

УДК 681.325

Г.А. КУЧУК, А.А. БОЛЮБАШ

Харьковский университет Воздушных Сил, Украина

МАРШРУТИЗАЦИЯ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Предлагается метод маршрутизации служебной информации, позволяющий минимизировать ее объем. Тем самым увеличивается время использования сети передачи данных системы контроля и анализа космической обстановки Украины.

система контроля и анализа космической обстановки, сеть передачи данных, центр коммутации пакетов, маршрутизация служебной информации

Постановка проблемы

Система контроля и анализа космической обстановки (СКАКО) Украины предназначена для формирования и доведения до потребителей информации о космической обстановке [1]. В частности, в ближайшее время планируется использование СКАКО для решения задач в интересах обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации [2]. Опыт эксплуатации одной из составляющих СКАКО – подсистемы информационного обеспечения потребителей [2], показал, что наиболее подвержены внешним воздействиям и, соответственно, чаще выходят из строя центры коммутации пакетов (ЦКП) и линии связи сетей передачи данных (СПД) СКАКО. Можно предположить, что в таких условиях работоспособность СПД зависит от организации согласования маршрутных таблиц ЦКП и обнаружения отказов между ЦКП СКАКО [3]. Поэтому задача создания современных сетей передачи данных СКАКО, в частности, для систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации, посредством совершенствования методов маршрутизации служебной информации с использованием новейших разработок в данной области, является одной из важнейших задач, которые должны быть решены в процессе развития современных авиационно-космических технологий.

Анализ литературы

Анализ современной литературы показал, что для большинства современных СПД непрерывность интервала времени применения в условиях скачкообразного изменения интенсивности интегральных потоков, обусловленного динамикой изменения воздушной и космической обстановки, и большого числа отказов элементов сети, не является главной характеристикой, т.е. большинство СПД не ориентированы на применение в экстремальных условиях [4 – 6]. С этим связано то, что задачи, связанные с маршрутизацией служебной информации, как правило, рассматриваются в качестве ограничений при решении задачи маршрутизации пользовательской информации [7 – 8], поэтому зависимость возникновения перегрузок маршрутизатора в условиях скачкообразного изменения интенсивности интегральных потоков и большого числа отказов элементов сети от применяемого в СПД метода маршрутизации служебной информации исследована слабо.

Задача маршрутизации служебной информации наиболее актуальна для СПД, поддерживающих качество обслуживания и предназначенных для эксплуатации в экстремальных условиях, а именно, для сетей передачи данных систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации.

Цель статьи

Разработать метод маршрутизации служебной информации, позволяющий минимизировать объем служебной информации, циркулирующей в СПД, путем определения рациональных частот распространения служебных сообщений для увеличения непрерывного интервала времени применения СПД систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации.

1. Расчет частоты распространения обновляющих сообщений и сообщений об отказах элементов СПД

Для разработки метода маршрутизации служебной информации в качестве базового был выбран

метод, примененный в протоколе OSPF. Заметим, что основа метода остается без изменений, т.е. согласно протоколу OSPF распространяется три вида сообщений: сообщения HELLO, которым маршрутизатор оповещает “соседей” о своей работоспособности, обновляющее сообщение о состоянии каналов связи и сообщение об отказах, которое распространяется в моменты выхода из строя элементов сети. Описание сущности предлагаемого метода приводится ниже.

Создается таблица статистических данных, в которую заносятся моменты возникновения отказов в течение суток.. Пример таблицы статистических данных о возникновении отказов приведен в табл. 1 [9], где $n_{омк}$ – количество отказов, возникших в течение суток.

Таблица 1

Таблица статистических данных о возникновении отказов

№омк	1	2	3	4	..	..	..	15	16	..	20	21	..	$n_{омк}$
$t_{омк_i}$	0.10.16	1.32.45	4.57.03	10.20.14	..	..	..	13.03.25	14.09.01	..	17.10.17	17.45.23	..	23.58.23

На основании накапливаемых статистических данных о возникновении отказов вычисляется средний интервал времени между отказами [9]:

$$t_{омк_{cp}} = \sum_{i=1}^{k_{np}} (t_{омк_{i-1}} - t_{омк_i}) / k_{np}, \quad (1)$$

где $t_{омк_i}$ – моменты времени возникновения отказов, $i = \overline{1, n_{омк}}$; k_{np} – количество отказов на данный момент времени, $k_{np} \in (1; n_{омк})$.

Если вычисленный средний интервал времени между возникновением отказов превышает величину, установленную протоколом OSPF для распространения обновляющего сообщения о состоянии элементов СПД (как правило $\Delta t_{oc1}^{OSPF} = 30$ мин), то распространяется обновляющее сообщение l_{oc} :

$$\left(t_{омк_i} + t_{омк_{cp}} > t_{омк_i} + \Delta t_{oc1}^{OSPF} \right),$$

иначе распространяется сообщение о возникновении отказа l_{oc} :

$$\left(t_{омк_i} + t_{омк_{cp}} \leq t_{омк_i} + \Delta t_{oc1}^{OSPF} \right).$$

Однако, большая часть служебной информации, распространяемой в OSPF, приходится на сообщения HELLO, поэтому исследуем возможность уменьшения частоты их распространения, используя средний интервал времени между возникновением отказов без ухудшения надежностных характеристик.

2. Обоснование возможности уменьшения объема служебной информации

Задача определения выхода из строя элементов сети соседних ЦКП (маршрутизаторов) возложена на сообщения HELLO.

Для расчета частоты распространения сообщений HELLO предположим, что поток отказов на средних интервалах времени между возникновением отказов обладает свойствами ординарности и ограниченного последствия, т.е. адекватен модели системы массового обслуживания $M/*/*$. Вероятность возникновения отказа в пределах интервала $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ в $M/*/*$ равна [9, 10]:

$$P_{отк}(t \in (t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})) = 1 - \exp^{-\lambda_{отк} t}, \quad (2)$$

где $\lambda_{отк}$ – интенсивность отказов элементов СПД.

Если задана вероятность отказа для СПД в целом, $P_{отк_{задан}}$ то для интервала $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ возможно регулирование частоты распространения сообщения HELLO, т.е. пока $P_{отк}(t \in (t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})) \leq P_{отк_{задан}}$, можно минимизировать v_{HELLO} .

При достаточно долгом использовании СПД можно предположить, что частота возникновения отказа на интервале $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ будет равномерно возрастать от 0 до 1 [10].

Рассмотрим аналитические выражения, описывающие модель $M/*/*$ в данных условиях. В момент времени $t_{отк_{i-1}}$ будем считать частоту возникновения отказов близкой к нулю, т.е. $P^*(t_{отк_{i-1}}) \cong 0$ (так как отказ уже произошел), а в момент времени $t_{отк_i}$ предположим, что частота возникновения отказов равна частоте возникновения отказов в момент времени $t_{отк_{i-1}} + t_{отк_{ср}}$, т.е.

$$P^*(t_{отк_i}) \approx P^*(t_{отк_{i-1}} + t_{отк_{ср}}).$$

Частота возникновения отказов в момент времени $t_{отк_i}$ равна [9]:

$$P^*(t_{отк_i}) \approx P^*(t_{отк_{i-1}} + t_{отк_{ср}}) = \frac{T_{набл} - k_{пр}}{t_{отк_{ср}}} \cdot \tau, \quad (3)$$

где $T_{набл}$ – интервал времени сбора статистических данных.

Имея значения частоты возникновения отказов на обеих границах интервала $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ и учитывая свойства потока отказов, можно рассчитать значения частоты возникновения отказа на элементарных интервалах времени $\tau = 1$ с внутри интервала $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$.

Геометрический способ расчета частоты возникновения отказа на элементарных интервалах времени представлен на рис. 1.

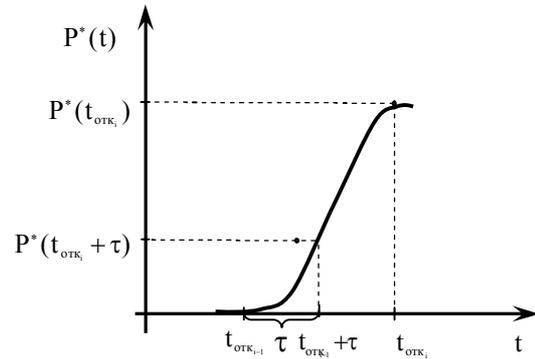


Рис. 1. Расчет частоты возникновения отказа на элементарных интервалах времени

Частота возникновения отказа в момент времени $t_{отк_{i-1}} + s \cdot \tau$ равна

$$P^*(t_{отк_{i-1}} + s \cdot \tau) = \frac{s \cdot \tau \cdot P^*(t_{отк_i})}{t_{отк_i} - t_{отк_{i-1}}}. \quad (4)$$

где s – число элементарных интервалов τ .

Однако, исходя из накопленных статистических данных, можно предположить, что момент наступления следующего отказа равен сумме момента времени наступления текущего отказа и среднего интервала времени возникновения отказа, вычисленного на основе статистических данных, а именно

$$t_{отк_i} = t_{отк_{i-1}} + t_{отк_{ср}}. \quad (7)$$

Тогда, учитывая выражения (4) и (7), получим

$$P^*(t_{отк_{i-1}} + s \cdot \tau) = \frac{s \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{набл} - k_{пр}}{t_{отк_{ср}}} \right)}{t_{отк_{ср}}} =$$

$$= \frac{t_{отк_{cp}} \cdot s \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{набл}}{t_{отк_{cp}}} - k_{np} \right)}{T_{набл}}. \quad (5)$$

В методе маршрутизации, который применяется в протоколе OSPF, обычно частота распространения пакетов сообщения HELLO равна 10 с. Необходимо отметить, что после передачи очередного сообщения HELLO и до передачи следующего маршрутизатор не имеет возможности отслеживать состояние соседних маршрутизаторов и, соответственно, сообщать о своем состоянии, т.е. находится в пассивном состоянии. Частота распространения пакетов сообщения HELLO получена разработчиками маршрутизаторов, ориентированных на использование протокола OSPF, в результате длительного сбора и обработки статистических данных о возникновении отказов элементов сети передачи данных в процессе эксплуатации таких сетей как Internet, ARPANET и др. Однако значение частоты распространения пакетов сообщения HELLO может быть изменено в зависимости от требований предъявляемых к конкретной сети, в результате чего возможно уменьшить объем служебной информации, циркулирующей в СПД.

3. Расчет частоты распространения сообщений HELLO

Исходя из вышеизложенного, разобьем интервал времени между отказами $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ на интервалы по 10 с. Частота события, при котором отказ элемента сети наступит в момент нахождения маршрутизатора в пассивном состоянии, равна

$$P_{cp}^*(0 < s \cdot \tau < T_{HELLO}) = \frac{s \cdot \tau}{T_{HELLO}}, \quad (6)$$

где T_{HELLO} – период распространения пакетов сообщения HELLO.

Число таких интервалов пассивного состояния на интервале $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ будет равно

$$k_{инт.нас} = (t_{отк_i} - t_{отк_{i-1}}) \cdot \nu_{HELLO}. \quad (7)$$

Тогда средняя частота события, при котором отказ элемента сети наступит в момент нахождения маршрутизатора в пассивном состоянии, равна [9]:

$$P_{cp}^*(0 < s \cdot \tau < T_{HELLO}) = \frac{\sum_{k=1}^{k_{инт.нас}} k_{np} \cdot \frac{s \cdot \tau}{T_{HELLO}}}{k_{инт.нас}}. \quad (8)$$

Средняя частота возникновения отказа на интервале нахождения маршрутизатора в пассивном состоянии внутри интервала $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$ равна

$$P_{cp}^* \left[(0 < s \cdot \tau < T_{HELLO}) \in (t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i}) \right] = \frac{\sum_{s=1}^{t_{отк_{cp}}} \frac{t_{отк_{cp}} \cdot s \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{набл}}{t_{отк_{cp}}} - k_{np} \right)}{T_{набл}}}{t_{отк_{cp}}} \times \frac{\sum_{k=1}^{k_{инт.нас}} T_{HELLO}^{-1} \sum_{j=1}^{T_{HELLO}} k_{np} \cdot \frac{s_j \cdot \tau}{T_{HELLO}}}{k_{инт.нас}}. \quad (9)$$

Рассчитанное по формуле (9) значение для разработанного метода можно принять в качестве максимально допустимого значения средней частоты возникновения отказа $P_{доп}^*$ на интервале нахождения маршрутизатора в пассивном состоянии внутри интервала $(t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i})$, т.е. имеет место следующее условие [11]:

$$P_{cp}^* \left[(0 < s \cdot \tau < T_{HELLO}) \in (t_{отк_{i-1}}; t_{отк_i}) \right] \leq P_{доп}^*, \quad (10)$$

или

$$\frac{\sum_{s=1}^{t_{отк_{cp}}} \frac{t_{отк_{cp}} \cdot s \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{набл}}{t_{отк_{cp}}} - k_{np} \right)}{T_{набл}}}{t_{отк_{cp}}} \times \frac{\sum_{k=1}^{k_{инт.нас}} T_{HELLO}^{-1} \sum_{j=1}^{T_{HELLO}} k_{np} \cdot \frac{s_j \cdot \tau}{T_{HELLO}}}{k_{инт.нас}} \leq P_{доп}^*. \quad (11)$$

Учитывая выражения (7) – (9), можно увеличить T_{HELLO} , пока будет выполняться условие (11), существенно уменьшить объем служебной информа-

ции, распространяемой маршрутизатором. Исходя из априорных данных, изложенных в [6], предполагается, что в результате применения разработанного метода маршрутизации служебной информации значение непрерывного интервала времени применения СПД увеличится приблизительно в 1,2 – 1,5 раза.

4. Имитационная модель

Для подтверждения теоретических результатов применения разработанного метода маршрутизации служебной информации для увеличения времени применения СПД АСУ было проведено имитационное моделирование процесса функционирования сегмента СПД в экстремальных условиях [11].

Объектом имитационного статистического моделирования является процесс маршрутизации служебной информации.

Цели имитационного статистического моделирования:

- проверка работоспособности разработанного метода маршрутизации служебной информации;
- разработка рекомендаций по усовершенствованию

ванию СПД систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации в процессе их расширения.

Для проверки работоспособности и определения преимуществ применения разработанного метода маршрутизации служебной информации в СПД необходимо смоделировать нагрузки, которые возникают в сети в экстремальных условиях.

Для этого проводилось моделирование изменений интенсивности входного потока пакетов, расчет усредненных значений интенсивности входного потока пакетов данных и потока отказов ЦКП СПД с использованием статистических данных об изменении интенсивности потока пользовательских данных во время проведения двухдневных опытных испытаний сегмента СКАКО назначения относительно интенсивности потока пользовательских данных при повседневной деятельности.

На основе исходных данных [11], рассчитаем усредненные значения интенсивности входного потока пакетов данных и потока отказов ЦКП СПД при эксплуатации СПД в экстремальных условиях (рис. 2) [9, 11].

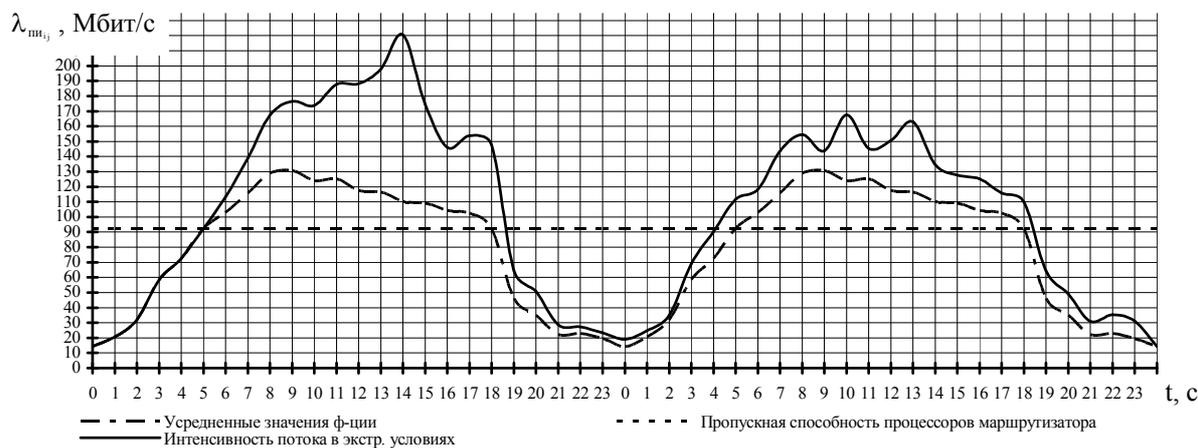


Рис. 2. График изменения интенсивности потока данных СКАКО в экстремальных условиях относительно интенсивности потока при повседневной деятельности

Необходимо отметить, что в ходе моделирования была увеличена интенсивность отказов сетевых устройств. Имитировались полные и частичные выведения из строя ЦКП и каналов связи СПД сегмента СКАКО, поэтому интенсивность возникновения отказов элементов СПД в среднем увеличилась

в 2,3 раза по сравнению с процессом функционирования СПД при повседневной деятельности. Результаты расчетов интенсивности отказов элементов сети передачи данных АСУ критического и двойного назначения в экстремальных условиях представлены на рис. 3.

Используя вышеизложенный материал, в результате расчетов получаем зависимость заполнения буфера маршрутизатора от изменения интенсивности интегрального потока. Результаты расчетов представлены на рис. 4 [9, 11]. Очевидно, что при использовании метода маршрутизации слу-

жебной информации протокола OSPF в момент полной загрузки буфера произойдет отказ маршрутизатора, т.е. пакет данных, поступивший на вход маршрутизатора в данный момент, вследствие отсутствия свободных процессоров и отсутствия свободного места в буфере, будет отвергнут (потерян).

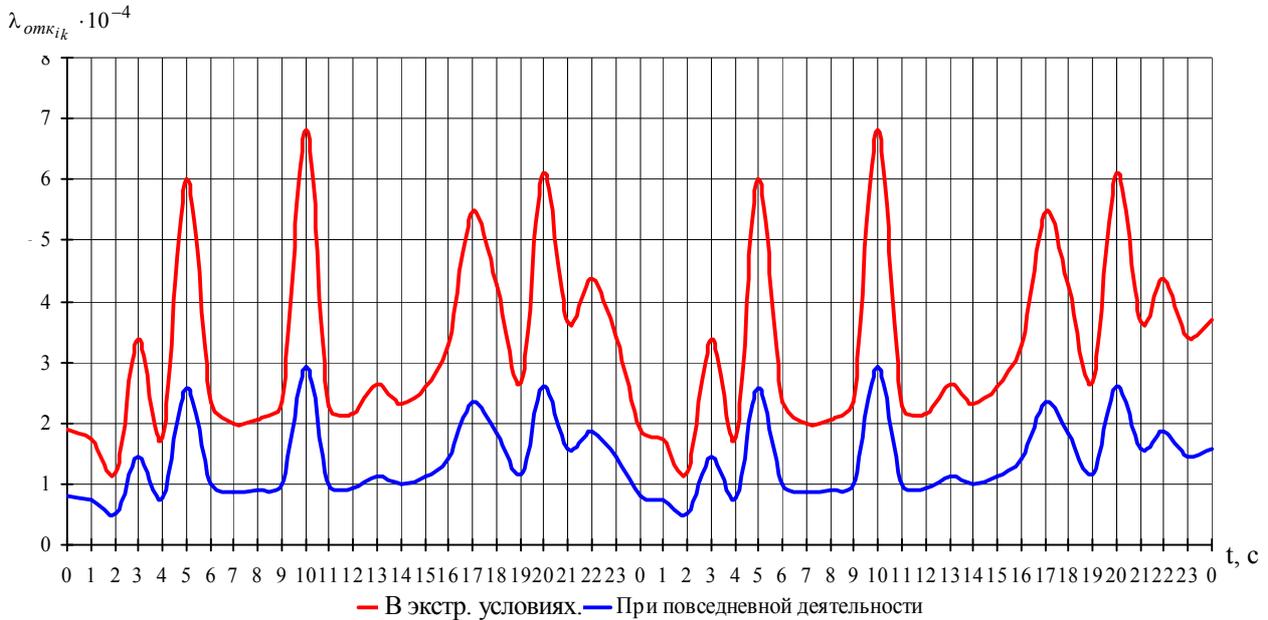


Рис. 3. Интенсивность отказов элементов СПД

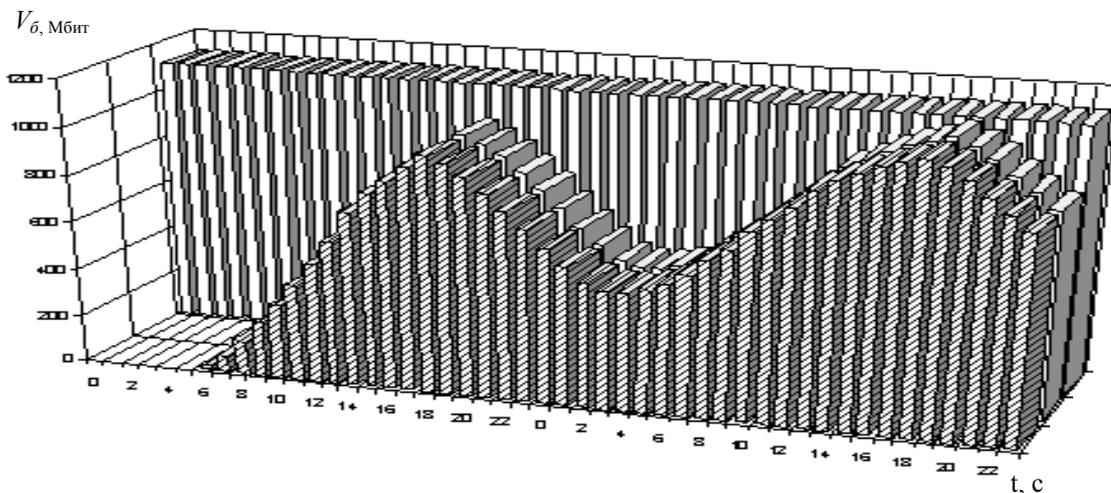


Рис. 4. График заполнения буфера маршрутизатора во время проведения двухдневных испытаний

В моделируемых условиях непрерывный интервал времени применения СПД, в которой использован метод маршрутизации служебной информации, реализованный в протоколе OSPF, будет равен 41 час из наблюдаемых 48 часов. Время применения сети передачи данных, в которой применен разработанный метод маршрутизации служебной ин-

формации, будет равно 48 часам.

Выигрыш, полученный в результате применения разработанного метода маршрутизации служебной информации по сравнению с методом маршрутизации, применяемом в протоколе OSPF, составил 14,6% от общей продолжительности работы сегмента СПД СКАКО в моделируемых условиях.

Необходимо подчеркнуть, что перегрузка маршрутизатора, возникающая при применении метода маршрутизации служебной информации протокола OSPF, является периодической и будет наблюдаться до тех пор, пока интенсивность пользовательской информации не начнет уменьшаться, т.е. в моменты генерации и распространения сообщений HELLO, обновляющих сообщений и сообщений о возникновении отказов поступающие на вход маршрутизатора пакеты будут отвергаться.

Выводы

Разработанный метод маршрутизации служебной информации позволяет:

- 1) определять для СПД систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской СКАКО рациональную частоту распространения служебной информации;
- 2) уменьшить объем служебной информации, циркулирующей в СПД систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской СКАКО, на 15 – 20%;
- 3) увеличить непрерывный интервал времени использования СПД систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации приблизительно в 1,2 – 1,5 раза в условиях скачкообразного изменения интенсивности интегральных потоков и большого числа отказов элементов сети по сравнению с методом, реализованным в протоколе OSPF.

Разработанный метод маршрутизации служебной информации может быть использован при создании новых и совершенствовании находящихся на эксплуатации СПД систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов гражданской авиации в процессе их расширения, а также для разработки более рационального метода маршрутизации пользовательской информации.

Литература

1. Система космического навигационного обеспечения Украины // Пояснительная записка эскизного проекта по теме «Навигация». АФКЕ.461513.010. – Х.: НИИРИ, 2000. – 264 с.
2. Система навигационного обеспечения и единого времени // Пояснительная записка аванпроекта по теме «Навигация». – АФКЕ. 461513.005. – Х.: НИИРИ, 1998. – 260 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – С.-Пб.: Питер, 2001. – 672 с.
4. Бэкман Д. Системы обмена сообщениями на новом витке развития // Сети и системы связи. – 1999. – № 2. – С. 50 – 60.
5. Галлагер Р.Д., Бертсекас Д. Сети передачи данных: Пер. с англ. / Под ред. Б.С. Цыбакова. – М., 1989. – 544 с.
6. Зайченко Ю.П. Комп'ютерні мережі. – К.: Слово, 2003. – 283 с.
7. Клещев Н.Т. Телекоммуникации. Мир и Россия. Состояние и тенденции развития. – М.: Радио и связь, 1999. – 480 с.
8. Королёв А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. Управление сетевыми ресурсами. – Х.: ХВУ. – 2004. – 272 с.
9. Болюбаш А.А. Характеристики процесса перегрузок маршрутизатора // Вестник НТУ „ХПИ”. – Х.: НТУ „ХПИ”. – 2003. – Вип. 26. – С. 141 – 146.
10. Медиченко М.П. Основы теории систем и управления. – Х.: ХВВКУ, 1981. – 112 с.
11. Явтушенко А.Н., Болюбаш А.А., Соболев М.А. Расчет усредненных значений интенсивности потока пользовательской информации // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 3. – С. 227 – 232.

Поступила в редакцию 5.01.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил, Харьков.