

УДК 621.396

Н.В. РВАЧЕВА

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Украина***АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ИНФОРМАЦИОННОГО СООБЩЕНИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

В работе предлагается аналитическая модель процесса доставки информационного сообщения в сети радиосвязи. В результате исследований получены выражения, отражающие зависимость среднего времени доставки информационного сообщения от среднего времени его передачи с учетом особенностей отправки данных в сетях радиосвязи. Данная модель используется для определения интервала допустимых значений среднего времени передачи сообщения. Доказано, что в сетях радиосвязи предъявляются более жесткие требования к длительности передачи информационных сообщений, чем в проводных телекоммуникационных сетях.

Ключевые слова: информационное сообщение, среднее время доставки сообщения, аналитическая модель, разрыв соединения, установление соединения.

Обоснование актуальности исследований и анализ литературы

На современном этапе развития телекоммуникаций широкое применение нашли сети радиосвязи различного типа и назначения [1, 2]. Они предоставляют абонентам возможность перемещения в пределах определенной зоны обслуживания базовой станции и обмена информацией без использования дополнительных соединительных линий. Типы услуг, предоставляемых системами радиосвязи, не отличаются от услуг проводных телекоммуникационных сетей. Эти сети должны поддерживать все современные приложения сетей электросвязи, а также протоколы сетевого и транспортного уровней [3–5]. Доступ в Интернет, передача файлов, текстовой информации представляют собой трафик данных. Для обеспечения заданного качества доставки информации в беспроводных сетях связи процесс передачи сообщений должен включать следующие основные этапы [6–9]:

- 1) установление виртуального соединения между источником сообщения и адресатом;
- 2) передача сообщения от источника к адресату;
- 3) закрытие виртуального соединения.

В беспроводных сетях основная причина преждевременного разрыва соединения обусловлена нестабильными характеристиками радиоканала, вследствие воздействия помех, из-за нахождения в зоне неуверенного приема, из-за мобильности абонентов. При перемещении из зоны обслуживания одной базовой станции к другой часто происходит разрыв соединения и установление нового. При этом передача одного сообщения может быть прервана и на-

чата заново или по частям. Разрыв соединения и установление нового может занимать недопустимое время, в результате чего теряется информационная ценность передаваемых данных. Следовательно, среднее время передачи сообщения от источника к адресату t_0 не должно превышать некоторого максимального значения t_{\max} . Для обоснования величины t_{\max} необходимо определить зависимость среднего времени доставки сообщения в радиосети от значения t_0 .

Для исследования и оценки характеристик функционирования телекоммуникационных сетей используется математическое моделирование. Однако, в литературе недостаточно внимания уделено вопросам создания аналитических моделей, описывающих особенности доставки данных в сетях радиосвязи, поэтому разработка аналитической модели процесса доставки информационного сообщения в такой сети является актуальной научной задачей [9–11].

**Цель статьи
и постановка научной задачи**

Целью научного исследования является обеспечение достоверной оценки среднего времени доставки сообщения в радиосети.

Сообщение может быть доставлено полностью с первой попытки, а может быть доставлено по частям.

Предположим, что если не удалось передать сообщение полностью с первой попытки, то среднее время передачи части сообщения – это значение, кратное отношению среднего времени передачи со-

общения к максимальному количеству попыток, необходимых для его доставки.

Для оценки среднего времени доставки сообщения в радиосети необходимо обосновать зависимость этой величины от среднего времени передачи сообщения, при заданном максимальном количестве попыток, необходимых для его доставки.

Постановка задачи

Исходные данные:

- 1) t_0 – среднее время передачи сообщения;
- 2) n – максимальное количество попыток, необходимых для доставки сообщения;
- 3) t_0 – среднее время установления виртуального соединения;
- 4) t_0 – среднее время завершения виртуального соединения;

5) множество $\{p_{ni}\}$, где p_{ni} – вероятность преждевременного разрыва соединения после передачи $\frac{i}{n}$ части сообщения.

Необходимо: обосновать аналитические выражения, отражающие зависимость $T_n = f(t_0)$, где T_n – среднее время доставки сообщения в радиосети при заданном n .

Ограничения:

- 1) при осуществлении любой попытки доставить сообщение, вероятность преждевременного

разрыва виртуального соединения не может превышать 0,5, т.е для любых значений n и i должно выполняться условие: $p_{ni} \leq 0,5$;

2) вероятность преждевременного разрыва виртуального соединения после четырех попыток передать сообщение не превысит $0,5^{0,5} = 0,03125$ (исходя из предыдущего ограничения), поэтому для доставки сообщения полностью максимальное количество попыток установки виртуального соединения ограничится интервалом $1 < n \leq 4$.

Допущение: если не удалось передать сообщение полностью с первой попытки, то оно может быть доставлено частями, причем среднее время передачи части сообщения кратно $\frac{t_0}{n}$.

Разработка аналитической модели

Для решения поставленной задачи необходимо разработать аналитическую модель процесса доставки сообщения в радиосети.

Вероятностно-временной граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 2$, представлен на рис.1.

Вершина «Нач» этого графа отвечает началу доставки сообщения. В этом состоянии начинается процедура установления виртуального соединения между отправителем и адресатом сообщения, которая длится в течение среднего времени $t_{y/}$.

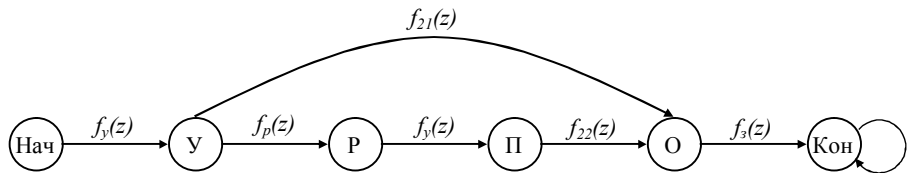


Рис. 1. Граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 2$

Вершиной «У» моделируется состояние процесса, в котором виртуальное соединение установилось. Вероятность перехода из вершины «Нач» к вершине «У» равна 1. Поэтому функция ребра, отвечающая этому переходу, равна:

$$f_y(z) = z^{t_0}, \tag{1}$$

где z - параметр функции ребра.

Из вершины «У» может произойти один из двух переходов. Переход от вершины «У» в вершине «Р» произойдет, если в процессе доставки сообщения виртуальное соединение было разорвано. Вероятность этого перехода равна δ_{21} , его длительность определяется как $\frac{t_0}{2}$, т.е. среднему времени передачи половины сообщения (в соответствии с

принятыми ограничениями). Функцию ребра, отвечающую этому переходу можно представить в виде:

$$f_\delta(z) = p_{21} z^{\frac{t_0}{2}}. \tag{2}$$

Второй переход произойдет в том случае, если сообщение будет передано полностью с первой попытки. Это отвечает переходу от вершины «У» к вершине «О» (передача сообщения окончена). Функция соответствующего ребра графа определяется выражением:

$$f_{21}(z) = (1 - p_{21}) z^{t_0}. \tag{3}$$

После преждевременного разрыва виртуального соединения, его необходимо установить повторно. Данное действие соответствует переходу от вершины «Р» к вершине «П» (соединение повторно установлено). Вероятность такого перехода равна 1,

а его длительность – среднему времени установления виртуального соединения t_0 .

Переход от вершины графа «П» к вершине «О» соответствует передаче второй части информационного сообщения, которая длится в течение времени $t_0 / 2$. Вероятность такого перехода равна 1. Функция соответствующего ребра задается аналитическим выражением:

$$f_{22}(z) = z^{\frac{t_0}{2}}. \tag{4}$$

После успешной передачи сообщения получателю, осуществляется закрытие виртуального соединения, что соответствует переходу от вершины «О» к вершине «Кон» (конечное состояние исследуемого процесса). Закрытие виртуального соединения длится в течение времени t_c . Функция ребра, отвечающего данному переходу, задается таким аналитическим выражением:

$$f_c(z) = z^{t_c}. \tag{5}$$

После осуществления эквивалентных преобразований, граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 2$, будет иметь более простой вид (рис.2).

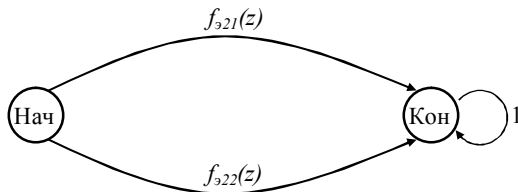


Рис. 2. Граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 2$ после эквивалентных преобразований

Функции ребер графа, представленного на рис.2, определяются с помощью выражений:

$$f_{y21}(z) = f_0(z)f_{21}(z)f_c(z), \tag{6}$$

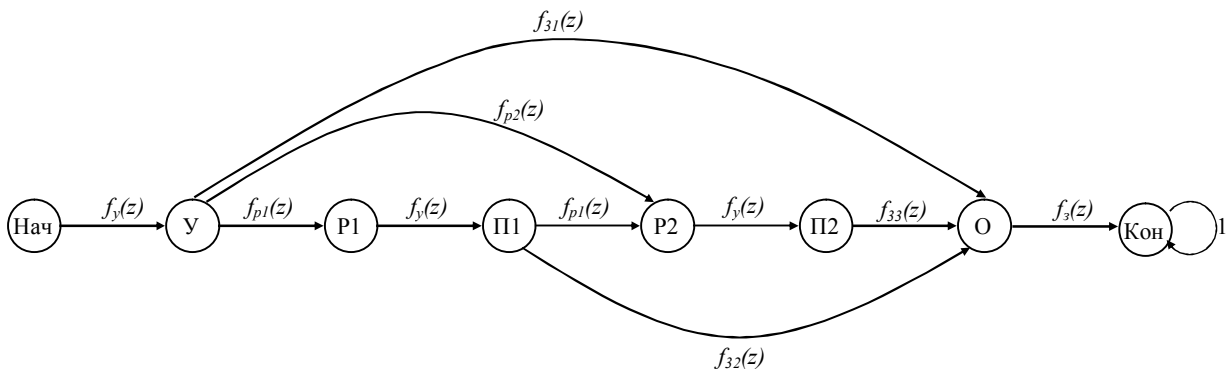


Рис.4. Граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 3$

$$f_{y22}(z) = f_0^2(z)f_0(z)f_{22}(z)f_c(z). \tag{7}$$

Простейший вид графа после преобразования представлен на рис.3.

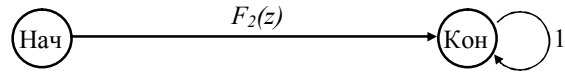


Рис. 3. Простейший граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 2$

Функцию $F_2(z)$ можно определить с помощью формулы:

$$F_2(z) = f_{y21}(z) + f_{y22}(z). \tag{8}$$

Среднее время доставки сообщения в радиосети при $n = 2$ определяется с использованием выражения:

$$T_2 = \left. \frac{dF_2(z)}{dz} \right|_{z=1}. \tag{9}$$

При $n = 3$ процесс доставки информационного сообщения в радиосети можно представить в виде вероятностно-временного графа (рис.4).

Вершины этого графа отвечают таким состояниям исследуемого процесса:

«Р1» – преждевременный разрыв виртуального соединения после передачи $\frac{1}{3}$ части сообщения;

«П1» – повторное установление виртуального соединения после преждевременного разрыва и доставки $\frac{1}{3}$ части сообщения;

«Р2» – преждевременный разрыв виртуального соединения после передачи $\frac{2}{3}$ части сообщения;

«П2» – повторное установление виртуального соединения после преждевременного разрыва и доставки $\frac{2}{3}$ части сообщения.

Значения вершин «Нач», «У», «О» и «Кон» соответствуют состояниям аналогичных вершин графа на рис. 1.

Функции ребер графа (рис. 4), которые отвечают переходам из одного состояния в другое, определяются такими выражениями:

$$f_{31}(z) = (1 - p_{31} - p_{32})z^{t_0}, \quad (10)$$

$$f_{\delta}(z) = p_{31}z^2, \quad (11)$$

$$f_{\delta 2}(z) = p_{32}z^3, \quad (12)$$

$$f_{32}(z) = (1 - p_{31})z^3, \quad (13)$$

$$f_{33}(z) = z^3. \quad (14)$$

После осуществления эквивалентных преобразований, граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 3$, будет иметь более простой вид (рис.5).

Функции ребер графа, представленного на рис. 5, определяются с помощью выражений:

$$f_{y31}(z) = f_{\delta}(z)f_{31}(z)f_{\zeta}(z), \quad (15)$$

$$f_{y32}(z) = f_{\delta}^2(z)f_{\delta 2}(z)f_{33}(z)f_{\zeta}(z), \quad (16)$$

$$f_{y33}(z) = f_{\delta}^3(z)f_{\delta 1}^2(z)f_{33}(z)f_{\zeta}(z), \quad (17)$$

$$f_{y34}(z) = f_{\delta}^2(z)f_{\delta 1}(z)f_{32}(z)f_{\zeta}(z). \quad (18)$$

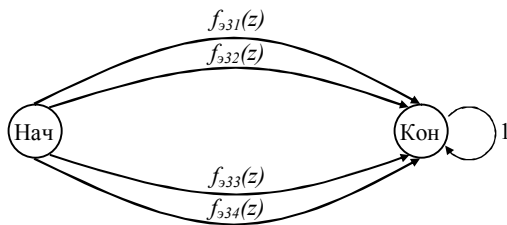


Рис. 5. Граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 3$ после эквивалентных преобразований

Проведение дальнейших преобразований приведет к графу представленному на рис.6.

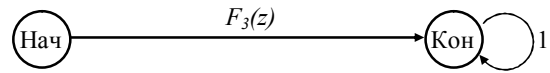


Рис.6. Простейший граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 3$

Функцию $F_3(z)$ можно определить с помощью формулы:

$$F_2(z) = f_{y31}(z) + f_{y32}(z) + f_{y33}(z) + f_{y34}(z). \quad (19)$$

Среднее время доставки сообщения в радиосети при $n = 3$ определяется с использованием выражения:

$$T_3 = \left. \frac{dF_3(z)}{dz} \right|_{z=1}. \quad (20)$$

При $n = 4$ процесс доставки информационного сообщения в радиосети можно представить в виде вероятностно-временного графа (рис. 7).

Вершины этого графа отвечают таким состояниям исследуемого процесса:

«РЗ» – преждевременный разрыв виртуального соединения после передачи $\frac{3}{4}$ части сообщения;

«ПЗ» – повторное установление виртуального соединения после преждевременного разрыва и доставки $\frac{3}{4}$ части сообщения.

Значения остальных вершин графа соответствуют состояниям вершин графа, изображенного на рис. 4.

Функции ребер графа (рис. 7), которые отвечают переходам из одного состояния в другое, определяются такими выражениями:

$$f_{41}(z) = (1 - p_{41} - p_{42} - p_{43})z^{t_0}, \quad (21)$$

$$f_{\delta 1}(z) = p_{41}z^4, \quad (22)$$

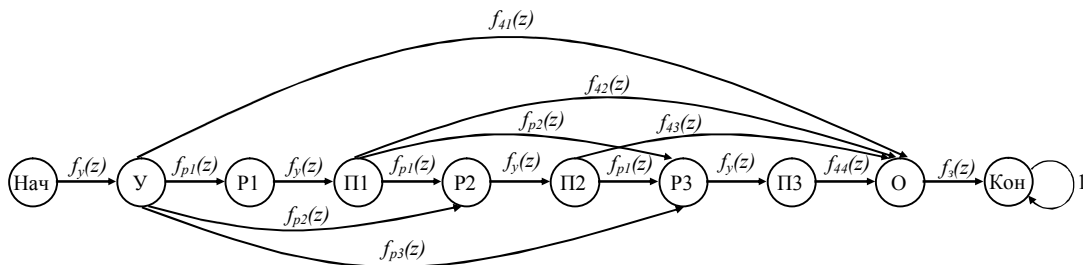


Рис. 7. Граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 4$

$$f_{\delta 2}(z) = p_{42} z^2, \quad (23)$$

$$f_{\delta 3}(z) = p_{43} z^4, \quad (24)$$

$$f_{42}(z) = (1 - p_{41} - p_{42}) z^4, \quad (25)$$

$$f_{43}(z) = (1 - p_{41}) z^2, \quad (26)$$

$$f_{44}(z) = z^4. \quad (27)$$

После осуществления эквивалентных преобразований, граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 4$, будет иметь более простой вид (рис. 8).

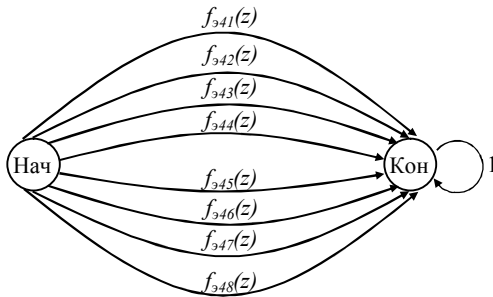


Рис. 8. Граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 4$ после эквивалентных преобразований

Функции ребер графа, представленного на рис.8, определяются с помощью выражений:

$$f_{\delta 41}(z) = f_{\delta}(z) f_{41}(z) f_{\zeta}(z), \quad (28)$$

$$f_{\delta 42}(z) = f_{\delta}^2(z) f_{\delta 1}(z) f_{42}(z) f_{\zeta}(z), \quad (29)$$

$$f_{\delta 43}(z) = f_{\delta}^3(z) f_{\delta 1}(z) f_{\delta 2}(z) f_{44}(z) f_{\zeta}(z), \quad (30)$$

$$f_{\delta 44}(z) = f_{\delta}^3(z) f_{\delta 1}^2(z) f_{43}(z) f_{\zeta}(z), \quad (31)$$

$$f_{\delta 45}(z) = f_{\delta}^4(z) f_{\delta 1}^3(z) f_{44}(z) f_{\zeta}(z), \quad (32)$$

$$f_{\delta 46}(z) = f_{\delta}^2(z) f_{\delta 2}(z) f_{43}(z) f_{\zeta}(z), \quad (33)$$

$$f_{\delta 47}(z) = f_{\delta}^3(z) f_{\delta 2}(z) f_{\delta 1}(z) f_{44}(z) f_{\zeta}(z), \quad (34)$$

$$f_{\delta 48}(z) = f_{\delta}^2(z) f_{\delta 3}(z) f_{44}(z) f_{\zeta}(z). \quad (35)$$

Проведение дальнейших преобразований приводит к графу представленному на рис. 9.

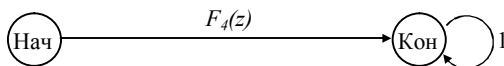


Рис. 9. Простейший граф, описывающий процесс доставки информационного сообщения в радиосети при $n = 4$

Функцию $F_4(z)$ можно определить с помощью формулы:

$$F_4(z) = f_{\delta 41}(z) + f_{\delta 42}(z) + f_{\delta 43}(z) + f_{\delta 44}(z) + f_{\delta 45}(z) + f_{\delta 46}(z) + f_{\delta 47}(z) + f_{\delta 48}(z). \quad (36)$$

Среднее время доставки сообщения в радиосети при $n = 4$ определяется с использованием выражения:

$$T_4 = \left. \frac{dF_4(z)}{dz} \right|_{z=1}. \quad (37)$$

В результате разработки аналитической модели были получены выражения, отражающие зависимость $T_n = f(t_c)$.

С помощью формул (1) – (9) можно вычислить среднее время доставки сообщения в радиосети при $n = 2$, выражения (10) – (20) могут быть использованы для расчета значения T_3 , выражения (21) – (37) – для определения T_4 .

Результаты применения разработанной модели при обосновании требований к значению среднего времени передачи сообщения в радиосети

Допустим, что сообщение будет доставлено своевременно, если среднее время его доставки T_n не будет превышать заданного значения T_{max} , т.е. критерием своевременной доставки сообщения является выполнение условия:

$$T_n \leq T_{max}. \quad (38)$$

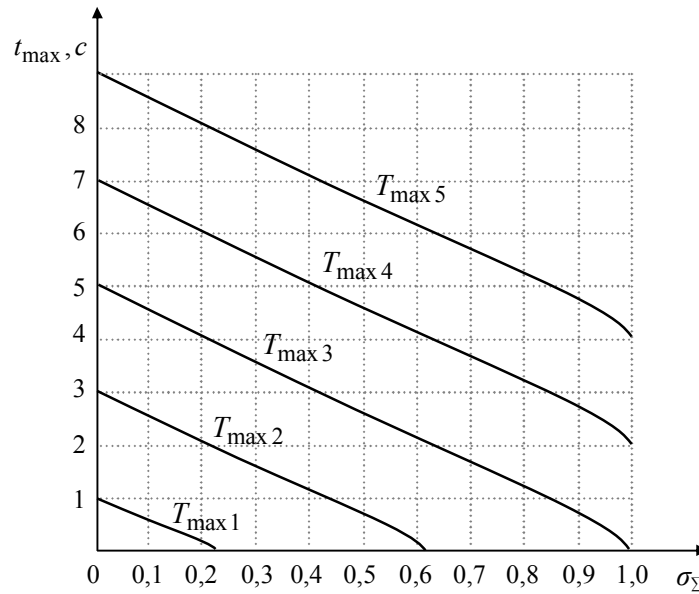
Максимальное значение среднего времени передачи сообщения t_{max} , при котором будет выполняться условие (38), можно определить с помощью выражений (1) – (37).

Для заданных значений t_0 , n , t_{δ} , t_{ζ} и $\{p_{ni}\}$, представленных в табл. 1 и 2, рассчитаны значения t_{max} .

По результатам этих расчетов для разных значений T_{max} построено семейство кривых (рис. 10), которое отвечает зависимости $t_{max} = f(\sigma_{\Sigma})$, где σ_{Σ} – сумма вероятностей преждевременного разрыва виртуального соединения:

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} p_{ni}. \quad (39)$$

Графики на рис.10 могут быть использованы для определения интервала допустимых значений параметра t_0 при заданном значении максимально допустимого времени доставки сообщения T_{max} .

Рис. 10. Графіки залежності $t_{\max} = f(\sigma_S)$ при різних значеннях T_{\max}

Таблиця 1

Значення величин

 $n, t_0, t_{\zeta}, T_{\max 1}, T_{\max 2}, T_{\max 3}, T_{\max 4}$ и $T_{\max 5}$

Параметр	Значення	Параметр	Значення
n	3	$T_{\max 2}$	9 с
t_0	4 с	$T_{\max 3}$	11 с
t_{ζ}	2 с	$T_{\max 4}$	13 с
$T_{\max 1}$	7 с	$T_{\max 5}$	15 с

Таблиця 2

Значення величин P_{31}, P_{32} и P_{Σ}

P_{31}	P_{32}	σ_S	P_{31}	P_{32}	σ_S
0,07	0,03	0,1	0,35	0,25	0,6
0,15	0,05	0,2	0,4	0,3	0,7
0,22	0,08	0,3	0,42	0,38	0,8
0,27	0,13	0,4	0,45	0,45	0,9
0,32	0,18	0,5	0,5	0,5	1,0

Наприклад, при $T_{\max 1} = 10$ с и $P_{\Sigma} = 0,2$ повідомлення буде доставлено своєчасно, якщо середнє время его передачі не буде перевищувати значення $t_{\max} = 3,11$ с, т.е. буде знаходитися в межах $0 < t_0 < 3,11$ (с).

Аналіз графіків, представлених на рис.10, показав, що чим більше значення ймовірності преждевременного розриву з'єднання $\{p_{ni}\}$, тем менше повинна бути величина t_{\max} . Слідовательно, в мережах радіосвязи пред'являються більш жорсткі вимоги до тривалості передачі інформаційних повідомлень, чим в провідних телекомунікаційних мережах.

Выводы

В результаті наукового дослідження розроблена аналітична модель процесу доставки інформаційного повідомлення в мережі радіосвязи. Для отримання адекватних результатів використовувався математичний апарат ймовірно-часових графів.

Вперше отримані вираження, що відображають залежність середнього часу доставки інформаційного повідомлення від середнього часу його передачі з урахуванням особливостей передачі даних в мережах радіосвязи.

Предложенную модель можно использовать для обоснования требований к значениям среднего времени передачи сообщения в радиосети при заданном максимальном значении среднего времени его доставки.

В результаті розрахунків, здійснених на основі розробленої моделі, доведено, що в мережах радіосвязи пред'являються більш жорсткі вимоги до тривалості передачі інформаційних повідомлень, чим в мережах в провідних телекомунікаційних мережах.

Литература

1. Коначович Г.Ф. *Сети передачи пакетных данных* / Г.Ф. Коначович, В.М. Чуприн – К.: «МК-Пресс», 2007. – 272 с.
2. Комашинский В.И. *Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации. Основы моделирования* / В.И. Комашинский, А.В. Максимов – М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. – 173 с.

3. Шаров А.Н. Сети радиосвязи с пакетной передачей информации / А.Н. Шаров, В.А. Степанец, В.И. Комашинский; под ред. А.Н. Шарова. – СПб.: ВАС, 1994. – 216 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
5. Таненбаум Э. Компьютерные сети.: Пер. с англ. / Э. Таненбаум – СПб.: Питер, 2002. – 848 с.
6. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский – М.: Эко-Трендз, 2003. – 384 с.
7. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ / М. Шварц Ч.1: Пер. с англ. – М.: Наука, 1992. – 336 с.
8. Лосев Ю.И. Основы теории передачи данных / Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников – Х.: Из-во ВИРТА им. Говорова, 1992. – 655 с.
9. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
10. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
11. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В.Поповський, С.О.Сабурова, В.Ф.Олійник, Ю.І.Лосєв, Д.В.Агєєв та ін.: За ред. В.В.Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

Поступила в редакцію 20.01.2010

Рецензент: д.т.н., проф. А.Л. Ляхов, зав. кафедрой компьютерных информационных технологий и систем Полтавского Национального технического университета, Полтава, Украина.

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ У БЕЗДРОТОВІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

Н.В. Рвачова

В роботі запропоновано аналітичну модель процесу доставки інформаційного повідомлення в мережі радіозв'язку. В результаті досліджень отримані вирази, які показують залежність середнього часу доставки інформаційного повідомлення від середнього часу його передачі з урахуванням особливостей відправки даних в мережах радіозв'язку. Дана модель використана для визначення інтервалу допустимих значень середнього часу передачі повідомлення. Доведено, що в мережах радіозв'язку пред'являються більш жорсткі вимоги до тривалості передачі інформаційних повідомлень, ніж у дротових телекомунікаційних мережах.

Ключові слова: інформаційне повідомлення, середній час доставки повідомлення, аналітична модель, розрив з'єднання, встановлення з'єднання.

MATHEMATICAL MODEL OF DATA DELIVERY ON WIRELESS TELECOMMUNICATION NETWORK

N.V. Rvachova

It is suggested analytical process model delivery data message on a wireless telecommunications network. It is proposed formula reflecting relation mean time delivered data message from mean transmission time taking into account to features of sending data in the radio net. This model is used for definition limit legitimate values mean transmission time message. It is proved, that a more severe requirement to length data message transmission should be made to radionets, than in wireline telecommunications networks.

Key words: data message, mean time delivered message, analytical model, connection release, making a connection.

Рвачова Наталя Владимировна – старший преподаватель Военного института телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Полтава, Украина.