

6. Надежность и эффективность в технике: Методология, организация, терминология. Том 1. Под ред. Рембезы А. И. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

7. Глудкин О. П. и др. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование. М.: Радио и связь, 1987. 271 с.

8. Справочник по инженерной психологии. М.: Машиностроение, 1983. 386 с.

9. Справочник по прикладной эргономике. Пер с англ. Под ред. Мунинова В. М. М.: Машиностроение, 1980. 216 с.

10. Меньшов А. И. Космическая эргономика. Л.: Наука. Лен. отд., 1971. 295 с.

11. Инженерная психология: теория, методология, практическое применение. Под ред. Ломова В.Ф. М.: Наука, 1977. 304 с.

12. Мейстер Дж. Эргономические основы разработки сложных систем. Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 455 с.

Воробьев И.Г., Оранский С.В.

Военная академия связи имени С.М. Буденного

**К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
НАПРАВЛЕНИЯ СВЯЗИ ВОЗДУШНОГО КОМПОНЕНТА
НАЗЕМНОГО ЭШЕЛОНА СИСТЕМЫ СВЯЗИ**

В сложных условиях арктического региона выполнение задач по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций связано с существенными ограничениями телекоммуникационного ресурса. Основу телекоммуникационной сети, в данных условиях, составит подвижная система связи, состоящая из наземного (НЭ) и воздушного (ВЭ) эшелона [1, 2], в составе которого можно выделить, работающий преимущественно в интересах НЭ, воздушный компонент наземного эшелона (ВКНЭ). Под

воздушным компонентом наземного эшелона в данной статье понимается совокупность летно-подъемных средств (ЛПС), которые представляют собой базовые станции, реализующие стандарт IEEE 802.11.

Планирование построения данной телекоммуникационной сети неразрывно связано с проблемой оценки ее прогнозируемой эффективности.

В основе решения данной задачи предлагается использовать одну из составляющих математического моделирования – имитационное моделирование. Дело в том, что использование аналитических моделей для решения данной задачи затруднено присущими им ограничениями, связанными с их формализацией. Сложность телекоммуникационной сети не позволяет преобразовать аналитическую модель в подходящую систему уравнений, а упрощение задачи приводит к недопустимо грубым результатам ее решения. В этих условиях целесообразно перейти к имитационному моделированию, которое может в приемлемой мере обеспечить исследование процессов функционирования системы связи на необходимом и достаточном (требуемом) уровне детализации их описания.

Кроме этого, машинный эксперимент с имитационной моделью (ИМ) позволяет исследовать особенности процесса функционирования системы в любых условиях [3].

Разработка имитационной модели ВКНЭ в рамках традиционных парадигм остается непростой задачей. Например, в парадигму блочных потоков данных совершенно не вписывается дискретно-событийные системы. К тому же сложно выразить такие сущности в качестве активных объектов.

В динамических моделях систем часто возникает необходимость учета дискретных событий [4]. При создании имитационной модели ВКНЭ, в качестве средства ее создания целесообразно применение такого

программного продукта как AnyLogic, в котором указанные выше недостатки устранены.

Цель создания имитационной модели ВКНЭ заключается в оценке поведения данной системы при воздействии на нее группы факторов в разных условиях.

Создание имитационной модели ВКНЭ является достаточно сложной задачей. Поэтому на начальном этапе целесообразно создать ИМ одного-двух направлений связи. Для этого необходимо определить, какие активные объекты будут присутствовать в модели.

Согласно концептуальному представлению, корневым объектом является система связи, в которую вкладываются объекты НЭ и ВКНЭ. В свою очередь в активный объект ВКНЭ вкладываются объекты – ЛПС, а в НЭ – наземные центры коммутации (НЦК) и подвижные абоненты (ПА). При создании ВКНЭ базовым классом активных объектов являются летно-подъемные средства.

При этом каждый объект должен обладать набором параметров; определенные параметры должны изменяться в заданных пределах.

У таких активных объектов как ЛПС и НКЦ необходимо указать порты, что позволит связать активные объекты с целью построения структуры направления связи. Кроме параметров моделирования, меняющихся характеристики активных объектов, целесообразно применять переменные параметры моделирования. Последние должны быть связаны друг с другом.

В частности для НКЦ и ЛПС можно задать такие переменные, как местоположение элементов в пространстве. Для наглядной и корректной работы ИМ каждому НКЦ нужно указать определенные координаты, а расстояния между НКЦ должны в выбранном масштабе соответствовать реальным. Для решения данной задачи имитационная модель интегрируется с геоинформационной системой при реализации

трехмерного представления. Анимационное представление ИМ может иметь вид, представленный на рисунке.

Таким образом, в ИМ должна задаваться динамика поведения объектов, которая может включать в себя: перемещение ПА, функционирование ЛПС в течение определенного времени, смену ЛПС, изменение высоты подъема ЛПС, выход из строя НЦК и ЛПС. Смену ЛПС можно задать через величину определенного модельного времени, которое будет равно времени функционирования предыдущего летно-подъемного средства.

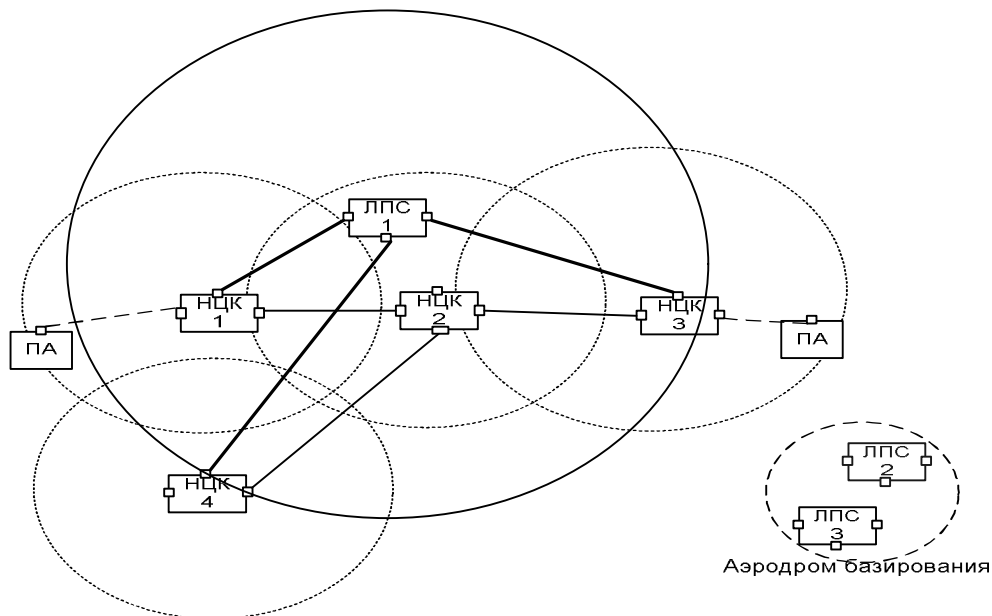


Рис.1 Структурная диаграмма имитационной модели

воздушного компонента наземного эшелона

Перемещение ЛПС и ПА в процессе моделирования можно задать следующими дифференциальными уравнениями:

$$d(x)/dt = v_{xx}; \quad (1)$$

$$d(y)/dt = v_{yy}; \quad (2)$$

$$d(z)/dt = v_{zz}, \quad (3)$$

где v – крейсерская скорость перемещения; x, y, z – координаты в трехмерном пространстве.

Для моделирования процесса выхода из строя НКЦ и ЛПС в модели задается телекоммуникационная сеть в определенной структуре, состоящая из S типовых элементов, имеющих интенсивность отказов равную ξ ; подсистема технического обслуживания обеспечивает восстановление вышедших из строя элементов с интенсивностью δ . Поток отказов можно принять простейшим из-за суммирования большого числа видов деструктивного воздействия на элементы сети связи $\eta = (\xi - \delta)S$.

Помимо внешнего поведения системы в ИМ необходимо проанализировать внутренние свойства создаваемой сети. Целью анализа является оценка пропускной способности создаваемой системы связи в сложных условиях выполнения задач в арктическом регионе. В качестве показателей эффективности используются математическое ожидание и дисперсия времени доставки пакета от одной локальной сети наземного центра коммутации до другой. При этом критериями оценки являются определенные количественные требования.

Для реализации входящего потока заявок в ИМ необходимо создать экземпляр класса вероятностного распределения с требуемыми значениями параметров. Для того чтобы можно было осуществлять передачу заявок требуемым НКЦ, портам необходимо задать план маршрутизации (матрицы маршрутизации).

Размер пакета предполагается задавать фиксированным – равным 1518 байт (максимальный размер пакета Ethernet) [5].

Для оценки влияния определенных параметров на поведение модели создается эксперимент, в котором можно варьировать некоторые из указанных параметров. Отображение результатов эксперимента, для наглядности, целесообразно осуществлять на диаграммах и графиках.

Существенное значение для достижения целей моделирования имеет планирование эксперимента, выбор числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с

требуемой точностью; разработка плана проведения экспериментов, который дает возможность за минимальное число прогонов модели и при минимальной стоимости работ сделать статистически значимые выводы.

Для проведения эксперимента используют факторные планы, а по полученным результатам аппроксимируют поверхность отклика полиномами разного порядка. От выбора начальной точки в факторном пространстве во многом зависит эффективность экспериментов. Управляемость эксперимента предполагает возможность изменения в требуемых пределах значений факторов, определяющих целевую функцию модели.

В качестве основных факторов используются:

количество ЛПС в телекоммуникационной сети;

интенсивность потока пакетов;

интенсивность выхода из строя элементов сети.

Каждый фактор может принимать в опыте одно из нескольких значений. При этом он имеет определенное количество дискретных уровней f .

Возможное число опытов N_{ii} определяется по формуле

$$N_{ii} = f^m, \quad (4)$$

где m – количество факторов.

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом. Понятно, что полнофакторные эксперименты проводить не целесообразно из-за большого числа опытов. Для решения данной проблемы («проклятия размерности») применяют планирование эксперимента.

Совокупность значений фактора, которая используется в эксперименте, является подмножеством из множества значений,

образующих область определения (совокупность всех возможных значений фактора).

Определенные факторы удовлетворяют требованиям по совместимости и независимости. Совместимость факторов означает, что все их комбинации осуществимы. Независимость факторов означает возможность установления фактора на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов (отсутствие корреляции между факторами).

В целях сокращения количества проводимых экспериментов целесообразно строить аналитическую модель функции времени доставки пакета, чтобы с ее помощью предсказывать значения показателя эффективности в тех состояниях, которые не изучались экспериментально. Для решения данной задачи, как правило, делают предположения о непрерывности поверхности функции времени доставки пакета, ее гладкости и наличии единственного оптимума. При этом функция отклика аппроксимируется полиномами различной степени, начиная с простейшей линейной модели, путем повышения степени полинома и добиваясь адекватности модели реальному объекту (узлу сети).

Под адекватностью функции отклика понимается возможность прогнозирования значения функции отклика в любой точке факторного пространства, не отличающегося от значения, полученного в опыте на достаточно малую величину, определяемую экспериментатором.

Если будут известны (спрогнозированы) значения показателя эффективности в нескольких соседних точках факторного пространства, то в силу гладкости и непрерывности функции отклика можно представить результаты, которые можно ожидать в других соседних точках. Следовательно, можно найти такие точки, для которых ожидается наибольшее увеличение (или уменьшение) показателя оптимизации. Тогда ясно, что следующий эксперимент надо переносить именно в эти точки. Сделав новый эксперимент, снова можно оценить направление, в котором,

скорее всего, следует двигаться. При этом в факторном пространстве выбирается некоторая точка и рассматривается множество точек в ее окрестности, т. е. в области определения факторов выбирается малая подобласть, в которой будут проводиться эксперименты, на основании которых строится функция отклика. Эта функция будет использована для предсказания результатов опытов в тех точках, которые не входили в эксперимент. Если эти точки лежат внутри выбранной подобласти, то такое прогнозирование называется интерполяцией, а если вне этой подобласти – экстраполяцией.

При выборе области эксперимента, прежде всего, надо оценить границы областей определения факторов. При определении границ необходимо учитывать ограничения различного характера.

Выбор экспериментальной области факторного пространства связан с тщательным анализом априорной информации. Процедура выбора подобласти планирования эксперимента включает два этапа: выбор основного уровня и выбор интервалов варьирования.

Исходную точку факторного пространства для построения плана эксперимента называют основным (нулевым) уровнем. Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно нулевого уровня.

Интервалом варьирования факторов называется некоторое число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание – нижний уровни фактора.

Таким образом, программная реализация ИМ при условии грамотной организации и осуществления экспериментального исследования на компьютерной модели позволит в необходимой и достаточной мере наглядно проверить эффективность создания ВКНЭ для различных условий функционирования и определить наиболее целесообразные случаи, в которых его необходимо задействовать.

Таковы основные подходы к созданию имитационной модели направления связи воздушного компонента наземного эшелона системы связи.

Литература:

1 Ермишян А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: Учеб. в 2-х частях. Ч. 1: Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. СПб.: Воен. акад. связи, 2005. 740 с.

2. Ермишян А. Г., Сызранцев Г. В., Дыков В. В. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах: Учеб. пособие / Под ред. доктора воен. наук, проф. А. Г. Ермишяна. СПб.: Воен. акад. связи, 2006. 220 с.

3 Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высш. Шк., 2001. 343 с.

4 Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. СПб.: БХВ – Петербург, 2005. 400 с.

5 Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2003. 864 с.

Оранский С.В.

Военная академия связи имени С.М. Буденного

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНОГО КОМПОНЕНТА
НАЗЕМНОГО ЭШЕЛОНА СИСТЕМЫ СВЯЗИ**

Фактическое отсутствие в условиях арктического региона стационарных телекоммуникационных систем, составляющих основу телекоммуникационной сети, создаваемой в интересах обеспечения управления участвующими в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций силами и средствами, составит подвижная система связи,