

---

УДК 004.75

С. И. Шматков

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков*

## **МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ ИЗ ПРИНЯТЫХ КАДРОВ ПРИ МУЛЬТИМАРШРУТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ**

*В статье разработаны модели одного из основных этапов процесса обмена сообщениями в мультимаршрутных компьютерных сетях – формирования сообщений из принятых кадров. Модели построены на основе использования вероятностно-временных графов и аппарата производящих функций. В качестве средств формального представления используются структуры семантико-числовой спецификации. Разработанные модели позволяют обоснованно выбирать наиболее эффективный вариант формирования сообщений из принятых кадров при мультимаршрутной передаче.*

**Ключевые слова:** компьютерные сети, мультимаршрутная передача, вероятностно-временные графы, семантико-числовая спецификация.

### **Актуальность статьи**

Одним из путей решения проблемы обеспечения доставки в компьютерных сетях сообщения за требуемое время с заданным качеством является организация обмена информацией на основе моделей мультимаршрутной передачи данных. Использование этого принципа дает возможность адаптации к изменяющимся условиям обработки и передачи, динамической реконфигурации сети и распреде-

лению трафика с целью повышения эффективности использования имеющихся ресурсов.

В [1] было показано, что для организации передачи данных в системе с мультимаршрутной передачей необходимо решить следующие задачи: разбить сообщения на кадры, распределить кадры по каналам, восстановить потерянные и искаженные кадры (сообщения), сформировать сообщения из принятых кадров. Данная статья посвящена решению последней из указанных задач.

### Результаты исследования

Для формирования сообщения из принятых кадров на передающей стороне каждому сообщению и кадру должны быть присвоены определенные признаки. Такими признаками могут быть номера сообщений и кадров, отсутствие обнаруженных ошибок в сообщении, собранном из кадров, и др. Процесс сборки сообщения может производиться в порядке поступления кадров или после приема всех кадров данного сообщения. При сборке сообщения полагается, что в принятых кадрах ошибок не обнаружено.

Проведем анализ указанных способов сборки.

Как показано в [2], при разработке математических моделей, описывающих последовательно выполняемые операции, плодотворным является подход, основанный на вероятностно-временных графах (ВВГ) и аппарате производящих функций. В этом случае в результате последовательного выполнения этапов вероятности перемножаются, а время их выполнения суммируется. Следовательно, при разработке модели информационного обмена при мультимаршрутной передаче можно использовать ВВГ, в которых дуга, характеризующая процесс передачи одного кадра, учитывает как время, так и вероятность выполнения операции. Дуги, учитывающие процесс передачи отдельных кадров, характеризуются только вероятностью выполнения этапа.

Полагаем, что все кадры пронумерованы. Номер включает номер кадра  $i$  и номер сообщения  $j(n_{i,j})$ . Нумерация осуществляется обычно с использованием какого-либо модуля. Поэтому номера  $i$  и  $j$  имеют ограничения  $1 \leq i \leq \gamma_1, 1 \leq j \leq \gamma_2$ . Эти ограничения определяются принятым модулем. Часто используется модуль 7.

Рассмотрим первый способ сборки, при котором сборка начинается после приема кадра из короткого канала (время  $T_{кор}$ ). Допустим, что из короткого канала принят кадр  $n_{i,j}$ . При приеме кадра следующего канала  $n_{i+1,j}$  происходит сравнение номеров принятых кадров. Если номера принятых кадров не соответствуют принятому порядку нумерации (вероятность  $1 - P_{пр}$ ), то это свидетельствует о том, что произошел сбой. В этом случае все сообщение стирается, и по всем каналам необходимо организовать процедуру его повторения. Если номера принятых кадров соответствуют принятому порядку их нумерации (вероятность  $P_{пр}$ ), то из принятых кадров формируется сообщение.

Аналогичное сравнение номеров сообщений и кадров осуществляется при приеме 3-го, 4-го и т.д. кадров. Принятые кадры по времени сдвинуты на определенный интервал. Обозначим интервал между приемом  $k$ -го и  $k+1$ -го кадров  $T_i$ ; время на повторение кадра  $T_{пер}$ . После  $\mu$  попыток сборки сообщения вырабатывается сигнал о неисправности канала.

В этом случае ВВГ, характеризующий процесс сборки, будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Для формализованного представления вероятностно-временного графа, как показано в [3], целесообразно использовать структуры семантико-числовой спецификации (СЧС). При формальной семантико-числовой спецификации вероятностно-временной граф может быть представлен в формате Сопряженно-Внешних Множеств (СВМ) с помощью двух структур данных: Базовой структуры состояний ВГ и Структуры связей состояний СГ.

Тогда, СЧС, соответствующая ВВГ, изображенному на рис. 1, приведена в табл. 1, 2.

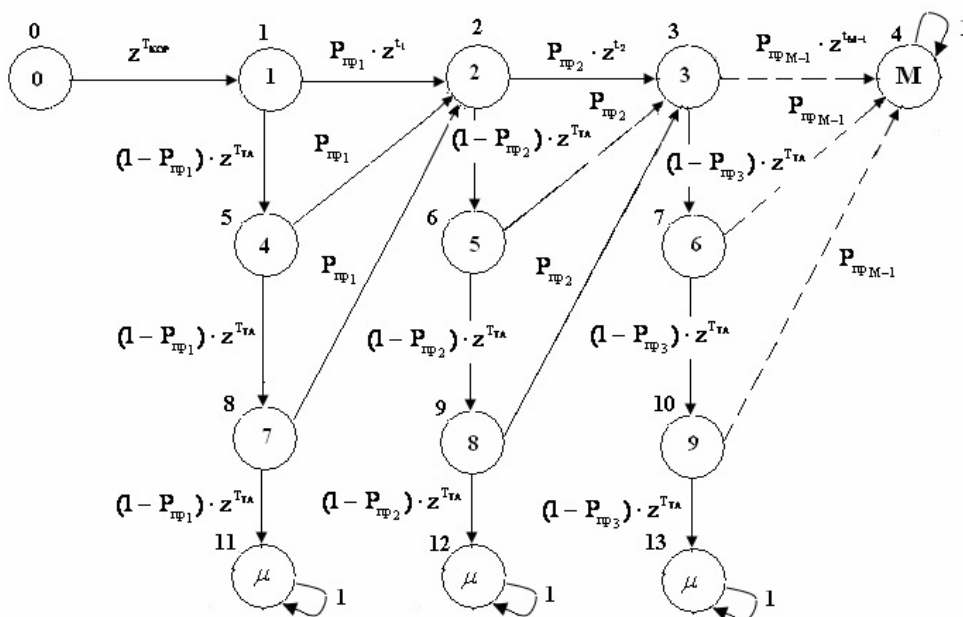


Рис. 1. Модель процесса сборки сообщения

Таблица 1

Базовая структура (BF) ВВГ процесса сборки сообщения

N	ТYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	-1	0	0	1	0
1	0	0	1	1	2	1
2	0	1	3	3	2	2
3	0	4	3	5	2	3
4	0	7	4	7	1	M
5	0	11	1	8	2	4
6	0	12	1	10	2	5
7	0	13	1	12	2	6
8	0	14	1	14	2	7
9	0	15	1	16	2	8
10	0	16	1	18	2	9
11	2	17	2	20	1	μ
12	2	19	2	21	1	μ
13	2	21	2	22	1	μ

Этот граф путем эквивалентных преобразований приводится к виду (рис. 2, а). На этом рисунке обозначено

$$f_{\Xi_i}(z) = P_{pp} \cdot z^{t_i} \cdot \frac{1 - (1 - P_{pp_i})^{\mu+1} \cdot z^{(\mu+1)T_{TA}}}{1 - (1 - P_{pp_i}) \cdot z^{T_{TA}}};$$

$$\varphi_{\Xi_i}(z) = \left[ (1 - P_{pp_i}) \cdot z^{T_{TA}} \right]^{\mu}.$$

Граф, изображенный на рис. 2, а, приведен к виду, представленному на рис. 2, б. На рис. 2, б:

$$F_1(z) = \prod_{i=1}^M f_{\Xi_i}(z);$$

$$F_2(z) = \left[ \varphi_{\Xi_i}^{(2)} + \sum_{j=2}^{M-1} \varphi_{\Xi_i}^{(j)} \cdot \prod_{i=1}^{j-1} f_{\Xi_i}^{(2)} \right] \cdot z^{T_{КОР}}.$$

Аналогичные преобразования могут быть проведены автоматически с помощью метода, приведенного в [1]. Тогда СЧС, соответствующая преобразованному ВВГ, будет иметь вид табл. 3, 4.

Исходя из рассмотренных структур, можно провести следующие вычисления. Производящая функция равна

$$F(z) = (F_1(z) + F_2(z)) \cdot z^{T_{КОР}}.$$

Среднее время сборки определяется по формуле [1]:

$$T_{cp} = \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1}.$$

Таблица 2

Структура связей (CF) ВВГ процесса сборки сообщения

NN	SJD	SPJD	PSJD	TSJD	JWD	WPJD	PWJD	TWJD
0	-1	0	1	Z <sup>1кор</sup>	-1	1	1	Z <sup>1кор</sup>
1	2	1	P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1</sup>	2	2	P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1</sup>
2	3	5	P <sub>pp1</sub>	0	-1	5	1 - P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1ra</sup>
3	-1	8	P <sub>pp1</sub>	0	4	3	P <sub>pp2</sub>	Z <sup>2</sup>
4	5	2	P <sub>pp2</sub>	Z <sup>2</sup>	-1	6	1 - P <sub>pp2</sub>	Z <sup>1ra</sup>
5	6	6	P <sub>pp2</sub>	0	6	4	P <sub>ppM-1</sub>	Z <sup>m-1</sup>
6	-1	9	P <sub>pp2</sub>	0	-1	7	1 - P <sub>ppM</sub>	Z <sup>1ra</sup>
7	8	3	P <sub>ppM-1</sub>	Z <sup>m-1</sup>	-1	4	1	0
8	9	4	1	0	9	2	P <sub>pp1</sub>	0
9	10	7	P <sub>ppM-1</sub>	0	-1	8	1 - P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1ra</sup>
10	-1	10	P <sub>ppM-1</sub>	0	11	3	P <sub>pp2</sub>	0
11	-1	1	1 - P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1ra</sup>	-1	9	1 - P <sub>pp2</sub>	Z <sup>1ra</sup>
12	-1	2	1 - P <sub>pp2</sub>	Z <sup>1ra</sup>	13	4	P <sub>ppM-1</sub>	0
13	-1	3	1 - P <sub>pp3</sub>	Z <sup>1ra</sup>	-1	10	1 - P <sub>pp3</sub>	Z <sup>1ra</sup>
14	-1	5	1 - P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1ra</sup>	15	2	P <sub>pp1</sub>	0
15	-1	6	1 - P <sub>pp2</sub>	Z <sup>1ra</sup>	-1	11	1 - P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1ra</sup>
16	-1	7	1 - P <sub>pp3</sub>	Z <sup>1ra</sup>	17	3	P <sub>pp2</sub>	0
17	18	8	1 - P <sub>pp1</sub>	Z <sup>1ra</sup>	-1	12	1 - P <sub>pp2</sub>	Z <sup>1ra</sup>
18	-1	11	1	0	19	4	P <sub>ppM-1</sub>	0
19	20	9	1 - P <sub>pp2</sub>	Z <sup>1ra</sup>	-1	13	1 - P <sub>pp3</sub>	Z <sup>1ra</sup>
20	-1	12	1	0	-1	11	1	0
21	22	10	1 - P <sub>pp3</sub>	Z <sup>1ra</sup>	-1	12	1	0
22	-1	13	1	0	-1	13	1	0

Таблица 3

Базовая структура (BF) преобразованного ВВГ

N	ТYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	-1	0	0	1	0
1	0	0	1	1	2	1
2	2	1	2	3	1	M
3	2	3	2	4	1	μ

Вероятность потери сообщения

$$P_{пот} = F_2(z) \Big|_{z=1};$$

$$F_1(z) = P_{pp}^3 \cdot z^{t_1+t_2+t_3};$$

$$F_2(z) = (1 - P_{pp}) \cdot z^{T_{неp}} + P_{pp} \cdot z^{t_1} \cdot (1 - P_{pp}) \cdot z^{T_{неp}} + P_{pp}^2 \cdot z^{t_1+t_2} \cdot (1 - P_{pp}) \cdot z^{T_{неp}} + P_{pp}^3 \cdot z^{t_1+t_2+t_3} \cdot (1 - P_{pp}) \cdot z^{T_{неp}} = (1 - P_{pp}) \cdot z^{T_{неp}} \cdot (1 + P_{pp} \cdot z^{t_1} + P_{pp}^2 \cdot z^{t_1+t_2} + P_{pp}^3 \cdot z^{t_1+t_2+t_3}).$$

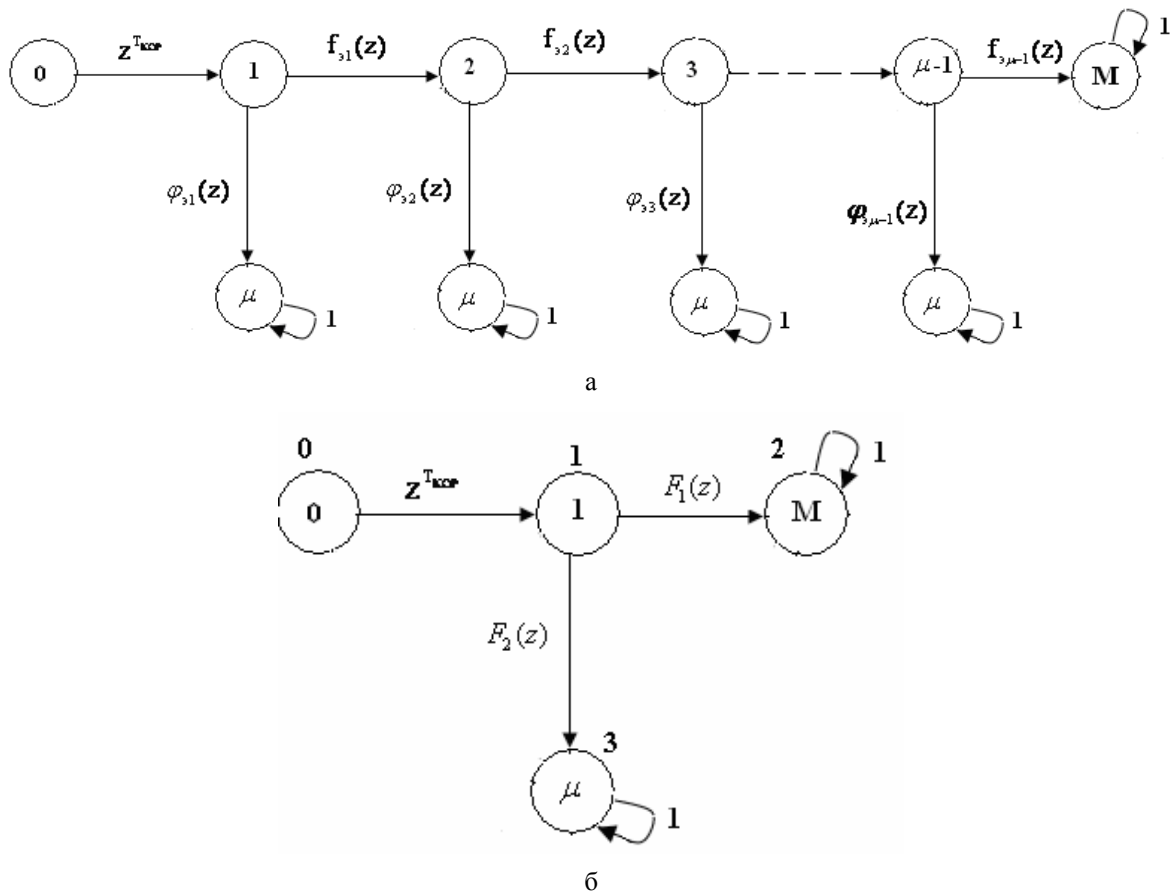


Рис. 2. Преобразованный ВВГ

Таблица 4

Структура связей (CF) преобразованного ВВГ

NN	SJD	SPJD	FSJD	TWJD	JWD	WPJD	FWJD	TWJD
0	-1	0	1	$Z^{1\text{коп}}$	-1	1	1	$Z^{1\text{коп}}$
1	2	1	$F_{1(z)}$	0	2	1	$F_{1(z)}$	0
2	-1	2	1	0	-1	1	$F_{2(z)}$	0
3	4	1	$F_{2(z)}$	0	-1	2	1	0
4	-1	3	1	0	-1	3	1	0

Второй способ сборки предусматривает ожидание всех кадров и после их получения осуществляется сборка сообщения. При этом время ожидания формирования сообщения равно разности моментов приема первого и последнего кадров. Если  $j$ -е сообщение по номерам кадров собрано (вероятность  $P_{\text{сп}}$ ), то оно выдается потребителю. Если сборка не выполняется из-за несоответствия номеров принятых кадров принятому порядку их следования, то сообщение стирается, и по всем каналам организуется повторение передачи кадров. После  $\mu$  попыток сборки сообщения вырабатывается сигнал о неисправности системы передачи.

В этом случае ВВГ процесса сборки будет иметь вид, представленный на рис. 3, а СЧС, соответствующая ВВГ второго способа сборки, приведена в табл. 5, 6.

Этот ВВГ приводится к виду, представленному на рис. 4.

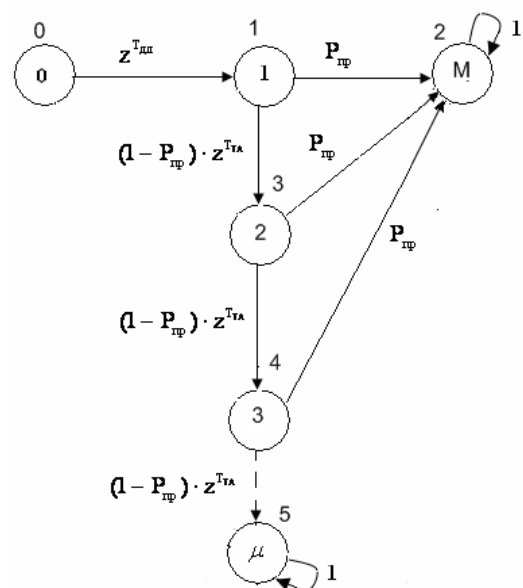


Рис. 3. Вероятностно-временной граф второго способа сборки

Таблица 5

Базовая структура (BF) ВВГ второго способа сборки

N	ТYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	-1	0	0	1	0
1	0	0	1	1	2	1
2	2	1	4	3	1	M
3	0	5	1	4	2	2
4	0	6	1	6	2	3
5	2	7	2	8	1	$\mu$

На этом графе (рис. 4) обозначено

$$F_1(z) = P_{\text{пр}} \cdot \frac{1 - (1 - P_{\text{пр}})^{\mu+1} \cdot z^{(\mu+1)T_{\text{ТА}}}}{1 - (1 - P_{\text{пр}}) \cdot z^{T_{\text{ТА}}}};$$

$$F_2(z) = (1 - P_{\text{пр}})^{\mu} \cdot z^{\mu T_{\text{пер}}},$$

где  $P_{\text{пр}} = \prod_{i=1}^M P_{\text{пр}i}$ ,  $P_{\text{пр}i}$  – вероятность правильного приема кадра в  $i$ -м канале.

Аналогично проводятся преобразования СЧС. Тогда СЧС, соответствующая преобразованному ВВГ, будет иметь вид в табл. 7, 8.

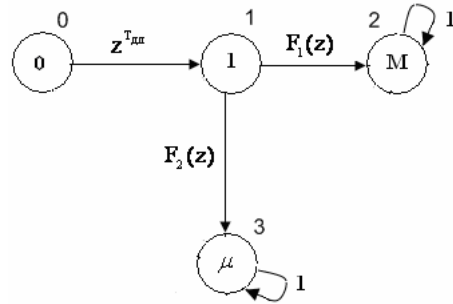


Рис. 4. Преобразованный ВВГ

Таблица 6

Структура связей (CF) ВВГ второго способа сборки

NN	SJD	SPJD	PSJD	TSJD	JWD	WPJD	PWJD	TWJD
0	-1	0	1	$Z^{1_{\text{дп}}}$	-1	1	1	$Z^{1_{\text{дп}}}$
1	2	1	$P_{\text{пр}}$	0	2	2	$P_{\text{пр}}$	0
2	3	2	1	0	-1	3	$P_{\text{пр}}$	0
3	4	3	$P_{\text{пр}}$	0	-1	2	1	0
4	-1	4	$P_{\text{пр}}$	0	5	2	$P_{\text{пр}}$	0
5	-1	1	$1 - P_{\text{пр}1}$	$Z^{1_{\text{та}}}$	-1	4	$1 - P_{\text{пр}1}$	$Z^{1_{\text{та}}}$
6	-1	3	$1 - P_{\text{пр}1}$	$Z^{1_{\text{та}}}$	7	2	$P_{\text{пр}}$	0
7	8	4	$1 - P_{\text{пр}1}$	$Z^{1_{\text{та}}}$	-1	5	$1 - P_{\text{пр}1}$	$Z^{1_{\text{та}}}$
8	-1	5	1	0	-1	5	1	0

Таблица 7

Базовая структура (BF) преобразованного ВВГ

N	ТYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	-1	0	0	1	0
1	0	0	1	1	2	1
2	2	1	2	3	1	M
3	2	3	2	4	1	$\mu$

Таблица 8

Структура связей (CF) преобразованного ВВГ

NN	SJD	SPJD	FSJD	TWJD	JWD	WPJD	FWJD	TWJD
0	-1	0	1	$Z^{1_{\text{дп}}}$	-1	1	1	$Z^{1_{\text{дп}}}$
1	2	1	$F_1(z)$	0	2	1	$F_1(z)$	0
2	-1	2	1	0	-1	1	$F_2(z)$	0
3	4	1	$F_2(z)$	0	-1	2	1	0
4	-1	3	1	0	-1	3	1	0

Исходя из вышесказанного, можно получить следующие вероятностно-временные характеристики.

Среднее время сборки сообщения равно

$$T_{\text{сб}} = \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1};$$

$$F(z) = [F_1(z) + F_2(z)] \cdot z^{T_{\text{дп}}}.$$

Вероятность потери сообщения равна

$$P_{\text{пот}} = F_2(z) \Big|_{z=1}.$$

По полученным выше формулам построены графические зависимости  $\tau_{\text{сб}} = f(p)$  для первого и второго способа сборки (рис. 5). Из приведенных графиков видно, что в обоих случаях время сборки сообщений возрастает с увеличением вероятности искажения символа в канале связи более  $10^{-3}$ . Степень возрастания этого времени более заметна при увеличении числа используемых каналов. При этом необходимо отметить, что для второго способа время сборки несколько больше.

## Выводы

Разработаны модели формирования сообщений из принятых кадров при мультимаршрутной передаче данных. Модели построены на основе использования вероятностно-временных графов и аппарата производящих функций.

С целью обеспечения автоматизации решения данной задачи и компьютерного представления дан-

ных для формального представления вероятностно-временных графов используется аппарат структур семантико-числовой спецификации. Разработанные модели позволяют получить зависимость основных вероятностно-временных характеристик для различных вариантов сборки сообщений, что в свою очередь обеспечивает возможность сравнения различных способов сборки сообщений из принятых кадров.

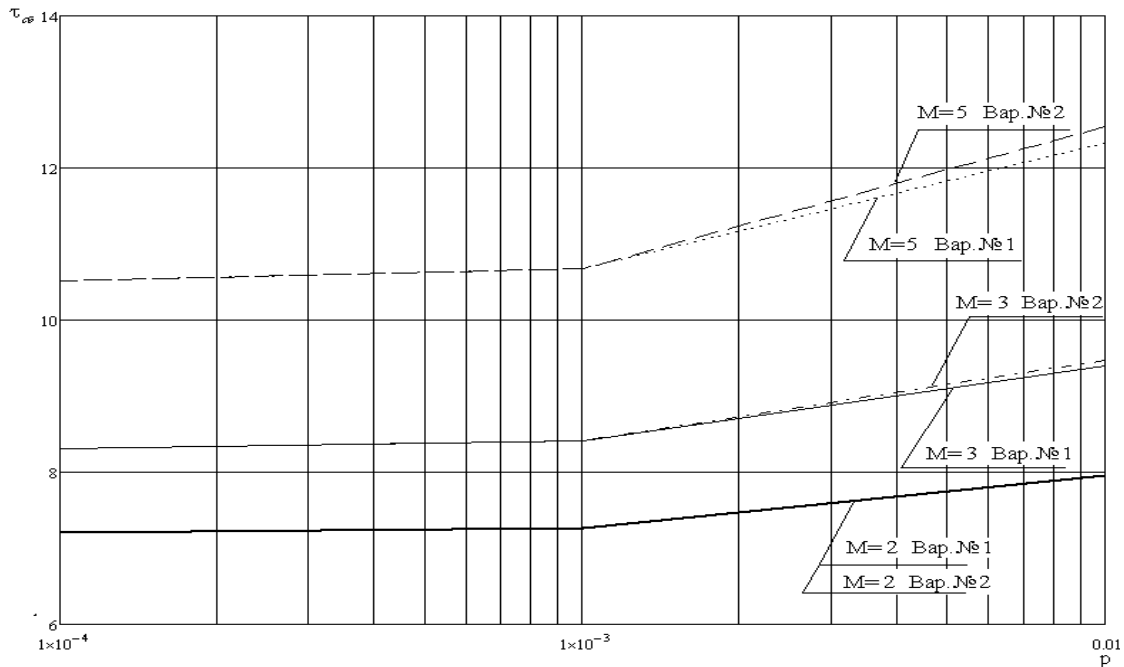


Рис. 5. Зависимость  $\tau_{об} = f(p)$  для второго и первого вариантов

## Список литературы

1. Лосев Ю.И. Методы и модели обмена информацией в распределенных адаптивных вычислительных сетях с временной параметризацией параллельных процессов: монография / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2011. – 204 с.

2. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2 ч.: пер. с англ. / М. Шварц. – М.: Наука, Главная редакция физ-мат. литературы, 1992. – Ч. 1. – 336 с.

3. Шматков С.И. Формальное представление вероятностно-временных графов анализа протоколов компьютерных сетей с помощью семантико-числовой спецификации / С.И. Шматков // Системи обробки інформації – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2(109). – С. 239-241.

Поступила в редколлегию 28.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаев, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава.

## МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ З ПРИЙНЯТИХ КАДРІВ ПРИ МУЛЬТИМАРШРУТНІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

С.І. Шматков

У статті розроблені моделі одного з основних етапів процесу обміну повідомленнями в мультимаршрутних комп'ютерних мережах – формування повідомлень з прийнятих кадрів. Моделі побудовані на основі використання ймовірнісно-часових графів та апарату виробляючих функцій. В якості засобів формального представлення використовуються структури семантико-числової специфікації. Розроблені моделі дозволяють обґрунтовано вибирати найбільш ефективний варіант формування повідомлень з прийнятих кадрів при мультимаршрутній передачі.

**Ключові слова:** комп'ютерні мережі, мультимаршрутна передача, ймовірнісно-часові графи, семантико-числова специфікація.

## MODEL OF THE MESSAGES FORMATION FROM THE RECEIVED FRAMES AT MULTIPATH DATA TRANSMISSION IN COMPUTER NETWORKS

S.I. Shmatkov

In the article developed models of one of the main stages exchange messages process in multipath computer networks - messages forming from received frames. The models constructed on the basis of using probabilistic-time graphs and generating functions apparatus. Semantic numerical specification using a formal representation means. The developed models can reasonably choose the most efficient way of messages formation from the received frames at multipath transmission.

**Keywords:** computer networks, multipath transmission, probabilistic-time graphs, semantic numerical specification.