Дискретно-событийная модель функционирования пакетной радиосети КВ-диапазона общего пользования

Dicrete-event model of the general use packet HF radio networking functioning

Присяжнюк / Prisyazhnyuk S.
Сергей Прокофьевич
(office@itain.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
действительный член Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
(Университет ИТМО),
руководитель образовательной программы факультета ИКТ.
г. Санкт-Петербург

Присяжнюк / Prisyazhnyuk A.
Андрей Сергеевич
(pas@itain.ru)
кандидат технических наук.
Университет ИТМО,
доцент факультета ИКТ.
г. Санкт-Петербург

Сахарова / Sakharova M.
Мария Александровна
(saharova@itain.ru, zuvakamariya@mail.ru)
кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
заместитель начальника НИО-1 по разработке систем связи.
г. Санкт-Петербург

Логин / Login E.
Элина Валерьевна
(elinabeneta@yandex.ru)
кандидат технических наук.
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
ассистент кафедры «Электрическая связь».
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: радиосеть – radio network; КВ-диапазон – HF-range; модель сети – network model; логическое соединения – logical connection; имитационное моделирование – simulation; качество услуг – quality of service.

Разработана дискретно-событийная модель пакетной радиосети КВ-диапазона общего пользования, позволяющая обоснованно определять сетевые свойства, особенности и вероятностно-временные характеристики функционирования сети в различных режимах, а также оценивать выполнение заданных требований к функционированию сети. Приведены результаты моделирования радиосети КВ-диапазона с процессом установления логических соединений.

A discrete-event model of the General use packet HF radio network functioning, allowing reasonably determine the network quality, features and probabilistic-time characteristics of the network in different modes, as well as to assess the implementation of the specified requirements for the functioning of the network. The results of the simulation of the radio network KV-band with the process of establishing logical connections

Введение

Острая востребованность в организации радиосети КВ-диапазона общего пользования (далее КВ-радиосеть) обусловлена переходом к применению технологии коммутации пакетов. Пакетная КВ-радиосеть позволяет существенно повысить пропускную способность и эффективность использования КВ-диапазона [1].

КВ-радиосеть как сложная система состоит из сотен разнородных элементов, функционирующих взаимосвязано, что требует учета и контроля множества параметров сети и ее элементов, а также параметров качества обслуживания (QoS). При планировании и проектировании радиосети ее базовыми узлами являются маршрутизаторы, обеспечивающие передачу разнородных данных между пользователями.

Отсутствие типовых методов, способов планирования и проектирования сетей связи обуславливает необходимость моделирования процессов функционирования радиосетей.

Перечень закладываемых базовых функций проектируемой радиосети позволило выявить ключевые процессы ее функционирования, а именно: уста-

2 2019.indd 41 14.06.2019 16:53:42

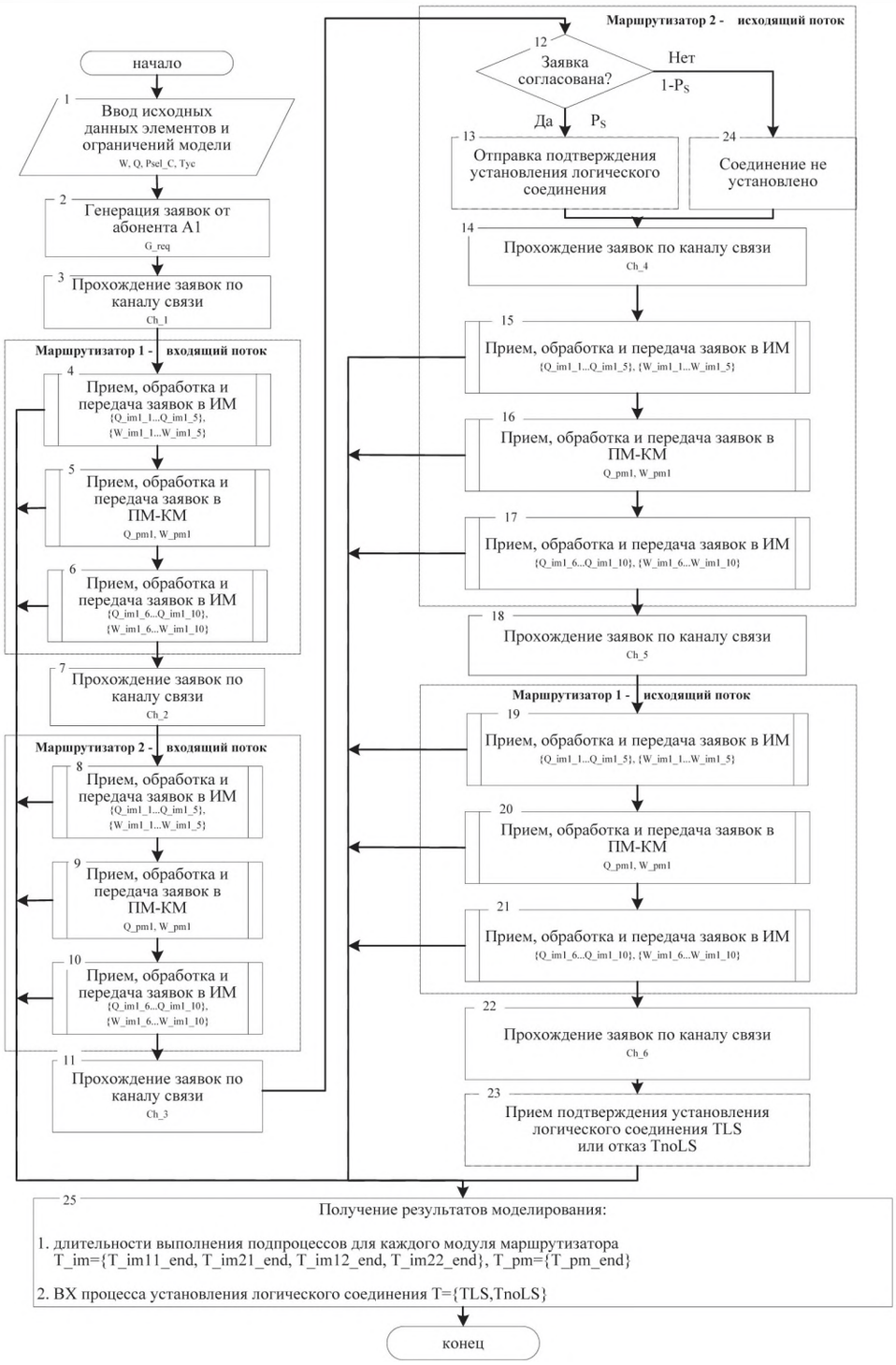

Рис. 1. Алгоритм работы модели функционирования радиосети при установлении ЛС

2 2019.indd 42 14.06.2019 16:53:43

новление логических соединений (ЛС), передача текстовых и речевых сообщений, мониторинг состояния отдельных модулей маршрутизатора.

Активно ведутся работы по разработке моделей установления ЛС [2–5], однако данные решения не учитывают особенностей радиосети КВ-диапазона.

В данной работе представлены результаты имитационного моделирования процесса установления ЛС между абонентами пакетной радиосети КВ-диапазона.

Моделирование ключевых процессов функционирования проектируемой радиосети на базе модульных маршрутизаторов позволит оценить выполнение заданных требований к вероятностно-временным характеристикам (ВВХ).

Моделирование процессов функционирования пакетной радиосети КВ-диапазона общего пользования

При выполнении имитационного моделирования посредством разработки дискретно-событийной модели (ДСМ) функционирования пакетной КВ-радиосети требуется:

1) определить время установления соединения в соответствии с заявленными требованиями;

2) определить время задержки заявки на каждом этапе приема и обработки заявки в указанном маршруте;

3) определить количество отправленных и подтвержденных заявок на установление соединения за время моделирования.

Разработана ДСМ процесса установления логического соединения (ЛС) между абонентами радиосети с применением блоков библиотеки моделирования AnyLogic в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1.

Ключевыми блоками в алгоритме являются модули маршрутизатора, временные параметры которых существенно влияют на результаты моделирования.

Блок № 25 аккумулирует результаты моделирования в виде длительностей выполнения подпроцессов в интерфейсных модулях маршрутизатора T_im и модуле коммутации и маршрутизации T_pm (как частный результат выполнения отдельных подпроцессов модели), а также длительностей выполнения процесса установления соединения $T=\{TLS, TnoLS\}$.

Процесс установления логического соединения продемонстрирована на рис. 2. Пусть абонент 1 (А1) формирует и отправляет заявку на установление ЛС с А2. Заявка на установление ЛС размером R_z =240 бит формируется с заданной интенсивностью λ (3 заявки в минуту).

Маршрут передачи заявки между абонентами А1 и А2 радиосети представлен в соответствии со структурно-логической схемой модели (рис. 2).

Получатель А2 при приеме заявки принимает решение с вероятностью $Ps=\{Ps_min, Ps_max\}$, причем Ps_min=0,7, Ps_max=1, о возможности подтверждения заявки на установление ЛС и отправляет заявку-подтверждение размером R_y =248 бит.

С помощью блоков библиотеки моделирования процессов [6–12] разработана имитационная модель фрагмента радиосети и представлена на рис. 3.

При моделировании процессов функционирования радиосети источником заявки (абонентом сети) формируется поток запросов на установление логического соединения с интенсивностью λ(LSi).

Прием и обработка поступающей заявки выполняется в маршрутизаторе по заданному алгоритму и передается получателю по имитируемому каналу связи.

Канал связи с заданной скоростью передачи (1200–9600 бит/с) в модели представляется с помощью блока Delay, который задерживает заявки на некоторый интервал времени.

При приеме запроса получателем он принимает решение об подтверждении ЛС (LS) или отказе в установлении ЛС (noLS).

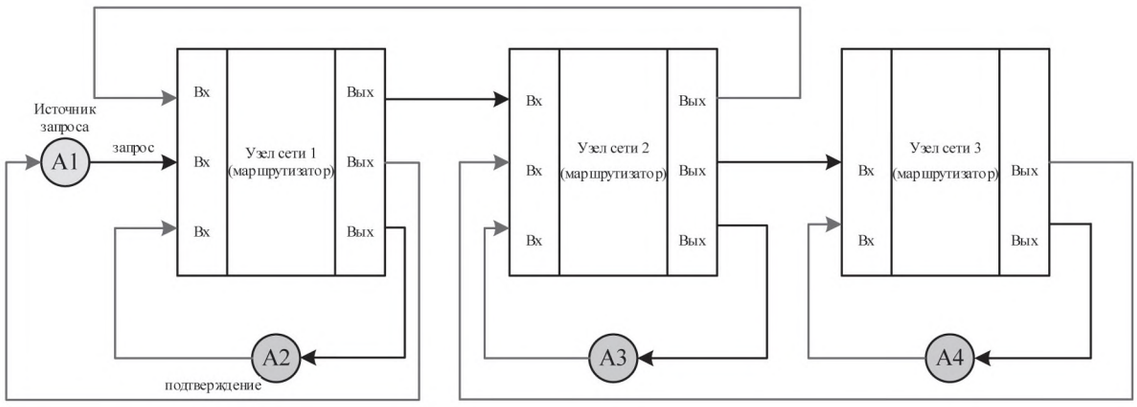

Рис. 2. Структурно-логическая схема фрагмента модели радиосети

2 2019.indd 43 14.06.2019 16:53:43

Маршрутизатор пакетной КВ-радиосети можно представить как систему массового обслуживания (СМО) замкнутого типа с ограниченными емкостями буферов, а следовательно с возможными потерями данных. Благодаря модульной структуре маршрутизатора как замкнутой СМО при увеличении интенсивности поступающих заявок (пакетов данных) потери данных можно устранить путем добавления новых модулей. При моделировании определено, что дисциплина обслуживания поступающей с заданной интенсивностью заявки (пакета на установление ЛС) оперирует относительными приоритетами, означающими, что приоритеты учитываются только в моменты завершения обслуживания заявок при выборе новой заявки на обслуживание и не влияют на процесс обслуживания низкоприоритетной заявки в приборе; другими словами, поступление в систему заявки с более высоким приоритетом по сравнению с обслуживаемой в приборе не приводит к прерыванию обслуживаемой заявки.

На рис. 4 представлены результаты модели, к которым относятся длительность выполнения работы модулей маршрутизаторов, характерные для процесса установления ЛС.

На основании статистических значений вероятности Ps (рис. 5) можно получать обоснованную оценку функционирования радиосети при установлении ЛС между различными абонентами.

Например, при изменении потока запросов (рис. 6) на установление ЛС с интенсивностью λ(LSi) и изменении Ps (рис. 5) в процессе моделирования получено распределение времени установления ЛС (TLS) или отказа в его установлении (TnoLS). Стоит отметить, что полученные значения времени не достигают 10 сек. (рис. 7).

Разработанная ДСМ процесса установления логического соединения позволила получить:

– результаты (рис. 8), отражающие распределение количества сформированных запросов на установление ЛС (LSi), содержащее запросы-подтверждения (LS) и количество отказов при установлении ЛС (noLS) при изменении интенсивности запросов на установление ЛС (λLSi) с заданным распределением *Ps*;

– распределение (рис. 9,10) времени на установление ЛС (TLS) и времени отказа в установлении ЛС (TnoLS) при изменении интенсивности запросов на установление ЛС (LSi);

– зависимости времени на установление ЛС (TLS) (рис. 9) и времени отказа в установлении ЛС (TnoLS) (рис. 10) при изменении интенсивности запросов на установление ЛС (LSi) и количества узлов в составном маршруте.

Полученные результаты позволяют оценить выполнение требований к временным характеристикам сети в процессе установления ЛС.

Заключение

Разработанная ДСМ чувствительна к изменению исходных данных, масштабируема за счет дополнения новых блоков, уточняющих или дополняющих анализируемый процесс функционирования радиосети, адекватна в части отображения моделируемого процесса и выводимых результатов функционирования радиосети.

Полученные результаты модели в части ВХ функционирования модулей маршрутизатора отражают средние времена задержек модулей, а также длительности работы модулей при запросе и подтверждении на

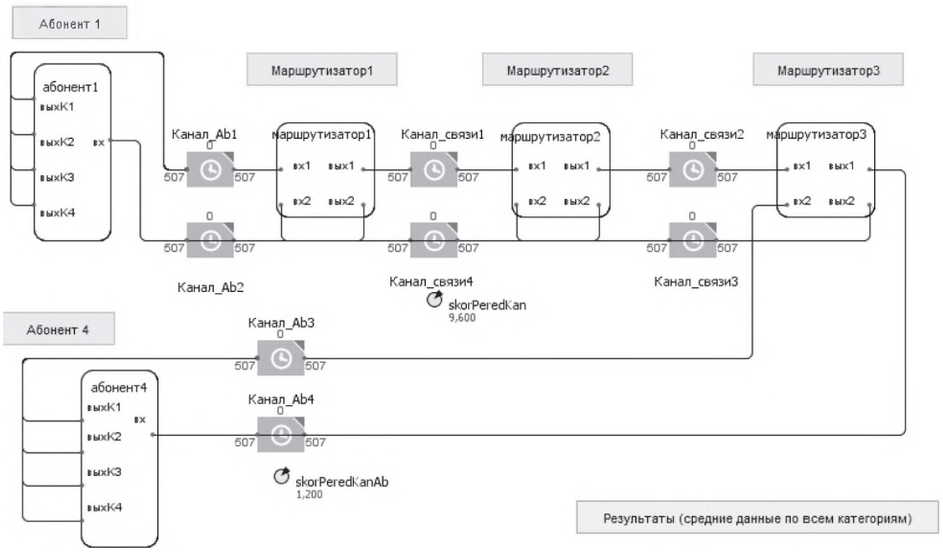

Рис. 3. Имитационная модель фрагмента (маршрута) радиосети при установлении логического соединения между парой абонентов A1 и A4

2 2019.indd 44 14.06.2019 16:53:43

Таблица 1

Исходные данные для моделирования

№	Характеристики элементов сети	Условное обозначение	Значение
1.	Количество абонентов на один маршрутизатор	N_i	до 8
2.	Максимальный размер радиопакета	R_{p_max}	281 байт
3.	Приоритет обработки пакетов*: $Q_i=\{Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7\}$	Q_i, i=0..7	
	Пакеты речи	Q_0	0
	Пакеты транспортного уровня (установление логического соединения)	Q_{1_ls}	1*
	Пакеты управления сетью (мониторинга)	Q_{1_m}	1*
	Пакеты электронной почты	Q_2	2
	Пакеты сообщений n категории	$Q_n=\{Q_3, Q_4, Q_5, Q_6\}$	3–6
	Пакет квитанции о доставке	Q_7	7
4.	Интенсивность формирования сообщений	λ	до 5 сообщений в минуту
5.	Количество категорий сообщений	K_j	4
6.	Максимальный размер сообщений каждой категории	R_{max_j}	$\{R_{max_1}; R_{max_1}; R_{max_1}; R_{max_1}\}$ байт
7.	Размер квитанции о доставке/недоставке сообщения	R_{kv}	31 байт
8.	Скорость в канале связи от абонента до маршрутизатора	V_1	1020 бит/с
9.	Величина задержки в канале связи	Z_{V1}	0,5÷2 с
10.	Закон распределения времени задержки в канале связи	–	нормальный
11.	Скорость в канале связи между маршрутизаторами	V_2	4800÷9600 бит/с
12.	Величина задержки в канале связи	Z_{V2}	0,5÷2 с
13.	Закон распределения времени задержки в канале связи	–	Нормальный (normal)
14.	Количество маршрутизаторов (УММ)	N_m	до 32
15.	Емкость модулей маршрутизатора (интенсивность обслуживания)	W_b	25
16.	Максимальная величина времени задержки в каждом порту/модуле маршрутизатора (длительность обслуживания согласно СМО)	Z_{Wb}	10 мс
17.	Модель обработки пактов в очереди в каждом модуле маршрутизатора	–	Согласно приоритету входящего сообщения
18.	Допустимое время установления логического соединения, не более	TLS	10 с

2 2019.indd 45 14.06.2019 16:53:43

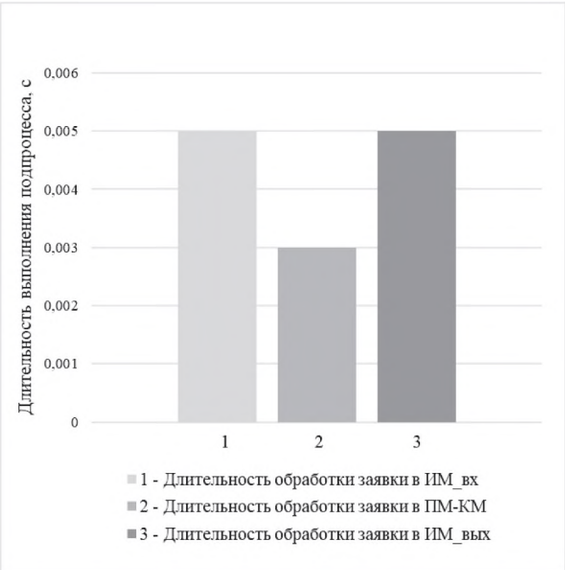

Рис. 4. Диаграммы длительности работы модулей маршрутизатора при установлении ЛС

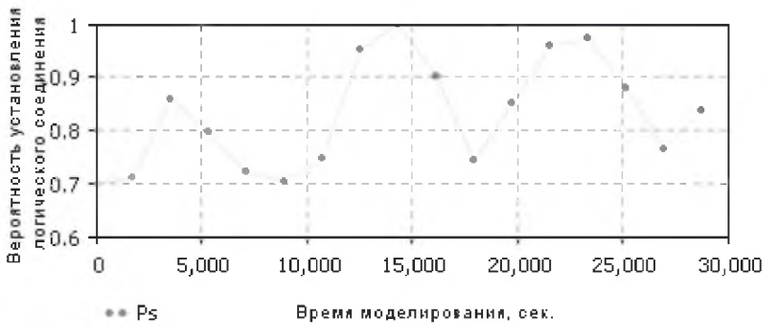

Рис. 5. Изменение вероятности Ps установления логического соединения

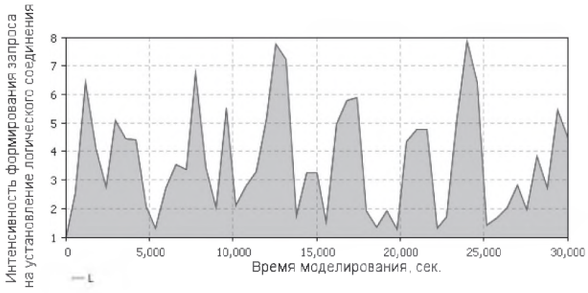

Рис. 6. Интенсивность формирования запросов на установление ЛС

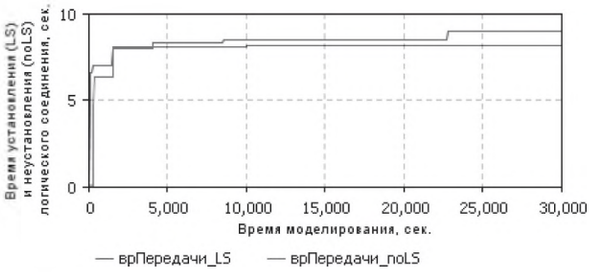

Рис. 7. Зависимость времени установления ЛС (TLS) или отказа в его установлении (TnoLS) в процессе моделирования при изменении Ps (рис. 5) и интенсивности λ(LSi)

2 2019.indd 46 14.06.2019 16:53:44

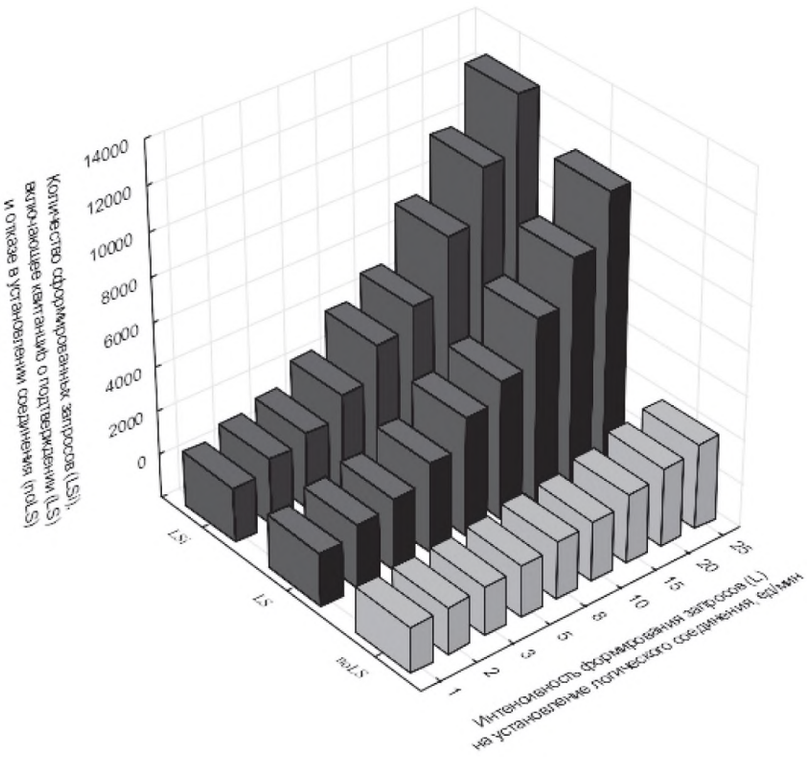

Рис. 8. Распределение количества сформированных запросов на установление ЛС (LSi), содержащее запросы-подтверждения (LS) и количество отказов при установлении ЛС (noLS) при изменении интенсивности запросов на установление ЛС (λLSi)

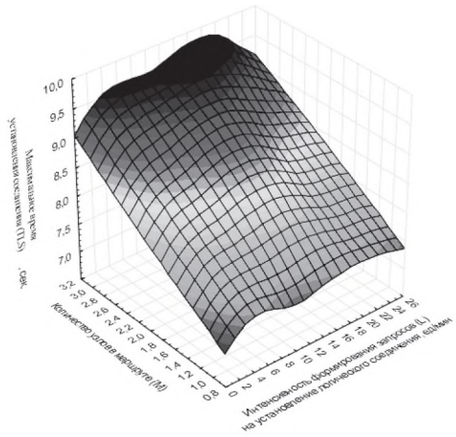

Рис. 9. Зависимость времени на установление ЛС (TLS) при изменении интенсивности запросов на установление ЛС (LSi) и количества узлов в составном маршруте

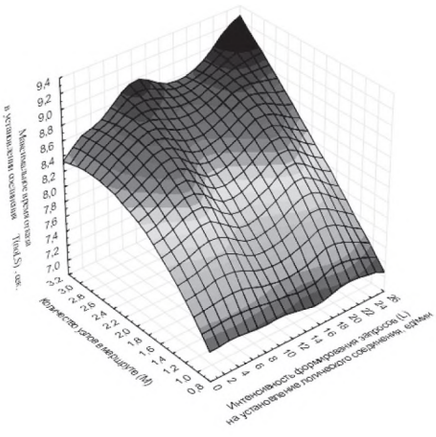

Рис. 10. Зависимость времени отказа в установлении ЛС (TnoLS) при изменении интенсивности запросов на установление ЛС (LSi) и количества узлов в составном маршруте

2 2019.indd 47 14.06.2019 16:53:44

установление ЛС. Показано, что работа модулей маршрутизатора не превышает 5 мс при заданных исходных данных для моделирования. Время установления ЛС между абонентами не превышает 10 с, учитывая вероятностно-распределенный характер вводимых значений отдельных элементов модели.

Анализ всех значений TLS из выборки показал, что при установленном соединении дисперсия больше, чем при неустановленном соединении, что говорит о наибольшем влиянии модулей маршрутизатора на длительность TLS. В случае «отказа» в установлении соединения TLS занимает до 10 с. В случае установления соединения средняя длительность такого процесса составила 8,64 с. Коррекция данного результата возможна в рамках управления значением Ps, устанавливающего тип заявки (с подтверждением или без) или вероятность установления логического соединения.

Результаты моделирования подтверждают высокую эффективность использования пакетной радиосети КВ-диапазона ее в интересах общего пользования.

Литература

1. Присяжнюк, С. П. Модель управления когнитивной декаметровой радиосвязью / С.П. Присяжнюк, А.С. Присяжнюк // Информация и Космос – 2018. – № 4. – С. 44–48.

2. Зарипова, Э. Р. Метод оценки времени установления соединения по радиоканалу случайного доступа / Э.Р. Зарипова, А. Ардила Пинто // Вестник РУДН. Серия МИФ. – 2017. – Т. 25, № 1. – С. 9–18.

3. Татарникова, Т. М. Вероятностная модель установления соединения в инфокоммуникационной сети / Т.М. Татарникова, Н.В. Яготинцева // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2017. – Т. 60, № 2. – С. 136–142.

4. Мейкшан, В. И. Анализ качества обслуживания трафика в мультисервисной сети с адаптивной маршрутизацией при наличии повторных вызовов / В.И. Мейкша, В.П. Корчагин // Электросвязь. – 2017. – № 3. – С. 62–67.

5. Абаев, П. О. Построение и анализ модели для оценки времени установления соединения в подсистеме IMS / П.О. Абаев, К.Э. Салтымакова, Е.А. Ивашиненко // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 11. – С. 11–15.

6. Боев, В. Д. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов: Монография / В.Д. Боев. – СПб.: ВАС, 2011. – 404 с.

7. Каталевский, Д. Ю. Учебное пособие Основы имитационного моделирования системного анализа в управлении / Д. Ю. Каталевский. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: РАНХИГИС, 2015. – 496 с.

8. Борщев, А. В. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем / А.В. Борщев // Материалы конференции «Имитационное моделирование. Теория и Практика» (ИММОД – 2013), Т. 1. – Казань: Фэн АН РТ, 2013. – С. 21–34.

9. Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Материалы конференции «Имитационное моделирование. Теория и Практика» (ИММОД-2005) – СПб., 2005. – С.11–24.

10. Паршикова, Е. А. Имитационное моделирование управления в групповой робототехнике на основе многоагентного подхода: метод. материалы к практическим занятиям / Е.А. Паршикова. – М., 2015. – 32 с.

11. Закиров, В. И. Исследование надежности беспроводных сетей связи методом имитационного моделирования в среде AnyLogic / В.И Закиров, В.В. Золотухин // Материалы конференции «Имитационное моделирование. Теория и Практика» (ИММОД – 2011), Т. 1. – Казань: Фэн АН РТ, 2011. – С. 19–26.

12. Логин, Э. В. Модель транспортной сети связи как составляющая мультиагентной системы управления / Э.В. Логин, А.К. Канаев // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 34–42.

2 2019.indd 48 14.06.2019 16:53:44