

УДК 004:623.618

## МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ В РАДИОЛОКАЦИОННУЮ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ

**Толстых А.В.**

*ФГКВОВ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: toa\_80@mail.ru*

В радиолокационных автоматизированных измерительно-информационных системах (АИИС) при воздействии преднамеренных помех возникают условия, приводящие к неопределенности и затрудняющие принятие управленческих решений. Для оказания информационной поддержки оператору АИИС в условиях неопределенности предлагается использовать компьютерную систему поддержки принятия решения (СППР). Результатом работы является модель измерения для СППР, интегрированной в АИИС, позволяющей распознавать неопределенность ситуационной обстановки в воздушном пространстве из-за аномалий в измерениях, вследствие воздействия преднамеренных помех. С учетом повторений сложных помеховых и целевых ситуаций оператору представляется возможность корректировать определенную часть базы данных и базы знаний СППР, повышая безошибочность (помехоустойчивость) выдачи целей на автосопровождение.

**Ключевые слова:** радиолокационная автоматизированная информационная система, условия неопределенности, преднамеренные помехи, система поддержки принятия решения

## MODEL FOR MEASURING DECISION SUPPORT SYSTEM, INTEGRATED IN THE RADAR AUTOMATED MEASURING AND INFORMATION SYSTEM

**Tolstykh A.V.**

*Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Center of the Air Forces N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: toa\_80@mail.ru*

In the radar automated measuring and information systems (AMIS) at influence of deliberate hindrances there are the conditions resulting in uncertainty and complicating adoption of administrative decisions. For rendering of information support the operator of AMIS in the conditions of uncertainty is offered to use computer decision support systems (DSS). Result of work is the measurement model for DSS integrated into AMIS, allowing to distinguish uncertainty of a situational situation in air space because of anomalies in measurements, owing to influence of deliberate hindrances. Taking into account repetitions of difficult hindrances and target situations possibility to correct a certain part of a database and DSS knowledge base is represented to the operator, raising a faultlessness (noise stability) of delivery is more whole on autosupport.

**Keywords:** the radar automated information system, the conditions of uncertainty, deliberate hindrances, decision support systems

Важной составной частью автоматизированной системы управления (АСУ) любого назначения является информационная подсистема, предназначенная для сбора и обработки информации об объектах, необходимой для управления. Способы получения информации об объектах, определяемые типами источников информации, обуславливают облик информационной подсистемы, информационного обеспечения АСУ. В данном случае источником информации выступает информационная система (ИС), определяемая, как взаимосвязанная совокупность технических средств, методов и персонала, используемых для сбора, хранения, обработки и выдачи радиолокационной информации в интересах достижения поставленной цели.

В радиолокационной ИС с помощью радиотехнических средств (РТС) осуществляется обнаружение воздушных объектов,

измерение их координат и параметров движения, которое в радиолокации сводится к измерению параметров принимаемых сигналов, отраженных или излученных объектом. Участие в процессе измерения может принимать человек-оператор. В соответствии со своим опытом и знаниями он перед принятием решений об обнаружении целей и выдачи их на сопровождение производит оценку факторов (яркость отметки, скорость её перемещения по индикатору и т.д.), которые будут далее использованы при принятии решения. Рассматриваемая в дальнейшем ИС классифицирована, как радиолокационная АИИС.

Извлечение информации происходит при действии как внутрисистемных помех, так и помех от сторонних радиосредств, в том числе и специально создаваемых с целью подавления РТС. Основная цель средств радиоэлектронного подавления вероятного противника в отношении опера-

тора АИИС состоит в том, чтобы нарушить возможность наблюдения за обстановкой или исказить реальную картину этой обстановки. Первая цель может быть достигнута с помощью активных, пассивных маскирующих помех, вторая цель – с помощью имитирующих и комбинированных помех [5].

Наиболее опасными для работы оператора, а в целом АИИС, являются имитирующие (дезинформирующие) помехи. По структуре они близки к полезным сигналам и поэтому создают в оконечных устройствах (на экранах индикаторов) АИИС отметки ложных целей, вводят в заблуждение операторов, снижают пропускную способность радиолокационных систем. Эффект воздействия помех такого вида сказывается в ухудшении качества обрабатываемой информации в результате ее разрушения или старения, что увеличивает степень неопределенности у оператора АИИС при принятии решений. Повысить эффективность работы, выполняемой оператором АИИС на этапе обнаружения и распознавания воздушных целей, возможно при своевременном обеспечении его подсказкой. Учитывая результаты анализа, проведенного в [4], для формирования подсказки целесообразно применять компьютерную СППР.

Объектами предметной области, рассматриваемыми в статье, являются все обнаруженные воздушные объекты или их группы, раздельно наблюдаемые на экранах индикаторов РТС – локационные цели, а также, учитывая сложную помеховую обстановку, созданную противником, – помехи, имитирующие воздушные объекты. Локационные цели подразделяются на воздушные цели (ВЦ), к которым относятся средства воздушного нападения противника и свои самолеты (СС), находящиеся на маршруте в соответствии с планом полетов.

В фазовом пространстве СС и ВЦ характеризуются стохастическим вектором  $Y(t)$  размерности  $n_y$  с компонентами  $y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)$ .  $Y(t)$  является вектором-столбцом.

В состав вектора фазовых координат СС в общем случае входят [1]:

- параметры собственного движения СС в земной системе координат: модуль и угловые координаты вектора дальности, и их производные;
- параметры относительного движения СС и окружающих его объектов в связанной с СС системой координат: модули

и угловые координаты окружающих объектов, и их производные.

Некоторые фазовые координаты могут подвергаться целенаправленному изменению посредством входных воздействий – управлений. Вектор управлений  $U(t)$  имеет размерность  $m \leq n$ .

Математическая модель СС, как динамическая непрерывная нелинейная стохастическая система, находящаяся в одном из возможных состояний, имеет вид [2]

$$\dot{Y} = A(Y, t) + B(Y, t)U(t) + F(Y, t)\xi(t),$$

$$Y(t_0) = Y_0, \quad (1)$$

где  $Y(t)$  – непрерывный  $n_y$  – мерный вектор;  $A(Y, t)$  – вектор, характеризующий свободное движение СС;  $B(Y, t), F(Y, t)$  – матрицы с компонентами-функциями вектора  $Y(t)$ ;  $U(t)$  – вектор управления – детерминированная  $m$  – мерная векторная функция времени или фазовых координат;  $\xi(t)$  –  $n_y$  – мерный вектор центрированного гауссовского белого шума с корреляционной функцией вида  $k_\xi(t, t') = G(t)\delta(t - t')$ ,  $G(t)$  – матрица интенсивностей шума;  $\delta(t - t')$  – функция Дирака.

Практика показывает, что компоненты вектора фазовых координат СС, управлений или шума могут изменяться скачкообразно. По существу СС (а также ВЦ или имитирующая помеха) является системой со случайной структурой, и его удобно характеризовать номером структуры  $s(t) = \overline{1, S}$  и вектором состояния  $Y(t)$ . Тогда математическая модель СС, как нелинейная стохастическая система со случайной структурой, записанная в форме уравнения Коши, будет иметь вид [2]

$$\dot{Y} = A^{(s)}(Y, t) + B^{(s)}(Y, t)U(t) + F^{(s)}(Y, t)\xi(t),$$

$$Y(t_0) = Y_0, \quad (2)$$

где  $s(t) = \overline{1, S}$  – номер (индекс) структуры;  $S$  – число детерминированных структур. Остальные обозначения аналогичны обозначениям в (1).

В связи с тем, что информация в обрабатываемой СППР должна быть представлена в дискретном виде, необходим перевод уравнения (2) в рекуррентный вид. При большом числе уровней квантуемого сигнала и малом интервале дискретности по времени уравнение (2) может быть записано в рекуррентном виде в каждой  $s$ -й структуре [2]:

$$Y(k+1) = Y(k) + A^{(s)}(Y, k) + B^{(s)}(Y, k)U(k) + F^{(s)}(Y, k)\xi(k),$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots; s = \overline{1, n}), Y(0) = Y_0, \quad (3)$$

где  $Y(t)$  – дискретная непрерывнозначная  $n_Y$  – мерная последовательность;  $\xi(k)$  – вектор центрированного дискретного гауссовского белого шума с матрицей корреляционных функций  $K_\xi(k, h) = G(k)\delta_{kh}$ ;  $\delta_{kh}$  – функция Кронекера;  $s(k)$  – дискретная последовательность – цепь.

Таким образом, СС как динамическая система со случайной структурой характеризуется номером детерминированной структуры и непрерывнозначным вектором фазовых координат в каждой структуре, т.е. расширенным вектором состояния  $[Y^T, S]^T$ .

Модель ВЦ аналогична модели СС (3). В случае, когда ВЦ несанкционированно находится в зоне ответственности РТС и не реагирует на управляющие команды, из модели исключается третья составляющая, характеризующая управление. Модель ВЦ в этом случае будет иметь вид

$$Y(k+1) = Y(k) + A^{(s)}(Y, k) + F^{(s)}(Y, k)\xi(k),$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots; s = \overline{1, n}), Y(0) = Y_0. \quad (4)$$

Помехи, имитирующие ВЦ, являются объектами-фантомами, возникающими в результате многократной ретрансляции зондирующих сигналов РЛС. Результатом ретрансляции является совпадение по всем основным признакам полезных и помеховых сигналов за исключением того, что действие помехи циклично, а длительность цикла ограничена. Модель имитирующей помехи аналогична (4) и имеет вид

$$Y(k+1) = Y(k) + A^{(s)}(Y, k) + F^{(s)}(Y, k)\xi(k),$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots, k_q; s = \overline{1, n}), Y(0) = Y_0. \quad (5)$$

При организации измерений, возможно, что не все компоненты вектора  $Y(t)$  в (3) доступны измерению. 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, в которой неизмеряемые составляющие – нулевые. В случае, когда в РТС применяются линейные безынерционные измерители, которые не изменяют своих свойств в процессе наблюдения, уравнение измерения записывается в виде  $m$ -мерного вектора  $Z(m \leq n)$  с учетом вектора помехи  $N(t)$ :

$$Z(t) = C(t)Y(t) + N(t), \quad (6)$$

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.

Функционирование измерителя, как технического устройства, может быть описано в соответствии с режимами:

- нормальной работы – уравнением (6);
- аномальных измерений при наличии отказов – уравнением [3]

$$Z(t) = C(t)Y(t) + K(t)N(t), \quad (7)$$

где  $K(t) \gg 1$ ;

– неинформативных измерений (пропадание сигнала) – уравнением

$$Z(t) = N(t). \quad (8)$$

Наличие обратной связи в канале измерения приводит к тому, что свойства канала становятся зависимыми от процессов, протекающих в фильтре. Канал измерения РТС с обратной связью далее будет называться управляемым измерителем. Уравнение, описывающее функционирование управляемого измерителя, имеет вид [2]

$$Z(t) = C(t)Y(t) + D(t)U(t) + N(t), \quad (9)$$

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

Для естественного согласования с измерением процессов типа (3) уравнение измерения будет иметь вид

$$Z(t) = C^{(s)}(t)Y^{(s)}(t) +$$

$$+ D^{(s)}(t)U^{(s)}(t) + N^{(s)}(t), \quad (10)$$

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 (10) имеет вид

$$Z_k = [C^{(s)}Y^{(s)} + D^{(s)}U^{(s)} + N^{(s)}]_k, \quad (11)$$

где индекс  $k$ , соответствующий значению величин в правой части (10) в  $k$ -й момент времени, вынесен за квадратные скобки.

Для управляемого измерителя характерны режимы нормальной работы и аномальных измерений. Аномальные измерения, заключающиеся в скачкообразном изменении параметров измерителя или его выходного сигнала

и производных, превышающих ограничения, могут быть обнаружены с помощью данного измерителя. Однако постепенные изменения параметров или развитие входных процессов по ложным траекториям с помощью измерителя (11), как правило, не обнаруживаются. Значительную трудность для оператора представляет анализ результатов измерения при информационном противодействии, целью которого является создание условий для неинформативных и ложных измерений.

Ложные измерения возникают в случаях слежения за сигналами имитирующих

помех. Выше приведена общая модель (5) имитирующей помехи. При слежении за сигналом имитирующей помехи в информационном поле оператора могут, в частности, наблюдаться следующие эффекты: искажение числовых параметров фазовых координат целей; появление новых отметок целей; размножение отметки цели; пропадание отметок целей. Данные эффекты в модели измерения целесообразно учесть в виде, как мультипликативных, так и аддитивных составляющих. Тогда общая модель измерения в дискретном виде будет

$$Z_k = \left[ C^{(s)} B^{(s)} Y^{(s)} + D^{(s)} U^{(s)} + G^{(s)} + N^{(s)} \right]_k, \quad (12)$$

где  $B^{(s)}$  – коэффициент, принимающий значения в диапазоне от 0 до 3 и моделирующий эффекты появления новых отметок целей, размножение отметки цели; пропадание отметок целей;  $G^{(s)}$  – аддитивная составляющая, моделирующая искажение числовых параметров фазовых координат целей. При  $B^{(s)} = 0$  моделируется пропадание отметок целей, при  $0 < B^{(s)} < 1$  моделируется замедление изменения фазовых координат целей, при  $1 < B^{(s)} < 3$  моделируется ускорение изменения фазовых координат целей. Назначение коэффициенту  $B^{(s)}$  значений больших, чем 3 нецелесообразно из-за имитации маневров, нехарактерных для воздушных целей и, кроме того, неизбежной малости  $k_u$  в (5).

Модель измерения (12) интуитивно понятна оператору, который при определенной квалификации может использовать ее для корректировки определенной части базы данных и базы знаний разрабатываемой

СППР. Данная модель подлежит согласованию с имеющимся алгоритмическим обеспечением АИИС и алгоритмическим обеспечением разрабатываемой СППР.

#### Список литературы

1. Гришин Ю.П., Казаринов Ю.М. Динамические системы, устойчивые к отказам. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
2. Казаков И.Е., Артемьев В.М. Оптимизация динамических систем случайной структуры. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
3. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.
4. Толстых А.В. Обоснование необходимости информационной поддержки оператора радиолокационной автоматизированной измерительно-информационной системы, функционирующего в условиях неопределенности // сб. ст. по материалам ВНТК, посвященной Дню образования войск связи. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 214–216.
5. Фарица А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.