

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Введение

Использование телекоммуникационных сенсорных систем (ТСС) в критических ситуациях (пожар, нарушение охраняемого периметра и т.д.) кроме надежности передачи также требует классификации передаваемого трафика с соблюдением принципов справедливости приоритета для информации, передаваемой в критических ситуациях. В случае перегрузки сетевых элементов ТСС возрастает количество потерянной информации, что требует повторной передачи, а следовательно, большей времени активности. Поэтому в ТСС целесообразно использовать механизмы, позволяющие выявить и предотвратить перегрузку. К числу технологий, направленных на предотвращение перегрузки, относятся RED, WRED, SDP, ECN и др. На качество работы протоколов управления нагрузкой влияют параметры самого трафика и особенности функционирования самих механизмов.

Возникает задача изучения динамики прохождения пакетной информации по участку ТСС в условиях перегрузки, изучения реальных динамических и статических характеристик функционирования участка ТСС, а также нагрузочных характеристик и свойств узла предотвращения перегрузок в условиях различного трафика и различных технологий транспортирования информации.

Постановка натурального эксперимента

Механизм RED влияет на работу агрегированных потоков от различных источников, т.е. функционирует на магистральном участке сети. Поскольку RED предотвращает перегрузку сетевого канала, следовательно, этот механизм необходимо использовать в начале магистральной линии. Согласно этим предположениям, для исследования динамических характеристик функционирования участка ТСС в условиях перегрузки был построен участок магистральной линии связи между двумя маршрутизаторами, по которому передавались информационные потоки от конечных узлов [2]. На маршрутизаторах реализована возможность ограничения скорости входящего, исходящего потоков трафика, включения механизма RED, изменение значений размера буфера (программного) маршрутизатора, максимальной и минимальной длины очереди пакетов, значение экспоненциального весового коэффициента α , определяющего степень инерционности этого узла.

Исследования динамики функционирования маршрутизатора в условиях перегрузки проводились при различных параметрах механизма RED.

При различных параметрах механизма RED между конечными узлами по сети передавался трафик с различной интенсивностью. Для генерации трафика использовалась программа D-ITG V. 2.6.1d (distributed Internet traffic generator, генератор Интернет трафика). В скрипт-файле программы для генерации трафика указаны тип трафика (протокол 4 уровня – TCP или UDP. Возможно задание приложений более высокого уровня, например VoIP трафик), длительность передачи одного потока, размер пакетов и интенсивность потока. Также задан закон распределения интенсивности трафика и длины пакетов, например нормальный, пуассоновский, экспоненциальный. Для данного эксперимента было использовано пуассоновское распределение интенсивности трафика.

Косвенные показатели исследуемых параметров механизма RED можно получить, только осуществляя мониторинг интерфейса маршрутизатора 1, на котором работает RED. Для этой цели в эксперименте был использован протокол SNMP, через который с помощью скрипт-файла опрашивался маршрутизатор в реальном времени (через каждые 0,2 – 0,1 с). Получен-

ные значения количества переданных и отброшенных пакетов, текущего значения длины очереди, а также задержка пакетов в буфере были обработаны в среде Matlab 6.5 и excel.

Алгоритм проведения экспериментальных исследований представлен на рис. 1.

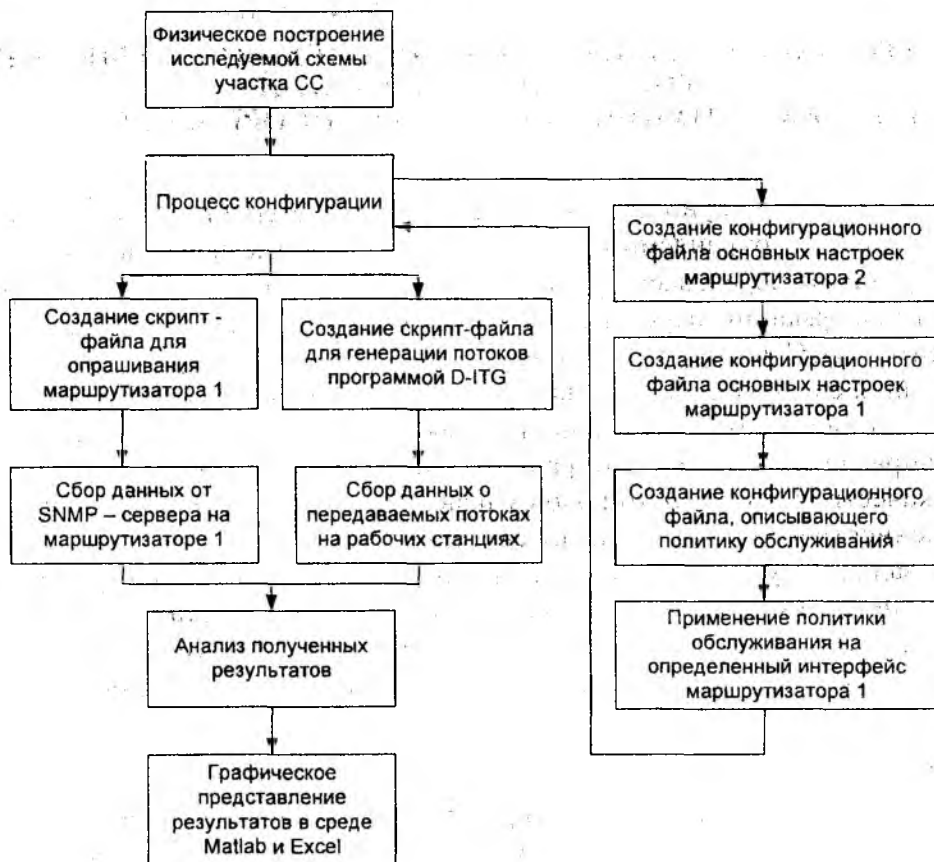


Рис. 1. Структура алгоритма экспериментальных исследований

Результаты исследования участка ТСС в стационарных условиях

Исследование проводилось для стационарных условий, при которых входной поток, генерируемый на источнике, имел постоянные характеристики на протяжении одного эксперимента: пуассоновское распределение интенсивности потока пакетов со средними значениями 40, 80, 120, 160 *кпак/с*, размер пакетов 100 *кбайт*. Система подвергалась нагрузке постоянным потоком стандартных пакетов на протяжении всего времени длительности передачи, которая составляла 10 *с*. Для каждого из значений шаговой постоянной 2^{-3} , 2^{-5} , 2^{-7} , 2^{-9} проводилось несколько независимых экспериментов. Анализ полученных результатов исследования скорости и величины (степени) заполнения буфера при различном показателе n представлен на графиках (рис. 2, б).

Из графиков следует, что при всех четырех выбранных режимах буфер быстро, за 5 – 10 шагов достигает выбранного предельного уровня заполнения. Как и следовало ожидать, при большой интенсивности потока ($\lambda = 160$) это достигается быстрее, чем при малой ($\lambda = 40$) Из сопоставления кривых на графиках можно сделать вывод о том, что существуют два характерных режима:

- переходный режим, наступающий сразу после подачи нагрузки. Его длительность от нуля при большой интенсивности ($\lambda = 160$ *кпак/с*) до 20 – 25 интервалов отсчета (каждый интервал 1/5 *с*) при малой интенсивности ($\lambda = 40$ *кпак/с*);
- стационарный, установившийся режим, когда заполнение буфера достигает выбранного предельного уровня заполнения (75 позиций) и удерживается на этом уровне.

Особенностью переходного режима является то, что с началом заполнения буфера наблюдается выброс, превышающий установленный предельный уровень (75 пакетов), то есть переполнение этого установленного уровня. В данном случае это переполнение не приводит к такому же выбросу потерь пакетов, поскольку по технологии в буфере предусмотрено использование дополнительной, динамически выделяемой памяти, смягчающие импульсные броски нагрузки. Анализ переходного режима показывает, что при выборе малых значений показателя шаговой постоянной ($n=3;5$) переходный режим проходит практически без выбросов при любой интенсивности нагрузки. Для больших значений ($n=7; 9$) эти выбросы достигают 200 % (при $n=7$) и даже 400 % (при $n=9$). Из этого следует, что в тех технологиях, где отсутствует механизм, смягчающий выбросы за счет дополнительной памяти, или когда предельный уровень заполнения буфера окажется максимальным, все пакеты, попавшие в зону выброса, будут отброшены и потеряны. Такие потери могут оказаться особенно критичными для сенсорных сетей, поскольку основная, наиболее важная информация от сенсорных датчиков как раз и содержится в первых группах пакетов, следующих после определенного режима «молчания». Таким образом, показатель шаговой постоянной $n > 7$.

Другим важным результатом, следующим из анализа графиков на рис. 2 – 5, является то, что с увеличением показателя n возрастает задержка в достижении максимального уровня заполнения буфера. Эту задачу можно интерпретировать как задержку в принятии решения механизмов по отбрасыванию пакетов. Графики этой задержки представлены на рис. 6. Из анализа графиков следует, что максимальная задержка отмечается при выборе показателя $n = 9$. Также показано (рис. 6), что величина задержки зависит от интенсивности поступающей нагрузки: меньшая задержка в принятии решений при большей интенсивности, что согласуется со здравым смыслом и физическими соображениями.

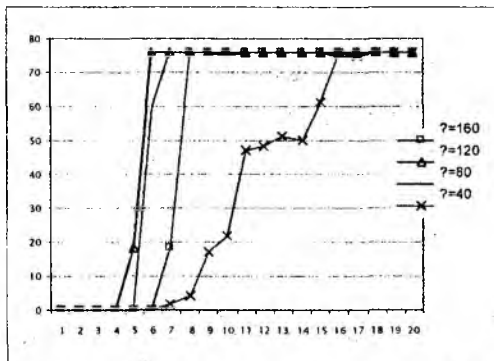


Рис. 2. Изменение уровня заполнения буфера во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-3} = 0.125$

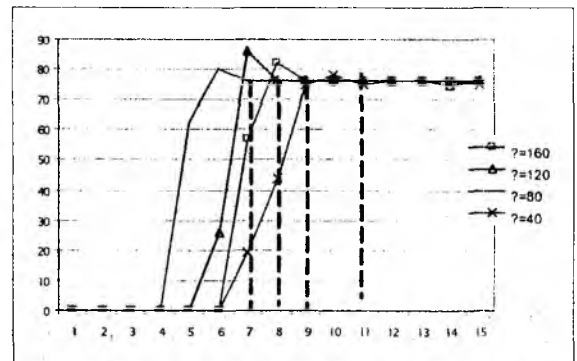


Рис. 3. Изменение уровня заполнения буфера во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-5} = 0.03125$

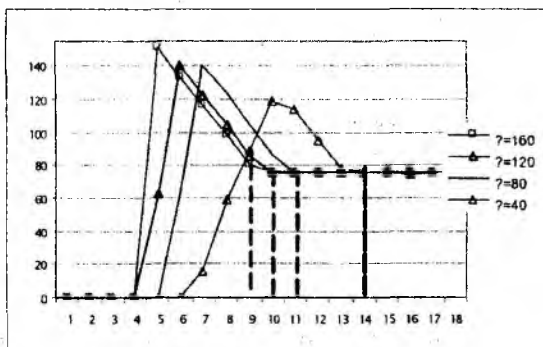


Рис. 4. Изменение уровня заполнения буфера во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-7} = 0.0078$

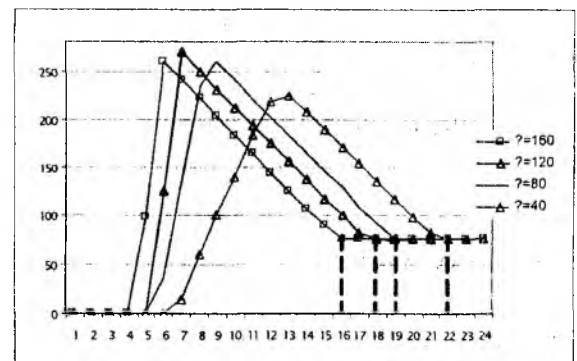


Рис. 5. Изменение уровня заполнения буфера во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-9} = 0.00195$

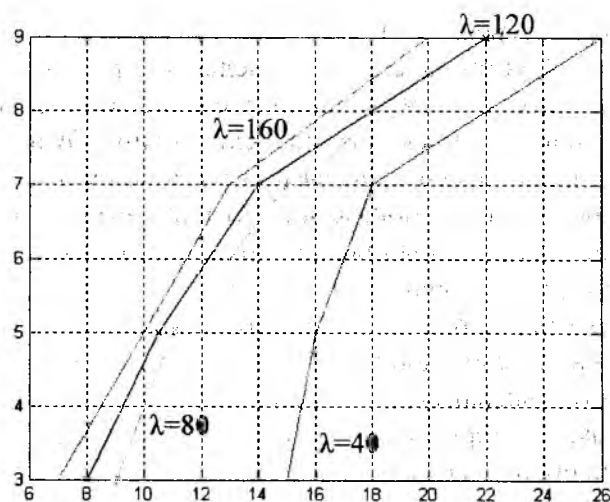


Рис. 6. Задержка достижения максимального уровня заполнения буфера

На рис. 7 – 10 приведены графики потерь пакетов в зависимости от времени. Из графиков видно, что на протяжении сеанса интенсивность потерь случайно изменяется, хотя среднее значение остается неизменным. Вместе с тем, отличается выброс интенсивности потерянных пакетов в начале сеанса, наиболее заметной при выборе показателя $n=7$ и особенно при $n=9$. Природа этих выбросов согласовывается с результатами анализа рис. 2 – 5.

Из графиков следует, что с увеличением интенсивности λ вероятность потери пакетов растет. Данные зависимости могут быть использованы при выборе параметров сенсорных сетей.

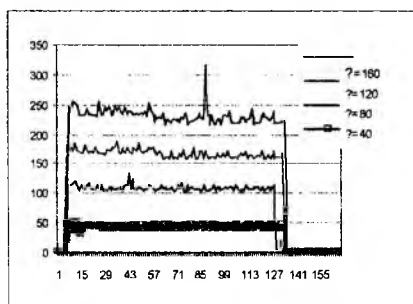


Рис. 7. Изменение количества потерянных пакетов во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-3} = 0.125$

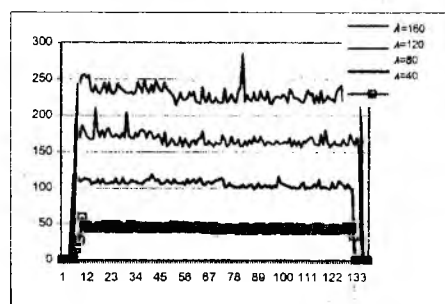


Рис. 8. Изменение количества потерянных пакетов во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-5} = 0.03125$

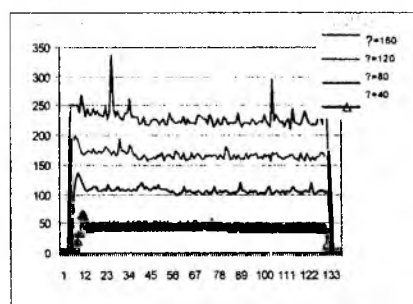


Рис. 9. Изменение количества потерянных пакетов во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-7} = 0.0078$

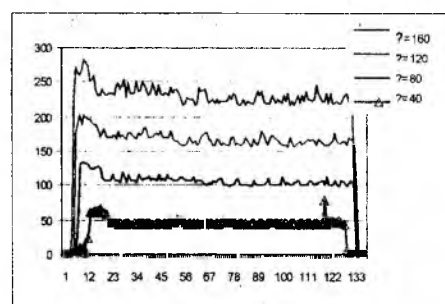


Рис. 10. Изменение количества потерянных пакетов во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-9} = 0.00195$

График на рис. 11 является обобщением результатов анализа, представленных графиками на рис. 2 – 5, 7 – 10.

Из графиков (рис. 11) следует, что максимальная задержка оказывается при $n=9$ и может достигать 20 – 30 шагов. Наличие такой задержки может снизить качество работы сенсорной сети, поскольку будет способствовать значительным потерям пакетов в начале сеансов.

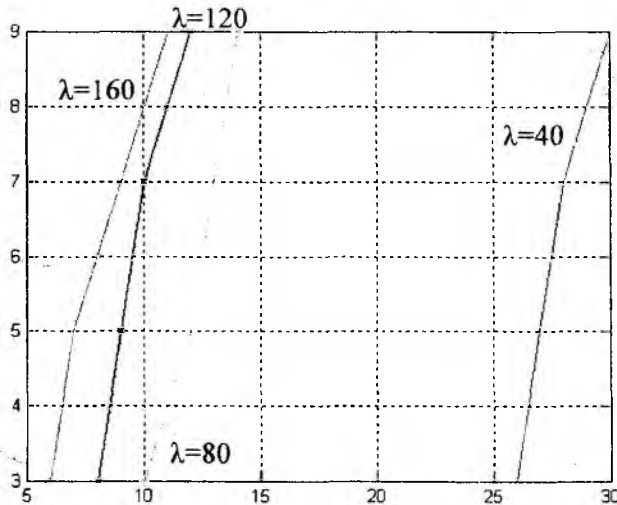


Рис. 11. Задержка реакции механизма RED при интенсивностях передачи 40, 80, 120 и 160 *кп/с* для различных значений шаговой постоянной

Результаты исследования состояния ТСС в нестационарных условиях

Условие нестационарности трафика – типичная ситуация для любой информационной системы. Для сенсорной системы состояние нестационарности является определяющим, поскольку именно появление полезных сигналов (тревоги, аварии и т.д.) связано с фактом нестационарности. Нестационарные условия, которые моделировались в эксперименте, выражались в том, что информационный поток, генерируемый на источнике, имел резко изменяемую интенсивность. Для определенности распределение интенсивности потока было выбрано пуассоновским, параметр интенсивности которого изменялся по определенному правилу. Были исследованы две модели изменения интенсивности потока. В первой модели интенсивность потока имела линейно нарастающий характер с пошаговым приращением. Интенсивность изменялась от 20 до 160 *кпак/с*. Для второй модели изменения интенсивности носили характер наращивания и уменьшения нагрузки. Проведен ряд экспериментов при различных значениях показателя шаговой постоянной ($n = 3, 5, 7, 9$). Полученные результаты представлены на графиках (рис. 12 – 13).

На рис. 12, 13 представлена зависимость процесса заполнения буфера и количество потерянных пакетов при различном выборе шаговой постоянной в зависимости от времени функционирования. Из графиков следует, что при малых значениях шаговой постоянной в начальном периоде функционирования отмечается значительный всплеск потерянных пакетов, что связано с отсутствием в этот период управляющих сигналов от системы предотвращения перегрузок. Величина этого периода составляет 20 – 30 шагов дискретизации, а сам период связан с тем, что при малом значении шаговой постоянной имеет место соответствующее смещение порога обнаружения.

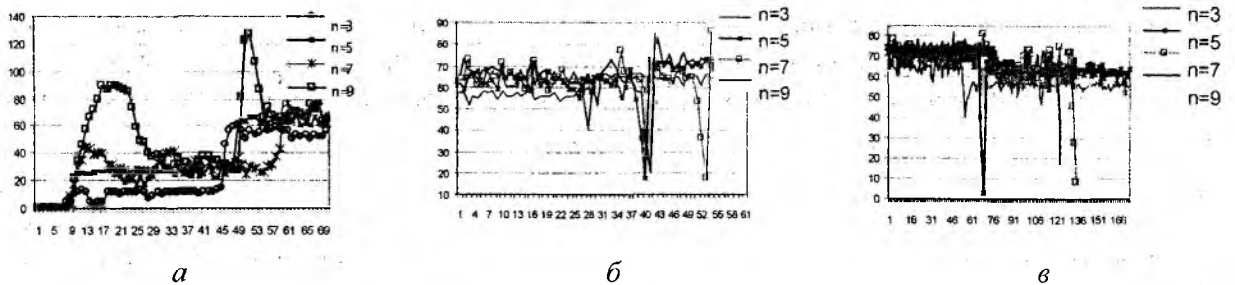
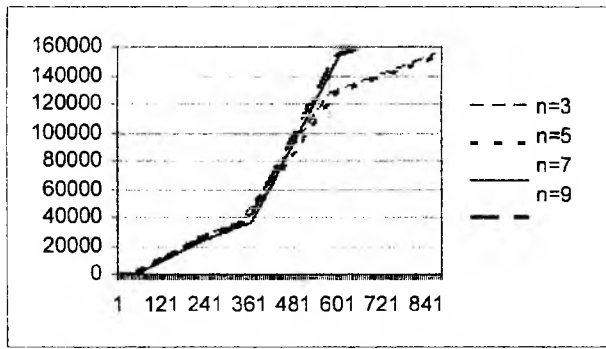
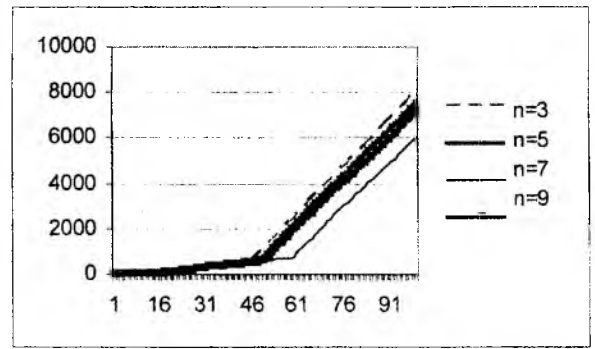


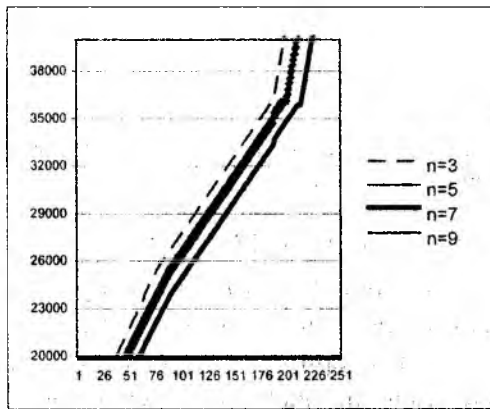
Рис. 12. Изменение уровней заполнения буфера в периоды переходных процессов: а – на 1 – 66 шагах; б – на шагах 310 – 370; в – на шагах 526 – 700



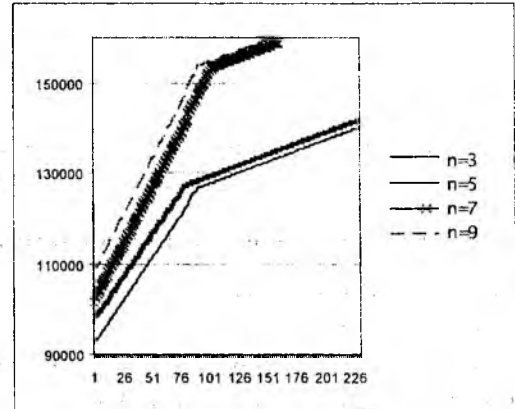
a



б



в



г

Рис. 13. Изменение количества потерянных пакетов во времени при шаговой постоянной $K = 2^{-3} = 0.125$, $K = 2^{-5} = 0.03125$, $K = 2^{-7} = 0.0078$, $K = 2^{-9} = 0.00195$; *a* – полный эксперимент; *б* – эксперимент на шагах 1 – 100; *в* – эксперимент на шагах 150 – 400, *г* – эксперимент на шагах 500 – 730

На рис. 12, 13 представлена ситуация, когда на 50- и 300-м шагах происходит резкое увеличение нагрузки с 40 до 80 *кпак/с*, а затем до 120 *кпак/с*. В этом случае, как и в начале сеанса, отмечается соответствующий всплеск числа потерь пакетов, но этот всплеск в несколько раз меньше. Это связано с тем, что система управления уже была под нагрузкой, что способствовало соответствующему сглаживанию скачка.

Выводы

Подтверждены основные качественные свойства механизма предотвращения перегрузки, связанные со значительными задержками в обнаружении критического значения нагрузки, которые имеют место при выборе больших показателей шаговой постоянной рекурсивной процедуры. Показано, что значение показателя шаговой постоянной $n = 9$, принятое для типового информационного трафика, неприемлемо для трафика сенсорных сетей, ибо значительные задержки, достигающие до 30 шагов, могут привести к потере информационных пакетов в начале сеанса передачи и соответственно к пропуску полезного сигнала. Особенно это важно в сенсорных сетях охранной сигнализации, пожарной охраны и др. Рекомендуемые значения шаговых постоянных, удовлетворяющие требованиям сенсорных сетей, – $K = 2^{-3} \dots 2^{-5}$.

Список литературы: 1. Вегеня Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 386 с. 2. Горяева С. Н. Экспериментальная оценка средней длины очереди пакетов при обслуживании очереди механизмом RED // 12-й міжнар. молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»: Зб. матеріалів форуму. Харків: ХНУРЕ, 2008. С. 121.

Харьковский национальный университет радиотехники

Поступила в редколлегию 12.01.2009