. Формирование гипотез помеховых ситуаций по каждой фазовой координате объекта на основании предлагаемой модели измерений (7).

7. Использование результата измерения i -й фазовой координаты объекта для вычисления значения $h^{(s)(i)}(Z^{(i)})$ по формуле (11).

8. Объединение результатов измерения фазовых координат объекта в соответствии с формулой (10).

9. Вычисление апостериорной вероятности $\hat{P}_k^{(s)}$ каждой s -й помеховой ситуации по формуле (8).

10. Определение сложившейся в текущий момент времени помеховой ситуации по формуле (12).

Выводы

Наличие алгоритма распознавания помеховой обстановки в составе алгоритмического обеспечения разрабатываемой СППР позволяет:

– за счет использования дополнительных признаков (в работе использованы только признаки искажения фазовых координат объектов из-за действия имитирующих помех) повысить вероятность обнаружения воздействия на РИС организованных помех;

– проверить каждую отметку воздушной цели на принадлежность к помехе.

Наличие СППР у оператора РИС позволяет, как облегчить нагрузку на него, так и обеспечивает его необходимой информацией для качественного принятия решения в сложной обстановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстых А.В. Обоснование необходимости информационной поддержки оператора радиолокационной автоматизированной измерительно-информационной системы, функционирующего в условиях неопределенности / А.В. Толстых // сб. ст. по материалам ВНТК, посвященной Дню образования войск связи. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. С 214-216.
2. Информационные технологии в радиотехнических системах: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васин, И.Б. Власов, Ю.М. Егоров [и др.] / под ред. И.Б. Федорова – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э Баумана, 2004. – 285 с.
3. Гришин Ю.П., Казаринов Ю.М. Динамические системы, устойчивые к отказам. – М.: Радио и связь, 1985.
4. Казаков И.Е., Артемьев В.М. Оптимизация динамических систем случайной структуры. – М.: Наука, 1980.
5. Толстых А.В. Модель состояния воздушного объекта при обнаружении оператором радиолокационной автоматизированной измерительно-информационной системы в условиях неопределенности / А.В. Толстых // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2016. №1. С 58-61.
6. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

V.A. Malyshev, A.V. Tolstykh

ALGORITHM OF AUTOMATIC RECOGNITION OF INTERFERENCE SITUATION IN RADAR INFORMATION SYSTEM BASED ON MEASUREMENT MANAGEMENT

*Military Educational and Scientific Center of the Air Forces N.E. Zhukovsky
and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia*

In radar information systems (RIS), under the influence of simulating intentional interference, conditions arise that lead to uncertainty and make it difficult to make management decisions. To provide information support to the RIS operator in conditions of uncertainty, it is proposed to use a computer decision support system (DSS) integrated in RIS. With the help of this DSS, a part of the radar information displayed on the indicator is checked, which, in the opinion of the professional operator, raises doubts about what consists of air targets, and not false labels, formed by imitating interference. In the paper, the measurement model for the DSS is changed, taking into account the appearance in the RIS receiving channels of artificially generated phase coordinates created by simulating interference (single-parameter (single) or multiparameter (multiple) response and response with synchronous elimination). Also, the work of the algorithm for detecting interference conditions is described, which allows to automatically detect jamming situations, which in the final result positively affects the RIS operator and allows him to distinguish true air targets from false ones.

Keywords: the radar information system, simulating interference, model measurements, decision support systems.

REFERENCES

1. Tolstykh A.V. Obosnovanie neobходимosti informacionnoy poddergki operatora radiolokacionnoy avtomatizirovannoy izmeritel'no-informacionnoy sistemi, funkcioniruyushogo v usloviyah neopredelennosti // sb. st. po materialam VNTK, posvashennoiy Dnyu obrazovaniya voisk svazy. Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2015. P 214-216.
2. Informacionie tehnologii v radiotekhnicheskikh: ucheb. posobie. – 2-e izd., pererab. i dop. / V.A. Vasin, I.B. Vlasov, Yu.M. Egorov [i dr.] / pod red. I.B. Fedorova – M.: Izd-vo MGTU im N.E. Baumana, 2004. – 285 p.
3. Grishin V.P., Kazarinov Yu.M. Dinamicheskie sistemy, ustoichivie k otkazam. – M.: Radio i svyaz`, 1985. – 176 p.
4. Kazakov I.E., Artemev V.M. Optimizatsiya dinamicheskikh sistem sluchainoy stukturi. – M.: Nauka, 1980. – 384 p.
5. Tolstykh A.V. Model sostoianiya vozdušnogo obiekta pri obnaruzhenii operatorom radiolokacionnoy avtomatizirovannoy izmeritel'no-informacionnoy sistemi v usloviyah neopredelennosti / A.V. Tolstykh // Vestnik Voronegskogo instituta FSIN Rossii. 2016. №1. P 58-61.
6. Gmuran V.E. Teoria veroiatnostey i matematicheskaiya statistika: ucheb. posobie dla vuzov / V.E. Gmuran. – 9-e izd., ster. – M.: Vissh. shk., 2003. – 479 p.