

## ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (РТС)

*Д.С. Пискорский, Н.В. Вдовина*

Рассмотрены вопросы построения математических и компьютерных моделей сложных радиотехнических систем, позволяющих оценить качество их функционирования на этапе проектирования, до проведения натурных испытаний. Выделены особенности современных радиотехнических систем, усложняющие задачи их исследования и проектирования методом моделирования. К таким особенностям относятся: программная и аппаратная сложность РТС, стохастический характер протекающих в РТС процессов, сочетание высокой скорости изменения радиосигналов с относительно низкой скоростью информационного потока. Приведены специальные способы, позволяющие облегчить процесс построения математических моделей сложных радиотехнических систем, радиолокационных сигналов и помех. Описана общая последовательность действий для создания математической модели радиотехнической системы и проведения на ней исследований с помощью ПЭВМ.

*Ключевые слова: радиотехническая система, математическое моделирование, исследование на модели.*

### **Введение**

В процессе разработки сложных радиотехнических систем (РТС) единственным способом позволяющим оценить качество их функционирования до проведения натурных испытаний является математическое и компьютерное моделирование [1]. Кроме того, моделирование на этапе проектирования позволяет облегчить синтез и анализ алгоритмов обработки сигналов, реализация которых предполагает использование цифровых вычислительных устройств [2], а также оптимизировать и отладить алгоритмы (механизмы) управления и внешнего взаимодействия с другими системами.

Под радиотехнической системой будем понимать систему, действие которой основано на непосредственном использовании высокочастотных электромагнитных колебаний радиодиапазона и предназначенной для сбора, передачи, извлечения, обработки или хранения информации. По информационному назначению РТС принято делить на четыре основных класса [4]:

1. РТС передачи информации (радиосвязь, радиовещание, телевидение).
2. РТС извлечения информации (обнаружение и измерение – РЛС, РНС, радиоастрономия и т. п.).
3. РТС радиотелеуправления (БПЛА).
4. РТС разрушения информации (радиопротиводействие).

Под математическим моделированием будем понимать процесс установления соответствия реальному объекту некоторой математической модели и исследования, проведенные на этой модели, позволяющие получить новую информацию о реальном объекте. Выбор того или иного метода построения математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач исследования объекта, а также требуемой достоверности и точности решения этой задачи [3]. Выделяют четыре основных этапа моделирования любых объектов или явлений [1]:

1. Постановка задачи моделирования.
2. Составление математических и компьютерных моделей на ПЭВМ, включающих программирование и отладку моделирующей программы.
3. Проведение намеченных исследований на модели для заданных ситуаций.
4. Обработка и интерпретация полученных результатов моделирования.

### **1. Проблемы построения математических моделей сложных РТС**

Современные радиотехнические системы имеют следующие особенности, усложняющие задачи их исследования и проектирования методом моделирования [1, 2]:

– программная и аппаратная сложность. РТС – многомерные системы с большим количеством элементов и сложными функциональными связями между ними. Следует отметить, что РТС могут работать в составе или под управлением еще более сложных систем (комплексов), что необходимо учитывать при разработке модели;

– стохастический характер процессов, протекающих в РТС. Данные системы постоянно находятся под воздействием случайных факторов (шумов, помех), сбоев аппаратуры, изменений параметров во времени и т.п. Это означает, что в общем случае РТС можно изучить лишь посредством многократно повторяемых исследований, позволяющих получить достаточный ансамбль исследуемых характеристик и критериев качества системы. Надо принять во внимание, что при этом увеличивается время проведения исследований;

– РТС – быстродействующие системы реального времени, в которых сочетается высокая скорость изменения радиосигналов и относительно низкая скорость информационных потоков.

## 2. Специальные методы упрощения математических моделей РТС

Вышеназванные обстоятельства приводят к тому, что моделирование сложных систем на ПЭВМ оказывается практически невозможным без применения специальных методов упрощения их математического описания [5]. Рассмотрим эти методы подробнее.

1. Декомпозиция (расчленение) процесса разработки модели РТС заключается в разделении сложной РТС на ряд подсистем, выполняющих определенные функции, которые, в свою очередь, делятся на еще более мелкие элементы. Пример декомпозиции РТС приведен на рис. 1.

2. Полученная таким образом модель, имитирующая функции отдельного звена, может быть сравнительно не сложной. При этом необходимо учитывать связи каждого такого звена системы с другими элементами РТС, внешней средой и системами, взаимодействующими с данной РТС. Простейшей частью РТС (см. рис. 1) является элементная база, однако математические модели этого уровня при моделировании системы на ПЭВМ оказываются слишком детальными и сложными.

3. Специализация математической модели заключается в том, что строится не одна сложная модель РТС, учитывающая все свойства оригинала, а несколько простых моделей, позволяющих оценить эффективность проектируемой РТС по заданному показателю качества.

4. Стандартизация моделирующих программ. Некоторые компоненты моделируемых подсистем, относящихся ко второму уровню иерархической структуры РТС (см. рис. 1), хорошо изучены и могут быть представлены в виде стандартных (элементарных) моделей, при комбинировании которых получают модели подсистем третьего иерархического уровня [2].

5. Ограничение диапазона изменения параметров и некоторые допущения, в рамках которых становится возможнымinearизировать сложное математическое описание нелинейной подсистемы или исключить из рассмотрения (когда это целесообразно) малые воздействия [1].

Использование предложенных методов позволяет облегчить процесс создания математических и компьютерных моделей сложных РТС.

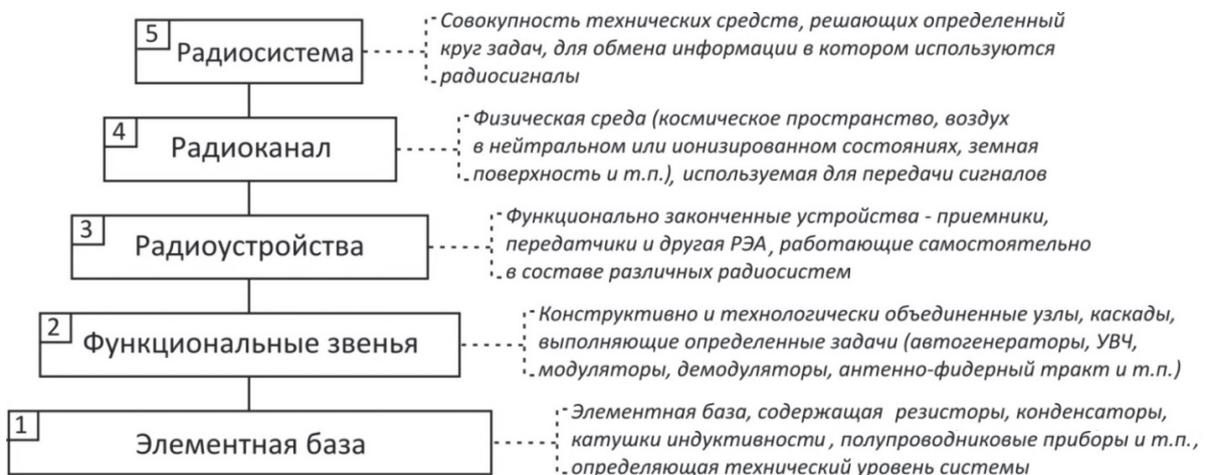


Рис. 1. Пример декомпозиции РТС для построения модели

### 3. Моделирование радиолокационных сигналов и помех

При использовании ПЭВМ в качестве инструмента моделирования РТС приходится также решать задачи, связанные с реализацией моделей используемых в них сигналов и помех. В этом случае основная сложность заключается в отыскании алгоритмов, позволяющих формировать на ПЭВМ дискретные реализации исходных непрерывных сигналов без потери информации.

Математические модели радиотехнических помех удобно типизировать, используя следующую классификацию:

– по способу возникновения помехи делят на внешние (атмосферные, космические, промышленные и т. п.) и внутренние, обусловленные процессами, происходящими при работе самой РТС;

– по воздействию на полезный сигнал  $s(t)$  помехи  $r(t)$  делят:

• на аддитивные:  $z(t) = s(t) + r(t)$  – когда мощности сигнала и помех складываются. К ним относят: космические, промышленные шумы, отражение от объектов, не подлежащих наблюдению, специальные радиоизлучения (активные помехи);

• мультипликативные:  $z(t) = s(t) \cdot k(t)$  – обусловлены случайными изменениями параметров аппаратуры радиоканала;

• в реальных каналах передачи информации обычно имеет место сочетание аддитивных и мультипликативных помех:  $z(t) = s(t) \cdot k(t) + r(t)$ ;

– по изменению параметров распределений в течение приема (если изменения имеют место, то помеха нестационарная, если нет, то стационарная) [7];

– по плотности распределения вероятностей помехи (гауссовы, негауссовы);

– по отношению ширины спектра помехи к ширине спектра сигнала (узкополосные, широкополосные) [7].

Математические модели шумов и помех должны, с одной стороны, достаточно точно описывать реальные помехи и шумы, с другой стороны, не быть слишком сложными, чтобы не затруднять синтез и анализ работы моделируемой РТС.

### 4. Моделирование с помощью ПЭВМ

С учетом описанных особенностей сложных радиотехнических систем и рекомендаций по построению их математических моделей составим общую последовательность действий (методику) для построения модели РТС и проведения на ней исследования с помощью ПЭВМ (рис. 2).

1. Постановка задачи моделирования. Как видно из рис. 2, на первом этапе необходимо четко определить (сформулировать) задачи моделирования, которые должны включать:

– совокупность новых сведений о радиотехнической системе (объекте моделирования), которые необходимо получить в результате моделирования;

– определение границ моделирования;

– совокупность ограничений и допущений, при которых будет проводиться моделирование.

Это один из наиболее трудных и нестандартных этапов моделирования.

2. На втором этапе осуществляется сбор и оценка априорной информации об объекте моделирования. Объем этой информации должен быть достаточным для построения состоятельной математической модели.

3. На третьем этапе необходимо сформировать математическую модель объекта исследования. Построение математической модели сложной РТС является нетривиальной задачей, для решения которой необходимо использовать специальные методы упрощения.

4. На следующем этапе полученную математическую модель необходимо реализовать на ПЭВМ, провести отладку.

Далее необходимо оценить, соответствует ли разработанная модель оригиналу. Оценка адекватности модели оригиналу позволяет довести до приемлемого уровня степень уверенности, с которой можно судить по результатам моделирования, насколько корректны выводы о функционировании реального объекта. Если оценка адекватности модели неудовлетворительна, то необходимо ее уточнить, собрав дополнительную априорную информацию или пересмотреть этапы формирования и реализации модели на ПЭВМ.

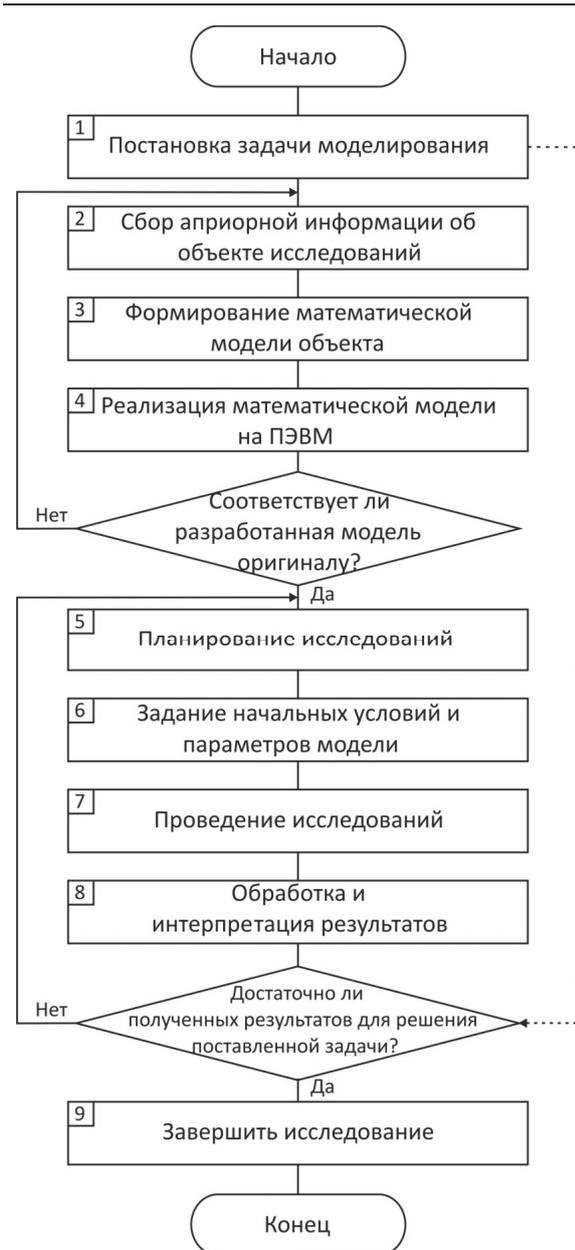


Рис. 2. Методика создания модели и проведения исследования на ПЭВМ

ботчика – проведение математического и компьютерного моделирования. Такой эксперимент является экономически выгодным способом проверить качество функционирования радиоэлектронной аппаратуры на этапе ее проектирования, модернизации и отладки.

### Литература

1. Борисов, Ю.П. Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств / Ю.П. Борисов, В.В. Цветнов. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
2. Монаков, А.А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учеб. пособие / А.А. Монаков. – СПб.: ГУАП СПб, 2005. – 100 с.
3. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
4. Нефедов, В.И. Основы радиоэлектроники и связи: учеб. пособие / В.И. Нефедов, А.С. Суггов; под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2009 – 735 с.
5. Smith, Jon M.. Mathematical Modeling and Digital Simulation for Engineers and Scientists / Jon M. Smith. – 2nd ed. – New York; Chichester: Wiley, 1987. – 430p.

Пятый этап – планирование исследований. Позволяет организовать моделирование таким образом, чтобы за минимальное время получить всю необходимую информацию об объекте исходя из поставленных задач моделирования.

5. На следующем этапе (см. рис. 2) необходимо задать начальные параметры и условия проведения исследований.

6. Выполнить исследования на модели, заключающиеся в проведении серии экспериментов согласно запланированным исследованиям.

7. Последний этап – обработка и интерпретация результатов. Как было отмечено, одной из особенностей радиотехнических систем является постоянное воздействие на них случайных факторов. Поэтому результаты моделирования будут также носить случайный характер. Следовательно, для обработки таких результатов необходимо использовать статистические методы оценки. Учитывая, что время эксперимента и объем полученных данных ограничены, необходимо так обрабатывать результаты, чтобы получаемые оценки наилучшим образом давали представление о свойствах и параметрах моделируемых объектов.

Интерпретация результатов моделирования заключается в построении выводов о функционировании системы. Если полученных данных недостаточно для решения поставленной задачи моделирования, то необходимо провести еще исследования или выполнить ревизию предыдущих этапов моделирования. Если полученных данных достаточно, то необходимо завершить исследование.

### Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что, несмотря на все сложности, связанные с построением моделей РТС для проведения на ней исследований, особенно на этапе разработки, когда нет возможности провести качественные натурные эксперименты, единственный выход для разра-

6. Карманов, А.Ю. Математические модели радиосигналов и помех в задачах обеспечения приема радиосигналов во время излучения электромагнитных колебаний / А.Ю. Карманов // Цифровые радиоэлектронные системы. – Вып. 6. – 2006.

7. Голубков, А.П. Проектирование радиолокационных приемных устройств / А.П. Голубков, А.Д. Далматов, А.П. Лукошкин; под ред. М.А. Соколова. – М.: Высш. шк., 1984. – 335 с.

**Пискорский Дмитрий Сергеевич**, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); dsp\_crts@mail.ru.

**Вдовина Надежда Владимировна**, преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); nadzh@yandex.ru.

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics"**  
**2013, vol. 13, no. 3, pp. 145–149**

## FEATURES OF MATHEMATICAL MODELLING OF COMPLEX OF RADIO ENGINEERING SYSTEMS (RES)

*D.S. Piskorsky, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
dsp\_crts@mail.ru,*

*N.V. Vdovina, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
nadzh@yandex.ru*

The article deals with the construction of mathematical and computer-dimensional models of complex radio systems, allowing to estimate the quality of their functioning, at the design stage, before carrying out natural tests. The features of modern radio systems, complicating the task of their research and design by simulation. These features include: hardware and software complexity of the RTS, the stochastic nature of the proceeding in the RTS, the processes, the combination of a high rate of change of radio signals with a relatively low rate of information flow. Provides specific ways to facilitate the process of constructing mathematical models of complex radio systems, radio signals and radar interference. A general sequence of steps for creating mathematical model of the radio system and conducting research with the help of the PC.

*Keywords: radio systems, mathematic modeling, research on the model.*

### References

1. Borisov Yu.P., Tsvetnov V.V. *Matematicheskoe modelirovanie radiotekhnicheskikh sistem i ustroystv* [Mathematical Modeling of Radio-technical Systems and Devices]. Moscow, Radio i svyaz', 1985. 176 p.

2. Monakov A.A. *Osnovy matematicheskogo modelirovaniya radiotekhnicheskikh sistem: ucheb. posobie* [Fundamentals of Mathematical Modeling of Radio Engineering Systems]. GUAP SPb, 2005. 100 p.

3. Sovetov B.Ya. Yakovlev S.A. *Modelirovanie system* [Systems Simulation]: ucheb. dlya vuzov. Moscow, Vyssh. shk., 2001. 343 p.

4. Nefedov V.I., Sigov A.S. *Osnovy radioelektroniki i svyazi* [Fundamentals of Radio Electronics and Communication]: ucheb. posobie. Pod red. V.I. Nefedova. Moscow, Vyssh. shk., 2009. 735 p.

5. Smith Jon M. *Mathematical Modeling and Digital Simulation for Engineers and Scientists*. 2nd ed. New York; Chichester: Wiley, 1987. 430 p.

6. Karmanov A.Yu. *Matematicheskie modeli radiosignalov i pomekh v zadachakh obespecheniya priema radiosignalov vo vremya izlucheniya elektromagnitnykh kolebaniy* [The Mathematical Models of Signals and Interference in the Tasks of Ensuring the Reception of Radio Signals at the Time of Emission of Electromagnetic Oscillations] *Tsifrovye radioelektronnye sistemy [Digital Radioelectronic System]*, vyp. 6. 2006.

7. Golubkov A.P., Dalmatov A.D., Lukoshkin A.P. *Proektirovanie ra-diolo-katsionnykh priemnykh ustroystv* [The Design of Radar Receivers]. Pod red. Sokolova M.A. Moscow, Vyssh. shk., 1984. 335 p.

*Поступила в редакцию 8 мая 2013 г.*