Интегральная модель радиолинии в конфликтной ситуации

Radio line integral model in a conflict situation

Пшеничников / Pshenichnikov A.
Александр Викторович
(siracooz77@mail.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи
имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного» МО РФ,
докторант кафедры радиосвязи.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: помехоустойчивость – immunity to interference; система противодействия – counteracting system; модель радиолинии – radio line model.

В статье предложена интегральная модель радиолинии в конфликтной ситуации. Представлена обобщенная модель радиолинии. С использованием теории систем, теории управления, теории конфликтов получено уравнение синтеза функциональной модели радиолини в различных условиях сигнальной и помеховой обстановки.

The paper proposes an integral model of radio line in a conflict situation. A summarized model of radio line is given. Using the system theory, management theory, conflict theory a radio line functional model synthesis equation at various conditions of signal and interference environment is obtained.

Одной из актуальных проблем, связанных с обеспечением требуемой эффективности функционирования линий радиосвязи в сложных условиях сигнальной и помеховой обстановки, является выполнение требований по их помехозащищенности. Решение может быть получено на основе синтеза алгоритмов, учитывающих особенности функционирования радиолиний в условиях конфликтной ситуации, возникающей в результате преднамеренных деструктивных воздействий со стороны системы противодействия.

Различные аспекты данной проблематики рассмотрены в работах [1–7]. Вместе с тем анализ предложенных в них решений показывает, что они носят частный характер, так как получены в условиях стационарного негативного воздействия на ресурсы радиолинии. При этом они не учитывают когнитивные свойства подсистемы деструктивного воздействия.

Таким образом, обеспечиваемая в них результативность является частным случаем и не позволяет синтезировать эффективные алгоритмы функционирования радиолиний в условиях нестационарного преднамеренного воздействия. Следовательно, можно утверждать, что в настоящее время отсутствует продуктивный методический аппарат, позволяющий обеспечить требуемый уровень помехозащищенности радиолиний в условиях динамической конфликтной среды.

Для иллюстрации сделанного вывода на рис.1 представлены результаты математического моделирования зависимости среднего времени реакции ($\bar{t}_р$) системы противодействия от нормированного времени функционирования радиолинии на рабочей частоте ($\frac{t_f}{T}$, где t_f – время функционирования радиолиниии на рабочей частоте, T – общее время функционирования радиолинии) при различных значениях электромагнитной доступности (Pэмд). При этом полагалось, что в радиолинии не реализованы алгоритмы динамического изменения режимов работы.

Из анализа результатов на рис. 1 следует, что при функционировании радиолинии на одной частоте ($\frac{t_f}{T}=1$) преднамеренное воздействие на ее ресурсы будет оказано за время, не првышающее 0,1 с. При функционировании радиолинии в режиме равномерной программной перестройки рабочей частоты на 1000 частотах ($\frac{t_f}{T} = 0{,}001$)время реакции системы противодействия составит менее 10 с. Таким образом, существующие алгоритмы функционирования радиолиний в своей совокупности не обеспечивают их эффективное функционирование в условиях динамически изменяющейся конфликтной ситуации.

Следовательно, разработка модели функционирования радиолинии в динамически изменяющейся конфликтной ситуации является достаточно актуальной проблемой. При этом будем полагать, что система противодействия обладает когнитивными свойствами. Для решения сформулированной проблематики формализуем процесс управления с позиций рассмотренной конфликтной ситуации.

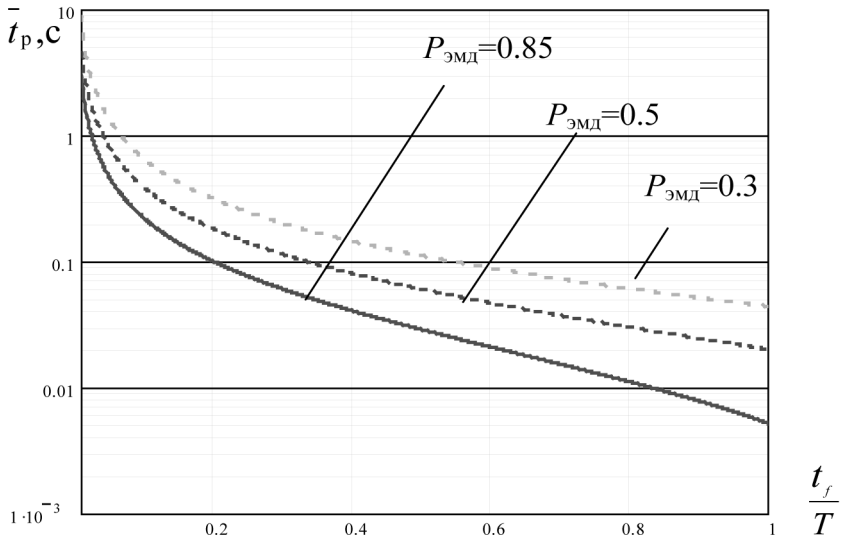

Рис. 1 График зависимости среднего времени реакции системы противодействия

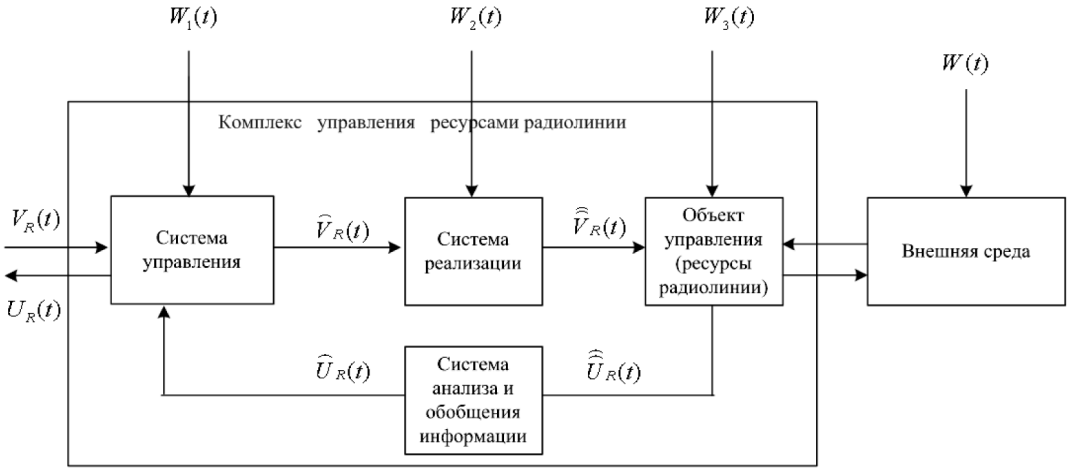

Рис. 2. Обобщенная модель радиолинии

Обобщенная модель радиолинии, функционирующей в условиях нестационарного непреднамеренного воздействия, может быть формализована на основе элементов теории управления и теории систем. Структурная схема такой модели представлена на рис. 2:

Из анализа структурных связей модели на рис. 2 следует, что она реализована с использованием метода структурного управления [1]. Известны модели на основе метода бесструктурного управления [2]. Однако их применение предполагает наличие специального информационного обеспечения объекта управления, а также возможность обучения структуры управления. В условиях деструктивного динамического воздействия применение подобных моделей не гарантирует достижение требуемого показателя эффективности, что является недопустимым условием функционирования радиолиний в конфликтной ситуации.

В связи с рассмотренными обстоятельствами, в предложенной структурной модели (см. рис. 2) под системой управления будем понимать совокупность организационно-технических средств, обеспечивающих воздействие на ресурсы радиолинии для достижения поставленных целей. А под управлением радиолинией – целенаправленное воздействие системы управления на ресурсы радиолинии с учетом внешних воздействий, влияющих на эффективность ее функционирования.

На обобщенной структурной схеме указанное воздействие на систему управления представлено функцией $V_R(t)$. Эта функция зависит от времени и может быть нечетко формализована, однако она характеризует полную функцию управления.

Область значений функции $V_R(t)$ входит в область определения функции $\widehat{V}_R(t)$. Реализация принятого решения на управление осуществляется системой реализации решений. Данная система уточняет функцию управления $\widehat{V}_R(t)$ с учетом среды воздействия. Воздействие системы реализации решений определяется функцией $\widehat{\widehat{V}}_R(t)$.

Поскольку функции $V_R(t)$, $\widehat{V}_R(t)$, $\widehat{\widehat{V}}_R(t)$ описывают воздействие системы управления, то по своей природе они коррелированны. Их независимость свидетельствует либо о разрыве контура управления, либо об отсутствии управляющего воздействия.

Функции $\widehat{\widehat{U}}_R(t), \widehat{U}_R(t), U_R(t)$ замыкают контур управления и представляют собой отображение состояния объекта управления. Они реализуются системой анализа и обобщения информации.

В качестве объекта управления в модели на рис. 2 выступают частотный, временной, энергетический и другие ресурсы радиолинии, которые непосредственно определяют эффективность ее функционирования. Функции $W(t)$, $W_1(t)$, $W_2(t)$ характеризуют воздействие внешней среды на элементы модели.

Таким образом, модель на рис. 2 реализует замкнутое управление радиолинией. Очевидно, что при практической реализации необходимо формализовать функции преднамеренного воздействия, случайными к детерминированному воздействию среды, а также функции отображения (реакции системы). Строго математическая реализация данных функций, в общем случае, может быть не определена. Поэтому для решения данной задачи могут быть использованы методы теории управления, которые позволяют преобразовать эти функции в вектор цели, вектор состояния и вектор ошибки [2].

Модель радиолинии, функционирующей в вышепредставленных условиях, получим на основе разработанной модели в результате преобразований с использованием методов теории систем и дуальности целей системы противодействия [3]:

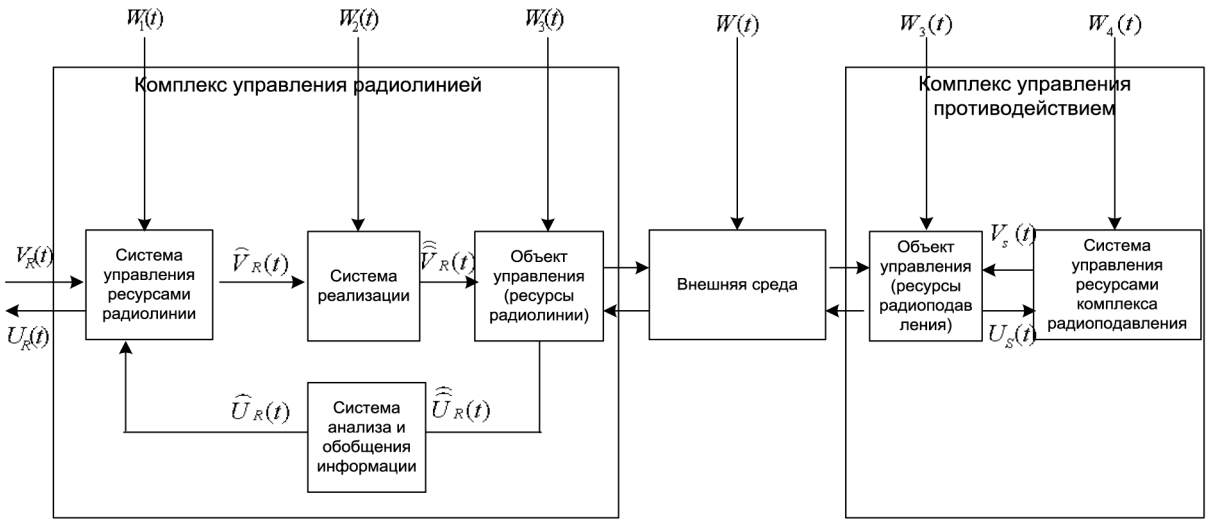

Рис. 3. Обобщенная модель радиолинии в конфликтной ситуации

Следует отметить, что в отличие от модели на рис. 2 реконструированная модель радиолинии учитывает воздействие системы противодействия, имеющего противоположные системе управления радиолинии цели. В связи с этим функции $V_S(t)$ и $U_S(t)$, характеризующие процессы управления и отображения информации об объекте управления при воздействии системы противодействия, имеют противоположные друг другу целевые установки. Заметим, что функции $V_R(t)$ и $V_S(t)$, также являются противоположными. В противном случае процесс управления ресурсами радиолинии может быть представлен моделью на рис. 2 с откорректированными параметрами вектора управления.

Для логико-формального подхода к моделированию радиолинии в конфликтной ситуации определим тезаурус данной работы. Под качеством функционирования радиолинии будем понимать показатели, к которым предъявляются заданные требования. В частности, для решения задач управления в целях оценки качества функционирования радиолинии может быть использован параметр достоверности передачи информации, которая определяется вероятностью ошибочного приема бита $P_{ош}$ [4].

Эффективностью функционирования радиолинии определим степенью достижения показателей качества [5]. Под стратегией управления радиолинией будем понимать совокупность элементарных методов управления [6]. А элементарным методом управления будем считать совокупность способов, направленных на достижение требуемого значения эффективности функционирования радиолинии [7].

Отличительным свойствами элементарных методов управления являются их дальнейшая неделимость, системность при формировании стратегии управления. Под системностью элементарных методов управления будем понимать их структурно-функциональную взаимосвязанность, учитывая, что некоррелированные элементарные методы управления образуют отдельные стратегии управления.

Примерами элементарных методов управления ресурсами радиолинии являются их функционирование на фиксированной частоте, частотно-адаптивный режим, режим программной перестройки рабочей частоты на выделенных частотах и др. [5]. В данной работе будем полагать элементарные методы управления детерминированными.

Также будем считать, что цели систем управления ресурсами радиолинии и системы противодействия противоположны. Выполнение данного требования обеспечим введением корректирующей функции.

Если допустить, что система управления ресурсами радиолинии использует m (m = 2,3,4...) элементарных методов управления, то система управления ресурсами системы противодействия также использует m элементарных методов. Каждому элементарному методу управления ресурсами радиолинии соответствует элементарный метод управления системы противодействия. Если это условие не выполняется, то гарантировать требуемую эффективность функционирования радиолинии (системы противодействия) не представляется возможным. Таким образом, выполняется критерий равенства ресурсов (интенсивная модель управления).

Для агрегирования модели радиолинии в конфликтной ситуации будем полагать, что целью системы противодействия является снижение эффективности функционирования радиолинии. Выигрыш одной системы управления является проигрышем другой и наоборот. С учетом целевого назначения радиолинии, функционирующей в конфликтной среде, а также введенного тезауруса представим ее модель в виде трех подсистем: целевой подсистемы (ЦПС), обеспечивающей подсистемы (ОПС), защитной подсистемы (ЗПС) [8].

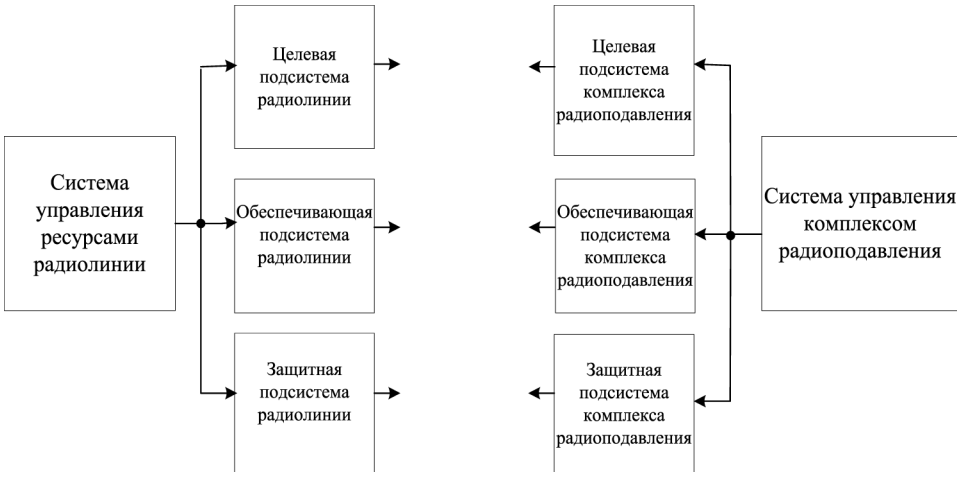

Рис. 4. Структурная модель радиолинии в конфликтной ситуации

Целевая подсистема предназначена для решения целевых задач радиолинии. Обеспечивающая подсистема реализует алгоритмы защиты целевой подсистемы от воздействия системы противодействия. Защитная подсистема минимизирует воздействие целевой подсистемы системы противодействия.

Аналогичные рассуждения можно провести и для модели деструктивного воздействия на радиолинию. Тогда с учетом обобщенной модели (см. рис. 3) получим структурную модель радиолинии, функционирующей в конфликтной ситуации (рис. 4)

Теперь реализуем функциональные связи модели радиолинии, представленной на рис. 4. При этом будем полагать, что целевая задача состоит в разрешении конфликтной ситуации для получения гарантированной эффективности функционирования. Тогда реализуемую структурную схему модели функционирования радиолинии представим в виде схемы разрешения конфликта, изображенную на рис. 5.

Из анализа задач подсистем модели радиолинии и представленной структурной схемы следует, что структура модели, ее возможные действия определяют эффективность ее функционирования. Следовательно, обобщенную структурно-функциональную модель радиолинии без учета воздействия системы противодействия представим в виде, показанном на рис. 6.

С учетом особенностей воздействия системы противодействия окончательная модель получит вид, представленный на рис. 7.

В модели на рис. 7 функционал $\Phi_A(u(r), v(r))$ характеризует структуру радиолинии, поле значений эффективности ее функционирования. Вектор $U(r)$ определяет управление ресурсами радиолинии, т.е. стратегию управления ее ресурсами.

Вектор $V(r)$ характеризует возможности радиолинии. Если в качестве функционала $\Phi_A(u(r), v(r))$ использовать сумму векторов, то получим вектор состояния радиолинии.

В общем виде функционал Φ_A определяет соотношение между векторами управления и возможности модели радиолинии. Кроме того, при реализации вектора управления ресурсами радиолинии необходимо учитывать вектор возможности системы управления (степеней свободы). В этом случае эффективность функционирования радиолинии является гарантированной.

Множество r в модели является множеством допустимых (возможных) значений состояния радиолинии. Данное множество фактически определяет множество допустимых значений.

Множество Q_A задает требуемые состояния радиолинии. То есть определяет область сосредоточения основных действий системы управления. Множество Q_A принадлежит множеству R: $Q_A \in R$.

Степень достижения заданных целей на множестве Q_A при заданных векторах управления $U(r)$ и состояния $V(r)$ определяет значение эффективности функционирования радиолинии $I_A(Q_A)$.

Эффективность функционирования радиолинии, представленной на рис. 6, определяется как условие синтеза

$$\int_{Q_A} \Phi_A(u(r), v(r))dr = I_A(Q_A) \ . \qquad (1)$$

Уравнение (1) связывает структуру модели радиолинии, функционирование радиолинии и достигаемое значение эффективности.

Кроме того, построение и функционирование модели радиолинии зависит от располагаемых ресурсов и эффективности воздействия системы противодействия, модель которой имеет аналогичную структуру.

Таким образом, разработанная модель (см. рис. 7) учитывает не только условия функционирования радиолинии, но и характер деструктивного воздействия, определяемые когнитивными свойствами системы

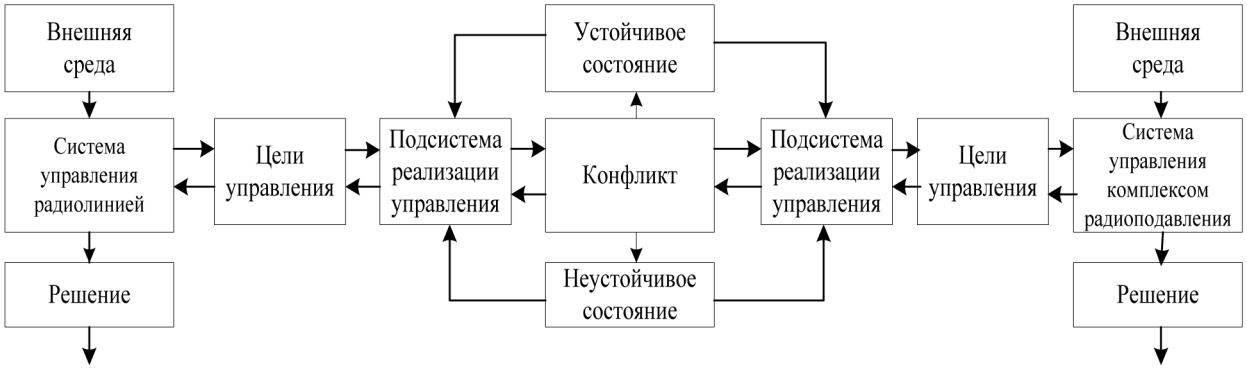

Рис. 5. Структурная схема модели функционирования радиолинии в конфликтной ситуации

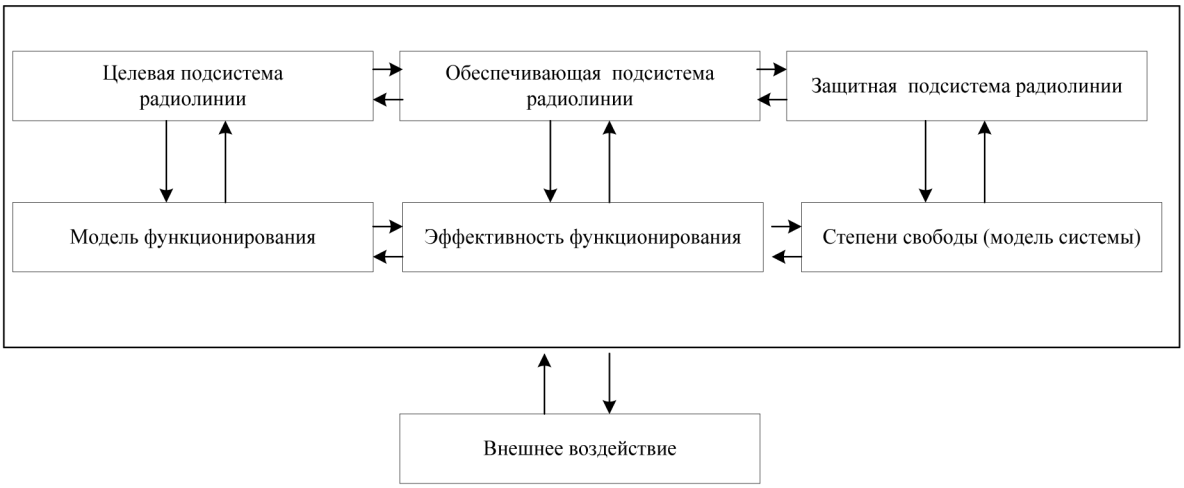

Рис. 6. Обобщенная структурно-функциональная модель радиолинии

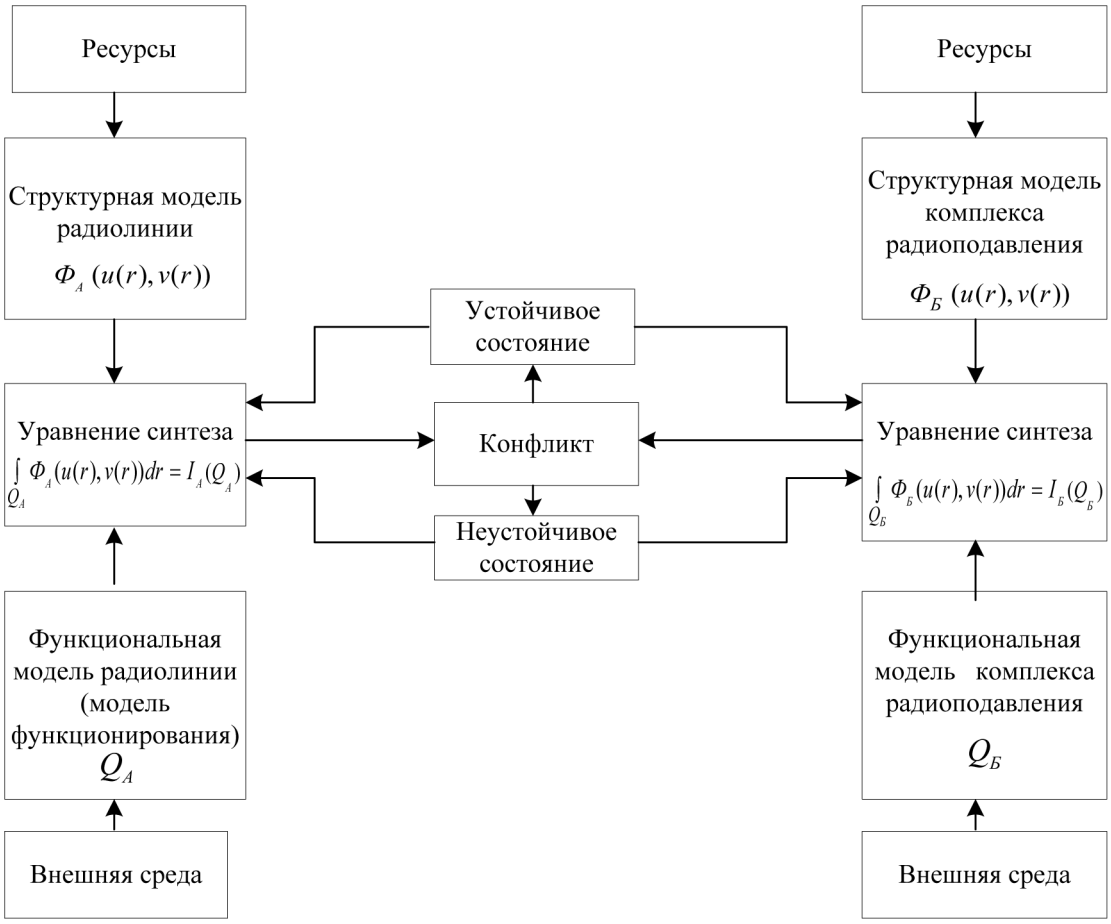

Рис. 7. Структурно-функциональная модель радиолинии в конфликтной ситуации

противодействия. Между тем в [8] обосновано, что помехозащищенность радиолиний при всех равных условиях зависит от устойчивости используемых в них сигнальных конструкций. Очевидно, что повышение пропускной способности при ограниченности канальном ресурсе приводит к ухудшению помехозащищенности.

Следовательно, уже на уровне обобщенной модели радиолинии следует использовать помехоустойчивые виды передач, например предложенные в [9–11]. Это объясняется тем, что стороне, осуществляющей деструктивное воздействие, потребуется в большей степени затрачивать свой ограниченный энергетический ресурс для достижения требуемых целей (см. рис. 3). Кроме того, применение сигнальных конструкций, разработанных в [9–11], позволит повысить качество передачи управляющих команд, что также повышает устойчивость функционирования разработанных моделей радиолиний.

Из анализа полученных результатов можно утверждать, что разработанные модели образуют методический аппарат, позволяющий разрабатывать помехозащищенные режимы функционирования радиолиний в условиях деструктивных воздействий систем противодействия, обладающих когнитивными свойствами. Особенностью предложенных моделей является реализация в них замкнутого цикла управления. Направления дальнейших исследований авторы связывают с решением уравнения (1) в системе частных ограничений.

Кроме того, построение и функционирование модели радиолинии зависит от располагаемых ресурсов и эффективности воздействия системы противодействия, модель которой имеет аналогичную структуру.

Таким образом, разработанная модель (см. рис. 7) учитывает не только условия функционирования радиолинии, но и характер деструктивного воздействия, определяемые когнитивными свойствами системы противодействия. Между тем в [8] обосновано, что помехозащищенность радиолиний при всех равных условиях зависит от устойчивости используемых в них сигнальных конструкций. Очевидно, что повышение пропускной способности при ограниченности канальном ресурсе приводит к ухудшению помехозащищенности.

Следовательно, уже на уровне обобщенной модели радиолинии следует использовать помехоустойчивые виды передач, например предложенные в [9–11]. Это объясняется тем, что стороне, осуществляющей деструктивное воздействие, потребуется в большей степени затрачивать свой ограниченный энергетический ресурс для достижения требуемых целей (см. рис. 3). Кроме того, применение сигнальных конструкций, разработанных в [9–11], позволит повысить качество передачи управляющих команд, что также повышает устойчивость функционирования разработанных моделей радиолиний.

Из анализа полученных результатов можно утверждать, что разработанные модели образуют методический аппарат, позволяющий разрабатывать помехозащищенные режимы функционирования радиолиний в условиях деструктивных воздействий систем противодействия, обладающих когнитивными свойствами. Особенностью предложенных моделей является реализация в них замкнутого цикла управления. Направления дальнейших исследований авторы связывают с решением уравнения (1) в системе частных ограничений.

Литература

1. Лихачев, А. М. Концептуальные основы создания и развития автоматизированной системы управления ОАЦСС ВС РФ / А.М. Лихачев, А.В. Абрамович, А.С. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2016. – № 2. – С. 6–21.

2. Курносов, В. И. Методология проектных исследований и управления качеством сложных технологических систем электросвязи / В.И. Курносов, А.М. Лихачев. – СПб: ТИРЕКС, 1998. – 490 с.

3. Рунеев, А. Ю. Организация космической связи. Методология и математические модели оценки эффективности / А.Ю. Рунеев. – СПб: ВАС, 1992. – 98 с.

4. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : [пер. с англ.] / Б. Скляр. – Изд. 2-е, испр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

5. Адаптивные автоматизированные системы военной радиосвязи / Ю. П. Килимник [и др.] ; под ред. А. Н. Шарова. – Л.: ВАС, 1978. – 284 с.

6. Помехозащищенность систем радиосвязи / В.И Борисов [и др.] ; под ред. В. И. Борисова. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.

7. Прокис, Дж. Цифровая связь / Дж. Проксис ; пер. с англ. под. ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

8. Дворников, С. В. Проблемы поиска сигналов источников информации при радиомониторинге / С.В. Дворников // Мобильные системы. – 2007. – № 4. – С. 33–35.

9. Повышение помехоустойчивости сигналов КАМ-16 с трансформированными созвездиями / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Серия: техника телевидения. – 2014. – № 2. – С. 51–56.

10. Методика трансформации сигнального созвездия КАМ-16 с изменение его формы / А.Ю. Гужва [и др.] // Электросвязь. – 2015. – № 2. – С. 28–31.

11. Дворников, С. В. Структурно-функциональная модель сигнального созвездия с повышенной помехоустойчивостью / С.В. Дворников, А.В. Пшеничников, Д.А. Бурыкин // Информация и Космос. – 2015. – № 2. – С. 4–7.