

**ПРИМЕНЕНИЕ АГРЕГАТИВНОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ
ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ОПЫТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ****А. А. Молев, И. В. Зайцев (Воронеж)**

Для решения задач проектирования и эксплуатации радиоэлектронных (РЭ) систем большое значение имеет разработка имитационных моделей, отображающих основные особенности построения и функционирования таких систем. В практике разработки таких систем нередко возникают задачи полунатурного моделирования, когда часть элементов сложной системы представлена аппаратными средствами, а недостающая часть должна быть воспроизведена имитационно. Частичная замена составных частей сложной системы имитационными элементами позволяет существенно упростить операции по отладке управляющей системы комплекса на этапе стыковки составных элементов, а также сократить затраты на проведение испытаний. Определенный практический интерес при этом представляет интерпретация элементов систем с помощью кусочно-линейных агрегатов (КЛА) для формализации широкой совокупности процессов и явлений. Однако, в известной литературе [1...5] описано применение данного подхода только на этапе проектирования сложных систем или их составных частей.

Целью данной работы является разработка методического подхода к решению задачи опытно-теоретического исследования эффективности РЭ систем на основе полунатурного имитационного моделирования с применением кусочно-линейных агрегатов и методов объектно-ориентированного программирования.

Суть предлагаемого подхода заключается в замене недостающих частей сложной системы агрегативными имитационными моделями и синхронизации их функционирования с реальными элементами системы. Возможный вариант схемы сопряжения таких элементов «подыгрыша» с реальными представлен на рис. 1, А. Разрабатываемая имитационная модель основывается на описании рассматриваемого имитатора «подыгрыша» отсутствующих в составе комплекса элементов, в виде совокупности кусочно-линейных агрегатов, как элементов сложной системы и взаимодействия между ними (рис. 1, Б).

Множество состояний $Z_{ik}(t)$ для каждого агрегата системы представляет собой время, оставшееся до момента наступления очередного особого состояния, где i – номер агрегата, k – номер компоненты вектора Z для данного агрегата. В процессе убывания величина $Z_{ik}(t)$ достигает границы, в этот момент i -й агрегат выдает выходной сигнал и происходит скачок состояния – формирование временного интервала выдачи очередного сигнала.

Алгоритм моделирования описанной системы построен в соответствии с принципом «особых» состояний. При этом под «особыми» понимаются состояния агрегата в моменты получения входного сигнала или выдачи выходного сигнала. Физический смысл особых состояний различен для разных агрегатов и определяется содержанием поступающих входных и формирующихся выходных сигналов.

Взаимодействие элементов в моделируемой системе сводится к обмену сигналами в опорные моменты времени и реакциям агрегатов на поступившие сигналы (скачки состояний). В интервалах времени между опорными моментами времени моделируемая система «разбивается» на отдельные элементы, функционирующие независимо друг от друга, но с учетом влияний сигналов, поступивших в предыдущие опорные моменты времени.

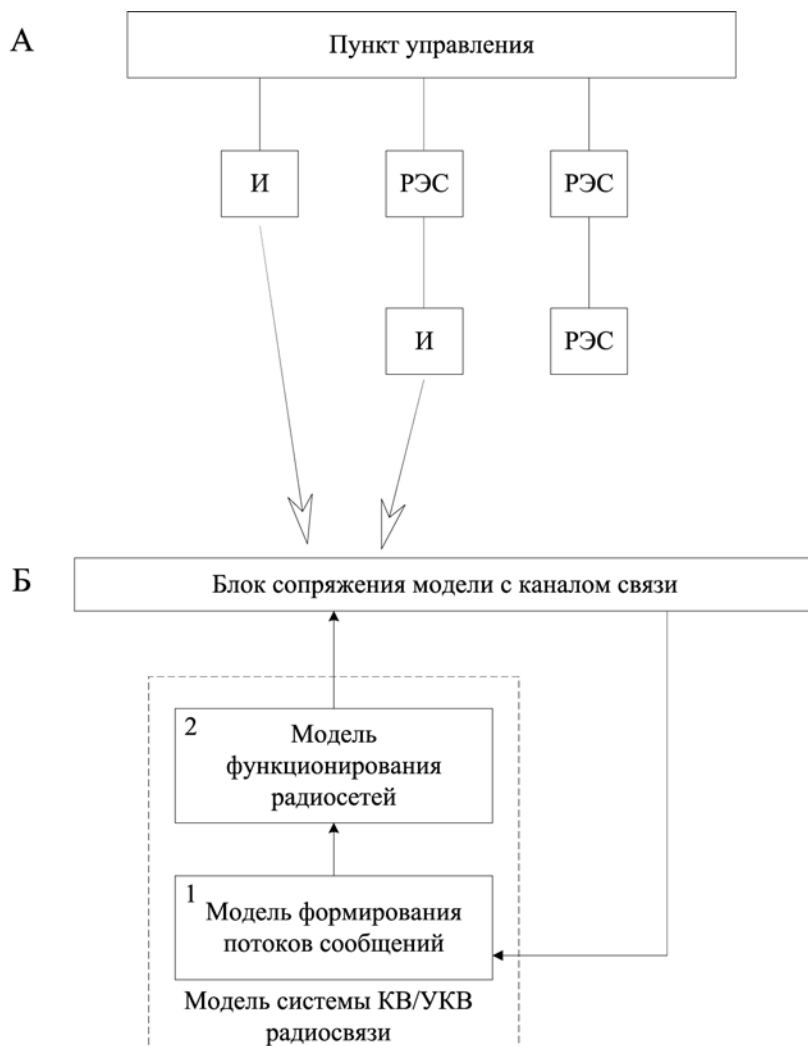


Рис. 1. Вариант схемы сопряжения элементов подыгрыша с реальными РЭС в комплексе (А), агрегативная система моделей подыгрыша (Б)

Возможны два варианта синхронизации модельного времени с реальным временем. В первом случае в начало цикла обсчета модели, вводится оператор ожидания, останавливающий модель до совпадения реального времени с модельным. Второй вариант предполагает остановку и синхронизацию модели через определенные интервалы времени, являющиеся минимальным временем до наступления «особых» состояний агрегатов.

Разработанный авторами общий алгоритм функционирования предполагает синхронизацию модельного и реального времени с использованием первого подхода. При этом предполагается, что пересчет состояний агрегатов и их сигналов происходит мгновенно. В том случае, когда пересчет занимает значительное время (десятки миллисекунд), время ожидания уменьшается на соответствующую величину. Синхронизация с реальным временем позволяет имитировать процесс в реальном времени и взаимодействовать с реальными РЭС.

Для программной реализации описанной модели используется объектно-ориентированный подход к описанию агрегатов, их состояний и операторов. В этом случае агрегат, описывающий составной элемент модели представляется в виде экземпляра класса – потомка абстрактного базового класса *TAgregat*, содержащего только чисто виртуальные функции:

- **void** stateInput(TAgregat*,int,long) – скачкообразного изменения состояния при поступлении сигнала на вход;
- **void** stateEdge(long) – скачкообразного изменения состояния при выходе на границу;
- **void** GenOut(void) – формирование выходного сигнала;
- **void** SelectOut(void) – выбор активного выхода;
- **long** tEdgeMin(void) – определение времени наступления ближайшего «особого состояния».

На основе класса *TAgregat* строятся классы-наследники, в которых переопределяются описания всех виртуальных функций класса-родителя в соответствии с физическим смыслом каждого из агрегатов, а также дополнительно вводятся векторы состояний агрегатов и дополнительных координат как свойства классов. Таким образом, описание агрегатов входящих в модель при помощи полиморфных объектов позволяет проводить вычисления состояний агрегатов в одном общем алгоритме (рис. 2) в соответствии со схемой сопряжения агрегатов (рис. 1, Б).

Программная реализация описанной агрегативной модели апробирована авторами с использованием объектно-ориентированного программирования на языке C++ в интегрированной среде разработки Borland C++ Builder 6.0.

В описываемом алгоритме блоки выполняют следующие операции.

1. Обеспечивают ввод исходных данных.
2. Определяют время наступления «особого» состояния для каждого агрегата.
3. Проверяют наличие прерывания с клавиатуры, завершающего выполнение алгоритма.
4. Определяют время наступления ближайшего «особого» состояния τ_0 и номера соответствующего ему агрегата l_0 .
5. Проверяют окончания времени моделирования $T_{\text{мод}}$.
6. Пересчитывают текущее время моделирования к моменту наступления ближайшего «особого» состояния, а также моментов наступления «особых» состояний для всех агрегатов.
7. Приостанавливают алгоритм до совпадения реального времени с модельным временем.
8. Пересчитывают состояние l_0 -го агрегата.
9. Определяют номер активного выхода для l_0 -го агрегата и формирует выходной сигнал, определяет номера входов агрегатов, на которые воздействует сигнал с выхода l_0 -го агрегата.
10. Пересчитывает состояние агрегата l_0 после выдачи выходного сигнала.
11. Определяют время до наступления следующего «особого» состояния агрегата l_0 .
12. Проверяют отличие от нуля количества агрегатов, на которые воздействует l_0 агрегат.
13. Пересчитывают состояния агрегатов, изменившихся под воздействием сигнала с выхода агрегата l_0 .
14. Определяют время наступления «особых» состояний агрегатов, получивших входной сигнал.

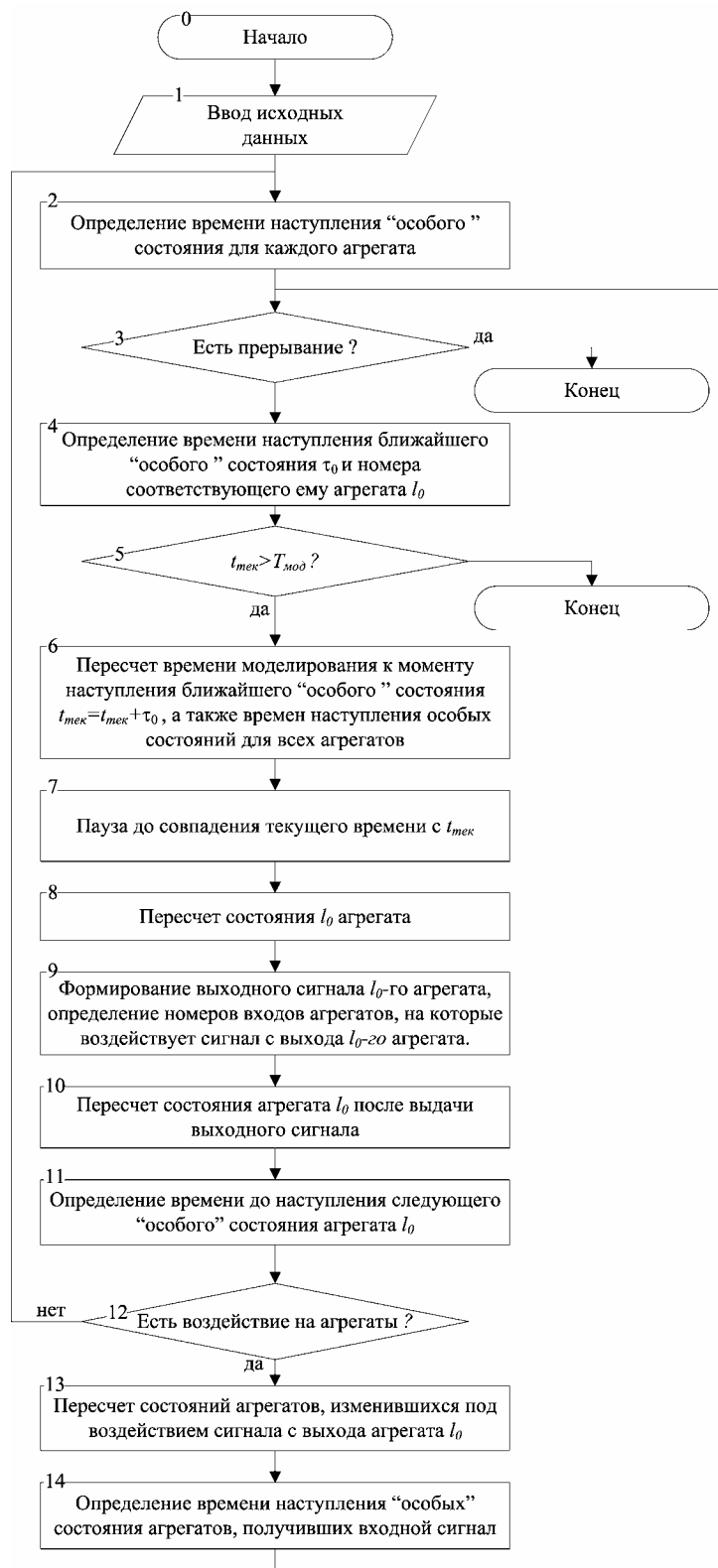


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования

Выводы:

1. Разработанный методический подход к решению задачи опытно-теоретического исследования эффективности РЭ систем на основе полунатурного имитационного моделирования с применением кусочно-линейных агрегатов и методов объектно-ориентированного программирования позволяет исследовать функционирование как системы в целом, так и ее пункта управления, в том случае, когда лишь часть элементов представлена реальными устройствами, а часть – воспроизводится при помощи имитаторов.

2. Синхронизацию функционирования моделируемых элементов системы с реальными программно-аппаратными средствами целесообразно осуществлять циклично, в начале каждого цикла прогона модели.

3. Эффективная программная реализация агрегативных имитационных моделей возможна на основе объектно-ориентированного подхода к формализации описания агрегатов, их состояний и операторов.

Литература

1. **Бусленко В. Н.** Моделирование сложных систем/В.Н. Бусленко – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. **Бусленко В. Н.** Автоматизация имитационного моделирования сложных систем/ В. Н. Бусленко – М.: Наука, 1977. – 240 с.
3. **Шелухин О. И.** Моделирование информационных систем/О. И. Шелухин, А.М. Тенякшев. – М.:Радиотехника, 2005. – 368 с.
4. **Острейковский В. А.** Теория систем/В. А. Острейковский. – М.: Высш. Шк., 1997. – 240 с.
5. **Савин Г. И.** Системное моделирование сложных процессов/Г. И. Савин.– М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. – 276 с.