

## МЕТОДЫ МАРШРУТИЗАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ С МНОГОКАНАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ

В статье рассмотрены вопросы адаптации классических механизмов и методов маршрутизации, ориентированных на одноканальные системы связи, к многоканальной технологии передачи данных. Выполнено исследование параметров механизмов маршрутизации при их применении для многоканальных систем связи, выделены наиболее эффективные механизмы в зависимости от конкретных условий их реализации.

In this article there is discussed the adaptation of the classic routing mechanisms and methods oriented on the single-channel communication system for the multi-channel data transmission technology. There is performed the analysis of the routing mechanisms parameters for the multichannel communication systems, and are distinguished the most effective mechanisms depending on the specific conditions of their implementation.

### 1. Введение

Важным аспектом при эксплуатации распределенных компьютерных систем является повышение их пропускной способности по передаче данных. Одним из подходов к повышению пропускной способности данных систем является реализация каналов связи на основе технологии многоканальности. В частности, для поддержки данной технологии применяются оптоволоконные линии, что позволяет реализовать частотное и временное разделение каналов связи на подканалы, и тем самым обеспечить одновременную передачу значительных массивов данных. Таким образом важной задачей является адаптация классических механизмов и методов маршрутизации, ориентированных на одноканальные системы связи, к многоканальной технологии передачи данных.

### 2. Метод коммутации каналов при одноканальных и многоканальных связях

Основные идеи методов маршрутизации базируются на классических механизмах с их адаптацией для коммутируемых сетей, при этом задержки передачи данных вычисляются для  $L_M$  - битового сообщения. Размеры флита и фита будем считать эквивалентными и равными ширине канала передачи данных в  $L_{TC}$  бит, длина которого в свою очередь равна ширине внутреннего канала передачи данных в маршрутизаторах. Заголовок пакета для маршрутизации равен 1 флит, тем самым размер сообщения оказывается равен:  $L_M + L_{TC}$  бит. Маршрутизатор принимает решение по маршрутизации за один цикл, и, следовательно, флит проходит

через маршрутизатор или канал связи также за один цикл.

В методе коммутации каналов связи для передачи данных резервируется физический путь от интерфейса источника к интерфейсу приемника, после чего источник запускает т.н. называемый пробный пакет. Пробный пакет направляется к приемнику в соответствии с протоколом маршрутизации, и в процессе продвижения резервирует физические каналы и порты маршрутизатора на выделенном пути. Для подтверждения факта выделения пути исходному узлу-источнику возвращается подтверждение о доставке [1].

Недостатки данного метода заключаются в том, что выделенные каналы связи и порты маршрутизаторов на некоторый интервал времени блокируют другие потоки данных, которым требуются те же ресурсы, как и для выделенного канала связи, в частности, пробный пакет может быть заблокирован в процессе ожидания освобождения канала связи. Каналы связи, ранее занятые пробным пакетом аналогично блокируют создание других каналов [1].

Параметр времени передачи данных при коммутации каналов определяется как сумма времени создания путей (маршрутов) и времени передачи данных. Для канала, который проходит к приемникам через маршрутизаторы время передачи данных рассчитываются как:

$$t_{\text{канал}} = m * [t_c + 2(t_b + t_r + t_{lc}) + t_{\text{данные}}] \quad (1)$$

Здесь:  $t_c$  - время, затрачиваемое на определение выходного порта маршрутизатора для передачи сообщения,  $t_b$  - время входного буферирования,  $t_r$  - время передачи бит через маршрутизатор,  $t_{lc}$  - время передачи бит через канал

связи, соответственно, пробным пакетом и пакетом подтверждения,  $m$  – число узлов, на которые выполняется передача данных.

Процесс определения выходного порта взаимно совмещается с процессом запроса и выделения порта маршрутизатора и поэтому время формирования пути маршрутизации не учитывается в выражении (1). Коэффициент 2 в выражении (1) отражает тот факт, что пробный пакет и пакет подтверждения передаются в обе стороны по одному и тому маршруту. Заметим, что пакет подтверждения не маршрутизируется, и, следовательно, для него отсутствует задержка маршрутизации на промежуточных маршрутизаторах.

Коммутация каналов, как правило, более эффективна в том случае, когда сообщения передаются с низкой интенсивностью и являются относительно длинными по сравнению с размером пробных пакетов. После первичного формирования пути следования пакетов, последующие сообщения в этом направлении передаются без задержек на формирование пути,

при этом также повышается межузловая пропускная способность среды передачи данных, поскольку после создания пути следования сообщения передаются к приемнику не маршрутизируются и не блокируются в сети.

Вариант реализации коммутации каналов для многоканальных связей приведен на рис. 1. В этом случае единый канал связи подразделяется на  $N$  независимых подканалов, например, на основе частотного принципа разделения, и по каждому из них данные передаются независимо друг от друга (на определенной частоте).

Параметр времени передачи данных при коммутации каналов при многоканальных связях определяется как:

$$t_{\text{канал}} = t_c + 2(t_b + t_r + t_{lc}) + t_{\text{данные}}, \text{ при } m \leq n \quad (2)$$

$$t_{\text{канал}} = \frac{m}{n} [t_c + 2(t_b + t_r + t_{lc}) + t_{\text{данные}}], \text{ при } m > n \quad (3)$$

где  $m$  – число узлов, на которые выполняется одновременная передача данных,  $n$  – число одновременно открытых подканалов связи.

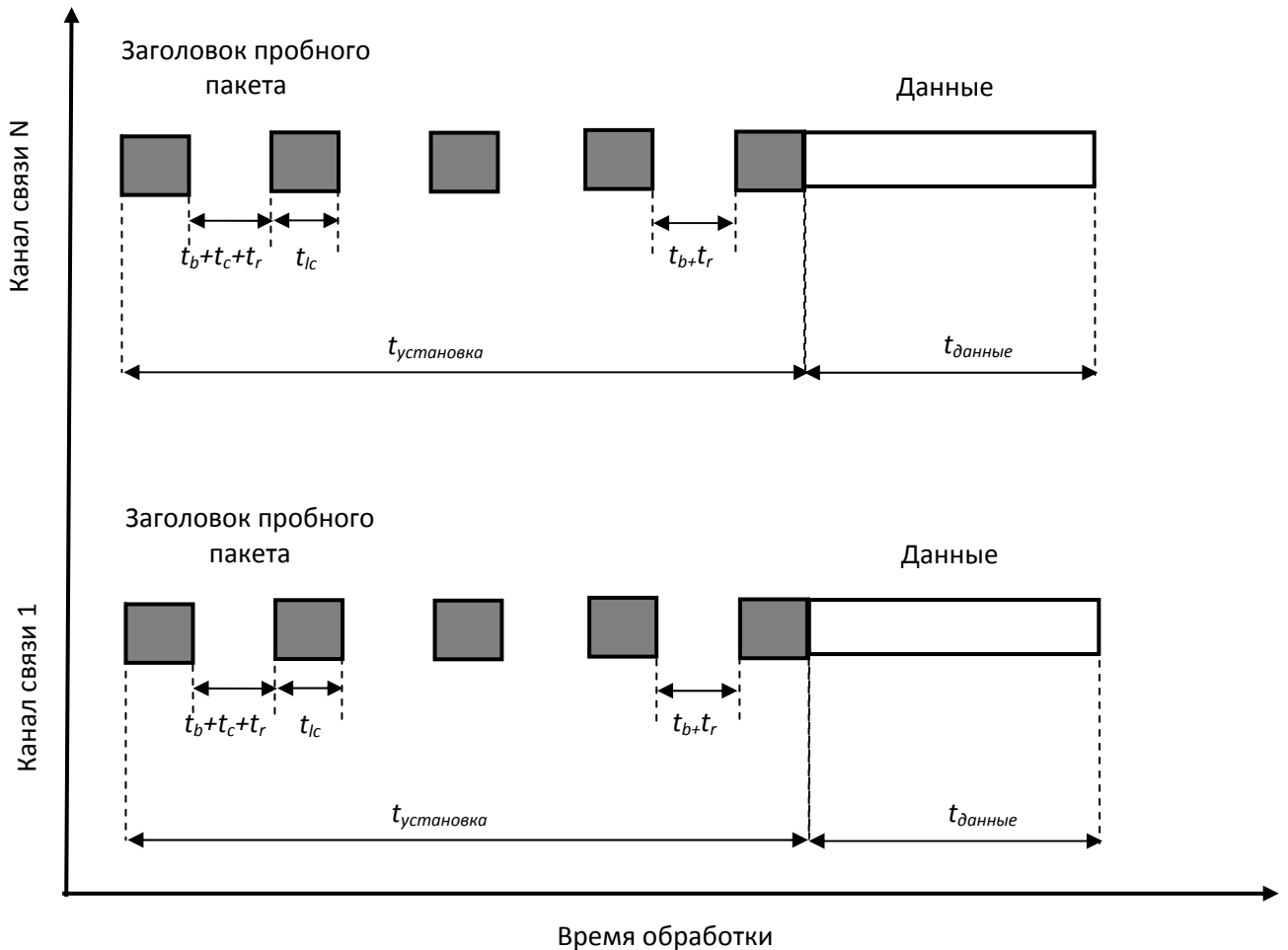
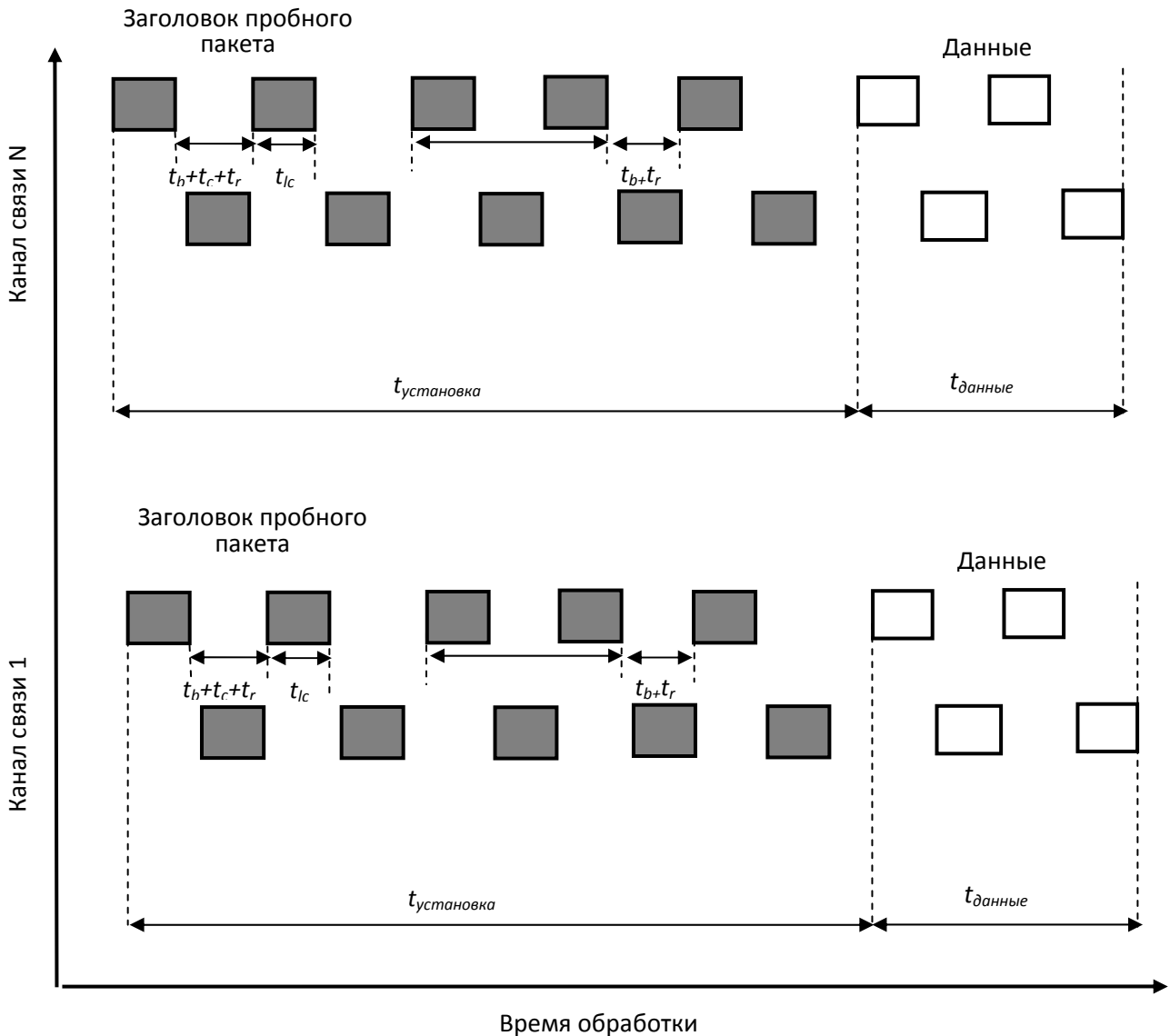


Рис.1. Метод коммутации каналов связи для многоканальных связей

Дополнительно снизить время передачи данных возможно путем применения технологии конвейерной передачи данных в одном подканале, на основе временного разделения трафика,

ка, что позволит фактически повысить степень заполнения подканала трафиком и снизит периоды простоя подканала (рис. 2).



**Рис.2. Метод коммутации каналов связи для многоканальных связей с конвейеризацией**

Параметр времени передачи данных при коммутации каналов при многоканальных связях и при реализации конвейерной технологии передачи данных в одном подканале (рис. 2) определяется как:

$$t_{\text{канал}2} = t_c + 2(t_b + t_r + t_{lc}) + t_{lc} + 2t_{\text{данные}} \text{ при } m \leq n \quad (4)$$

$$t_{\text{канал}2} = \frac{m}{n} [t_c + 2(t_b + t_r + t_{lc}) + t_{lc} + 2t_{\text{данные}}] \text{ при } m > n \quad (5)$$

На рис. 3 показаны графические зависимости времени передачи данных (в временных тактах  $T$ ) по каналу связи от источника к приемнику в зависимости от числа  $m$  узлов-приемников для трех случаев: коммутация каналов при однока-

нальных связях, при многоканальных связях и при многоканальных связях с применением конвейерной передачи данных в одном подканале, на основе временного разделения трафика. При построении графических зависимостей принято, что:  $t_c = 1$  временной такт ( $T$ ),  $t_b = 1 T$ ,  $t_r = 1 T$ ,  $t_{lc} = 1 T$ ,  $t_d = 5 T$  и результат представлен в временных тактах.

Как видно из рис. 3 наиболее эффективной оказывается маршрутизация при многоканальных связях с использованием конвейерной передачи данных, которая обеспечивает снижение времени передачи одинаковых массивов данных для данного случая в среднем на 500% по сравнению маршрутизацией при одноканальных связях и на 33% без конвейеризации.

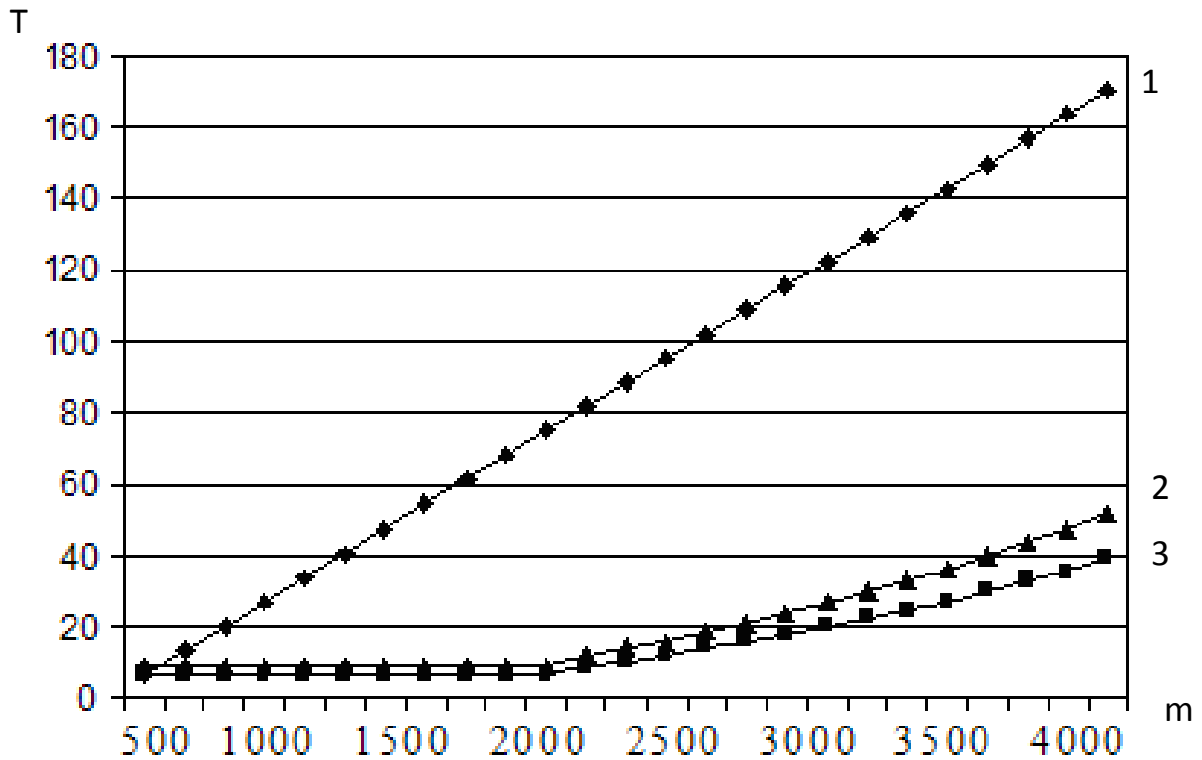


Рис. 3. Время передачи данных в зависимости от числа узлов-приемников для маршрутизации по методу коммутации каналов при одноканальных связях (1), при многоканальных связях (2) и при многоканальных связях с применением конвейерной передачи данных в одном подканале (3)

**3. Метод коммутации пакетов при одноканальных и многоканальных связях**

В методе коммутации каналов процессы маршрутизации и передачи данных четко разделены. Все маршрутизаторы на пути следования пакета от источника к приемнику определяются заранее и все передающиеся в пакетах пользовательские данные полностью занимают полосу пропускания канала. В методе коммутации пакетов сообщения разделяются на блоки одинаковой длины. Первые несколько байт формируют заголовок пакета, который содержит информацию по маршрутизации и управляющую информацию, а пользовательские данные находятся в теле пакета. Каждый пакет передается по сети отдельно, а управление потоком данных между маршрутизаторами выполняется на уровне полных пакетов [2].

Пакет не может быть переслан в том случае, если буферное пространство всего пакета не доступно на следующем маршрутизаторе, в противоположном случае, полный пакет передается по каналу связи во входной буфер следующего маршрутизатора. Время передачи данных через маршрутизаторы в этом случае оценивается как:

$$t_{\text{пакетная}} = m * [t_c + (t_b + t_r + t_{lc}) * (L_M + L_{TC}) / I_{TC}]$$

если  $L_M = L_{TC}$ , то:

$$t_{\text{пакетная}} = m * [t_c + 2 * (t_b + t_r + t_{lc})] \quad (7)$$

Вариант реализации коммутации каналов для многоканальных связей приведен на рис. 4. В этом случае единый канал связи подразделяется на N независимых подканалов, например, на основе частотного принципа разделения, и по каждому из них данные передаются независимо друг от друга (на определенной частоте).

Параметр времени передачи данных при коммутации каналов при многоканальных связях определяется как:

$$t_{\text{пакетная}} = t_c + 2 * (t_b + t_r + t_{lc}) \quad \text{при } m \leq n \quad (8)$$

$$t_{\text{пакетная}} = \frac{m}{n} [t_c + 2 * (t_b + t_r + t_{lc})] \quad \text{при } m > n \quad (9)$$

где m – число узлов, на которые выполняется одновременная передача данных, n – число одновременно открытых подканалов связи.

Дополнительно снизить время передачи данных возможно путем применения технологии конвейерной передачи данных в одном подканале, на основе временного разделения трафи-

ка, что позволит фактически повысить степень заполнения подканала трафиком и снизит пери-

оды простоя подканала (рис. 5).

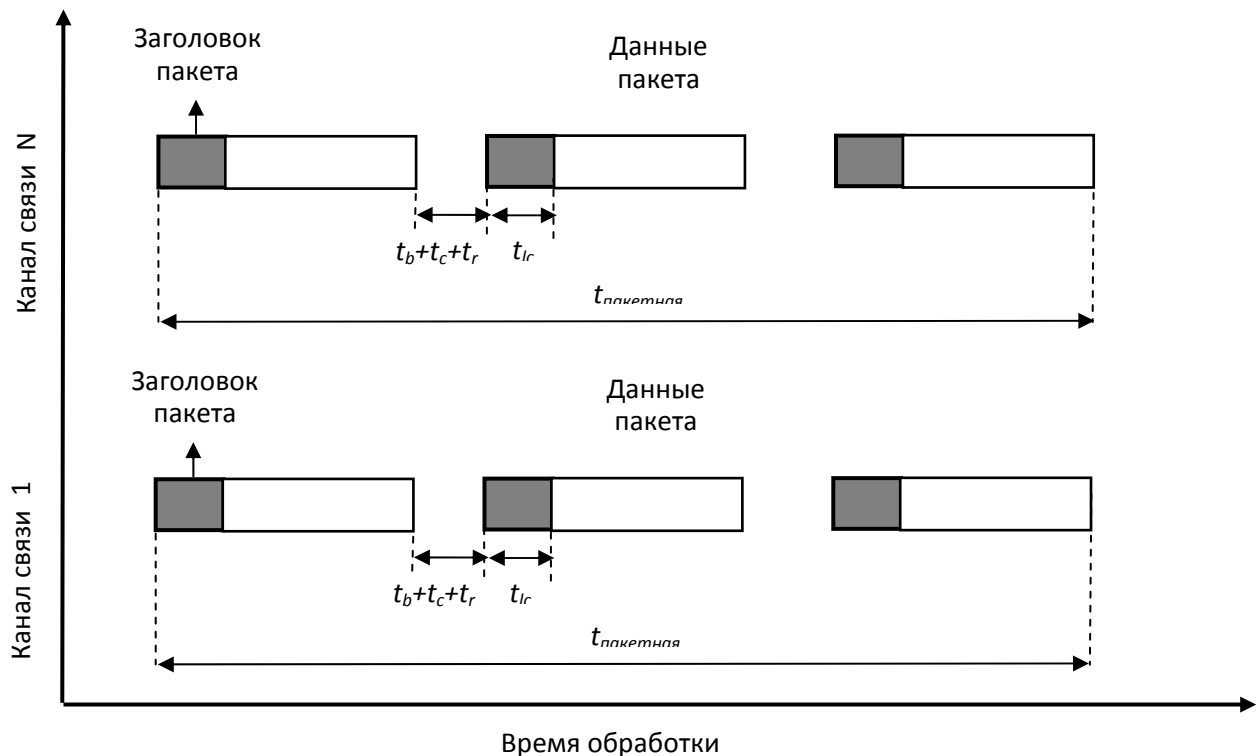


Рис.4. Метод коммутации пакетов для многоканальных связей

Параметр времени передачи данных при коммутации пакетов при многоканальных связях и при реализации конвейерной технологии передачи данных в одном подканале (рис. 5) определяется как:

$$t_{\text{пакетная}2} = t_c + 2 * (t_b + t_r + t_{lc}) + 2t_{lc} \text{ при } m \leq n \text{ (10)}$$

$$t_{\text{пакетная}3} = \frac{m}{n} [t_c + 2 * (t_b + t_r + t_{lc}) + 2t_{lc}] \text{ при } m > n \text{ (11)}$$

На рис. 6 показаны графические зависимости времени передачи данных по каналу связи от источника к приемнику в зависимости от числа узлов-приемников для трех случаев: коммутация пакетов при одноканальных связях, при многоканальных связях и при многоканальных связях с применением конвейерной передачи данных в одном подканале, на основе временного разделения трафика.

При построении графических зависимостей принято, что:  $t_c = 1$  временной такт (Т),  $t_b = 1$  Т,  $t_r = 1$  Т,  $t_{lc} = 1$  Т и результат в временных тактах.

Как видно из рис. 6 наиболее эффективной оказывается маршрутизация при многоканальных связях с использованием конвейерной передачи данных, которая обеспечивает снижение времени передачи одинаковых массивов

данных в среднем в 5 раз по сравнению маршрутизацией при одноканальных связях в 1.7 раза для случая без конвейеризации.

#### 4. Метод червячного механизма маршрутизации при одноканальных и многоканальных связях

Необходимость полной буферизации пакетов в маршрутизаторе создает определенные проблемы при построении компактных и быстродействующих маршрутизаторов. В ранних версиях в коммутируемых сетях для буферизации заблокированных пакетов в качестве хранилища использовалась память локальных узлов. Процесс повторного запуска пакетов существенно повышает величину задержки передачи пакетов, следовательно, целесообразно сохранять пакеты в сети.

Однако оказалось недостаточно буферизовать пакеты внутри лишь отдельных маршрутизаторов. Червячная маршрутизация представляет собой вариант оптимизации виртуальной конвейерной маршрутизации, с использованием буферов [3]. Размер буфера в каждом маршрутизаторе позволяет хранить несколько флит. В том случае, если заголовок пакета заблокирован, сообщение занимает буферы в нескольких маршрутизаторах [3].

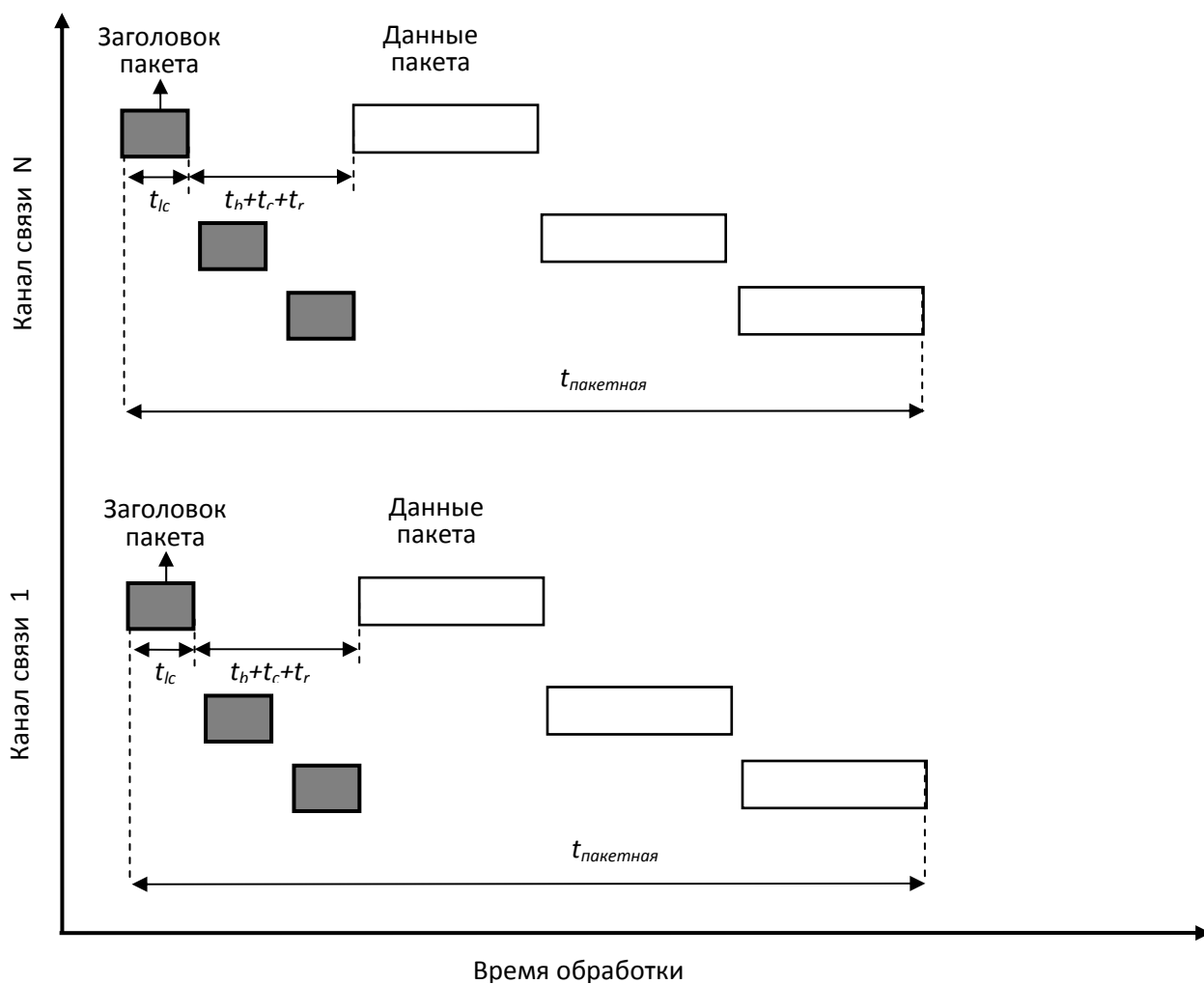


Рис. 5. Метод коммутации пакетов для многоканальных связей с конвейеризацией

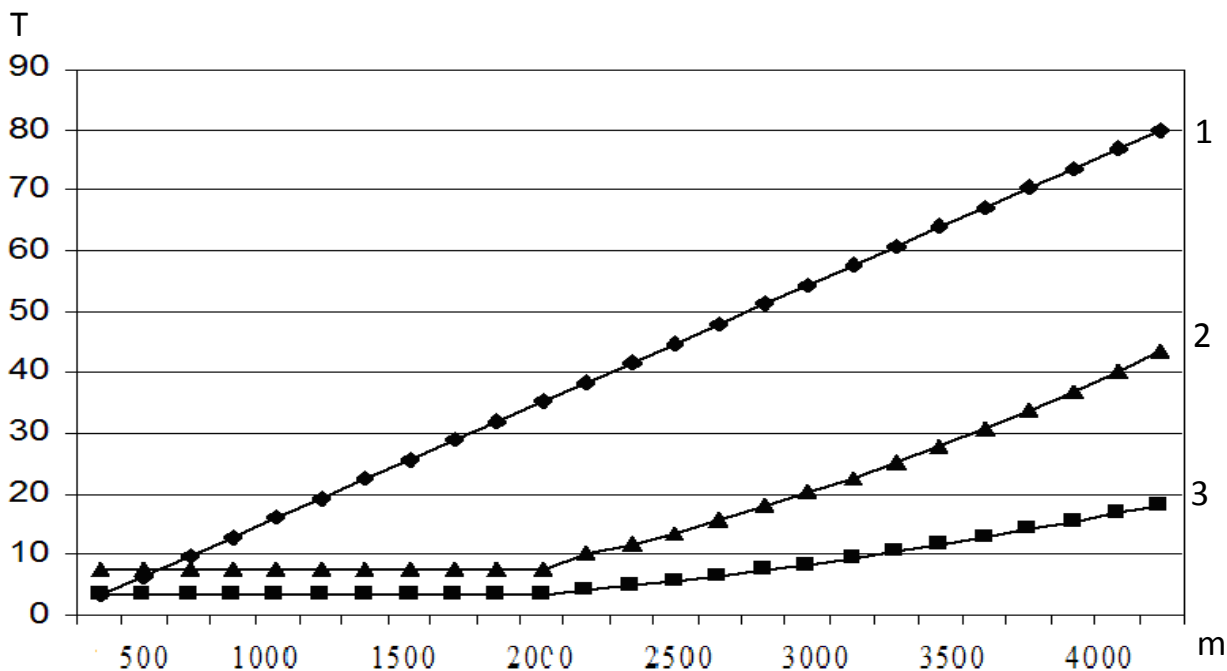


Рис. 6. Время передачи данных в зависимости от числа узлов-приемников для маршрутизации по методу коммутации пакетов при одноканальных связях (1), многоканальных связях (2) и при многоканальных связях с применением конвейерной передачи данных в одном подканале (3)

Использование буферов малого размера также приводит к двум важным результатам. Во-первых, снижаются задержки доступа к буферу и сокращается время процесса конвейеризации. Снижение задержек конвейеризации позволяет повысить тактовую частоту работы маршрутизатора, и, следовательно, повысить пропускную способность маршрутизатора, например, до уровня 5 ГГц. [4]. Во-вторых, малые буферы снижают статическое энергопотребление, что особенно важно для встроенных маршрутизаторов. Однако, при увеличении загрузки канала связи, заблокированное сообщение занимает буферы на нескольких маршрутизаторах и каналы связи между ними, что приводит к повторному блокированию сообщений, разделяющих эти каналы связи, что, в свою очередь, распространяет блокировки далее по сети.

Базовое время передачи сообщений, передаваемых по методу червячной маршрутизации через маршрутизатор с размером флита, равного размеру фита вычисляется следующим образом:

$$t_{\text{червячная}} = m * [(t_c + t_b + t_r + t_{lc}) + t_b * (L_M) / L_{TC}] \quad (11)$$

если  $L_M = L_{TC}$ , то:

$$t_{\text{червячная}} = m * (t_c + t_b + t_r + t_{lc}) + t_b \quad (12)$$

Недостатком метода червячной маршрутизации, реализуемого классическими маршрутизаторами является то, что заблокированные сообщения захватывают физические ресурсы канала связи. Информация по маршрутизации - несколько флитов в заголовке пакета, а флиты с данными пользователя не содержат маршрутной информации. Следовательно, когда пакет заблокирован, передачи других пакетов по физическому каналу связи не выполняются. В результате при увеличении интенсивности трафика возникает быстрое насыщение каналов связи заблокированными пакетами.

Вариант реализации червячной коммутации для многоканальных связей приведен на рис. 7. В этом случае единый канал связи подразделяется на  $N$  независимых подканалов, например, на основе частотного принципа разделения, и по каждому из них данные передаются независимо друг от друга (на определенной частоте).

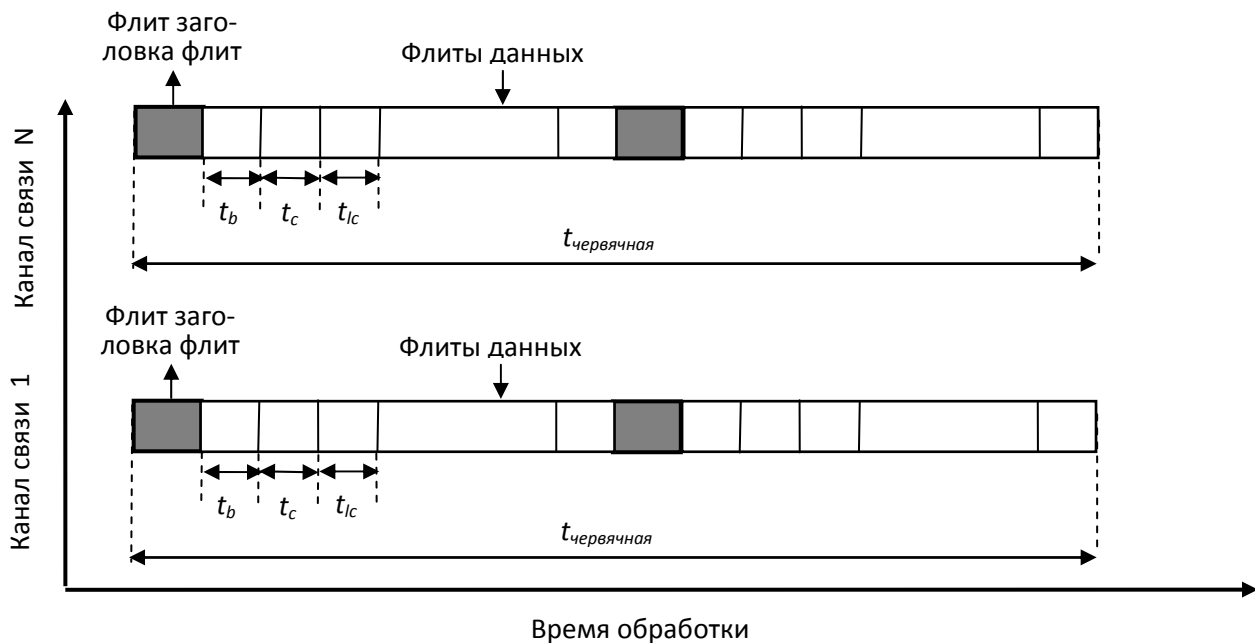


Рис. 7. Метод червячного механизма маршрутизации для многоканальных связей

Параметр времени передачи данных при червячной коммутации при многоканальных связях определяется как:

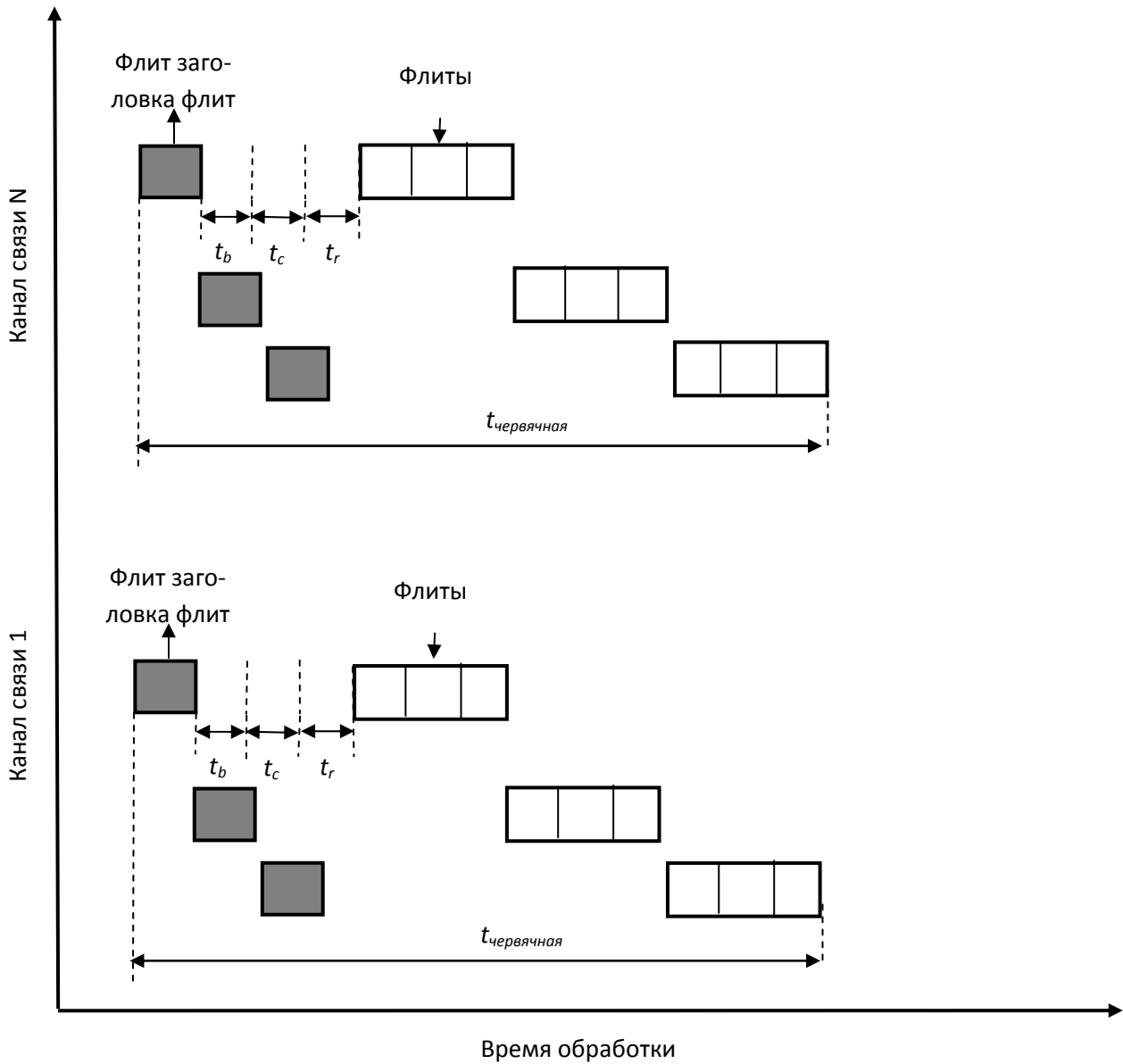
$$t_{\text{червячная}} = (t_c + t_b + t_r + t_{lc}) + t_b \quad \text{при } m \leq n \quad (13)$$

$$t_{\text{червячная}} = \frac{m}{n} * [(t_c + t_b + t_r + t_{lc}) + t_b] \quad \text{при } m > n \quad (14)$$

где  $m$  – число узлов, на которые выполняется одновременная передача данных,  $n$  – число од-

новременно открытых подканалов связи.

Дополнительно снизить время передачи данных возможно путем применения технологии конвейерной передачи данных в одном подканале, на основе временного разделения трафика, что позволит фактически повысить степень заполнения подканала трафиком и снизит периоды простоя подканала (рис. 8).



**Рис.8. Метод червячного механизма маршрутизации для многоканальных связей с конвейеризацией**

Параметр времени передачи данных при червячной коммутации при многоканальных связях и при реализации конвейерной технологии передачи данных в одном подканале (рис. 8) определяется как:

$$t_{червячная} = (t_c + t_b + t_r + t_{lc}) + t_b + 2t_{lc} \quad \text{при } m \leq n \quad (15)$$

$$t_{червячная} = \frac{m}{n} [(t_c + t_b + t_r + t_{lc}) + t_b + 2t_{lc}] \quad \text{при } m > n \quad (16)$$

На рис. 9 показаны графические зависимости времени передачи данных по каналу связи от источника к приемнику в зависимости от числа узлов-приемников для трех случаев: червячная коммутация при одноканальных связях, при многоканальных связях и при многоканальных связях с применением конвейерной

передачи данных в одном подканале, на основе временного разделения трафика.

При построении графических зависимостей принято, что:  $t_c = 1$  временной такт (Т),  $t_b = 1$  Т,  $t_r = 1$  Т,  $t_{lc} = 1$  Т и результат представлен в временных тактах.

Как видно из рис. 9 наиболее эффективной оказывается червячная маршрутизация при многоканальных связях с использованием конвейерной передачи данных, которая обеспечивает снижение времени передачи одинаковых массивов данных в 5 раз по сравнению маршрутизацией при одноканальных связях и в 1.5 раза для случая без конвейеризации.

На рис.10 и рис.11 представлены сравнительные зависимости времени передачи данных в зависимости от числа узлов для различных



видов методов маршрутизации: коммутации каналов, пакетов, червячной маршрутизации при многоканальных связях при реализации конвейерной передачи данных

На рис.10 рассмотрен случай, когда передаются малые массивы данных 10 байт, а на рис. 11 – 100 байт.

Как видно из рис. 10 и рис. 11 при передаче данных малого размера (10 байт) наиболее эффективной оказывается червячная маршрутизация, а для передаваемых данных большей длины (100 байт) – маршрутизация на основе коммутации каналов.

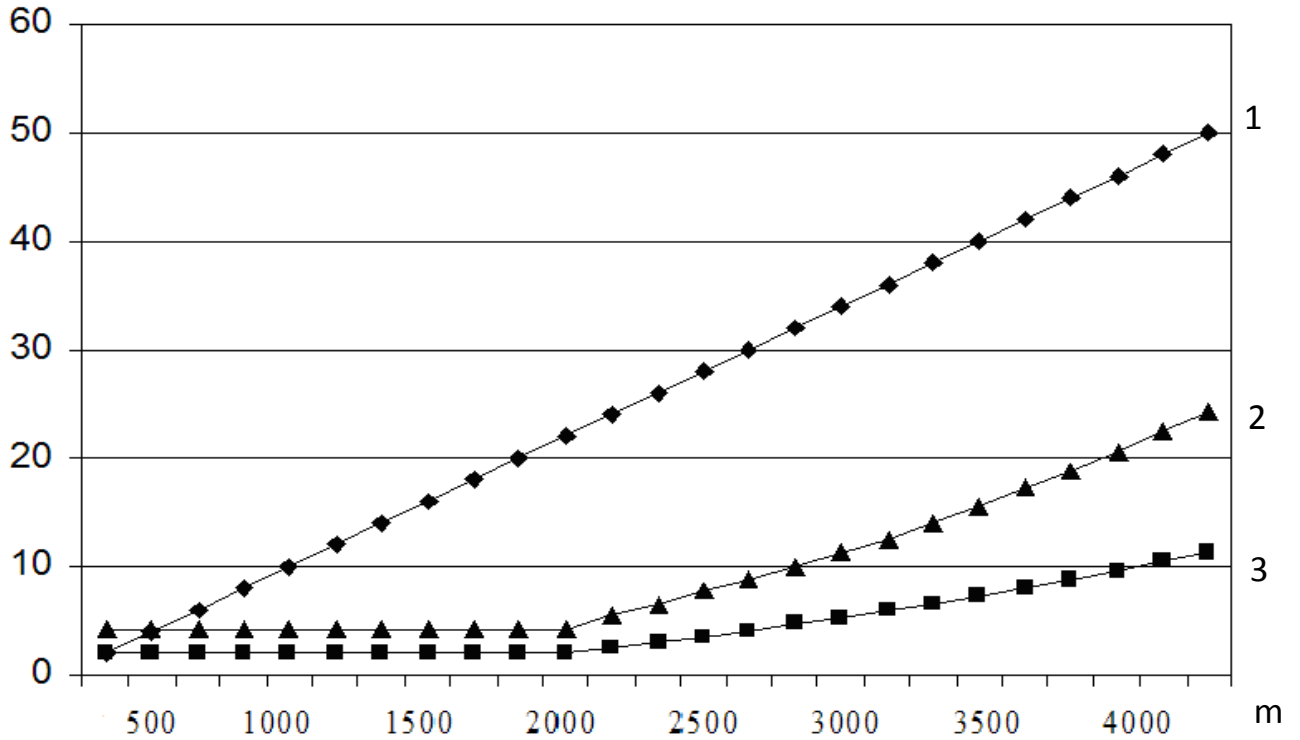


Рис. 9. Время передачи данных в зависимости от числа узлов-приемников для маршрутизации по методу червячной коммутации при одноканальных связях (1), многоканальных связях (2) и при многоканальных связях с применением конвейерной передачи данных в одном подканале (3)

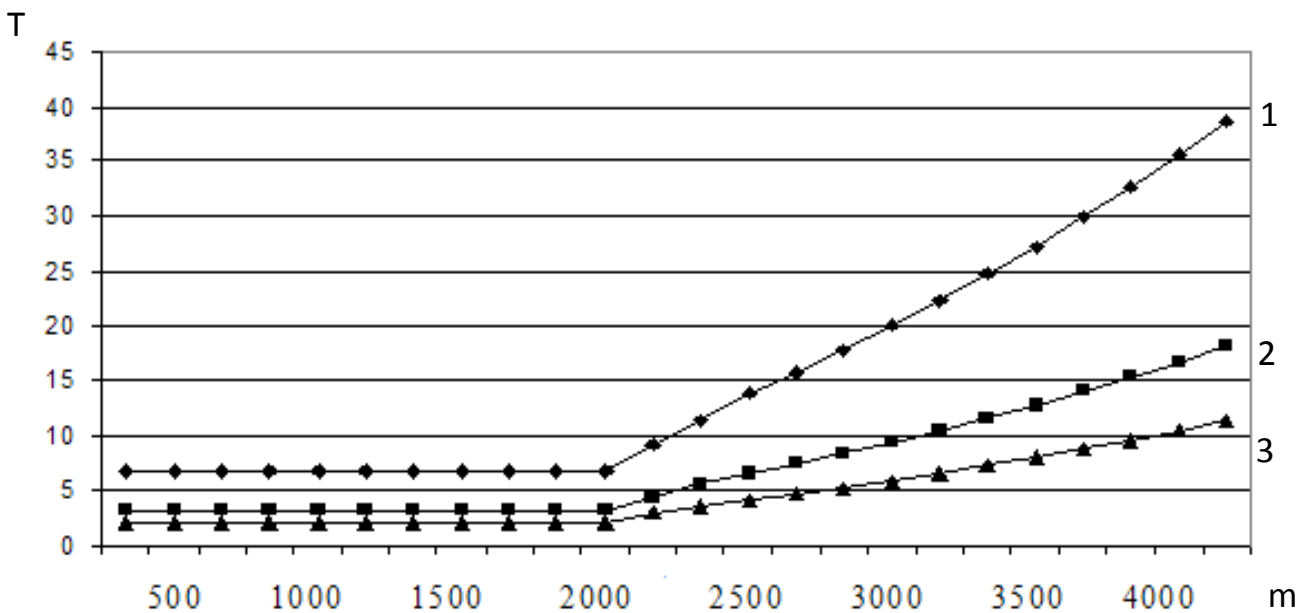
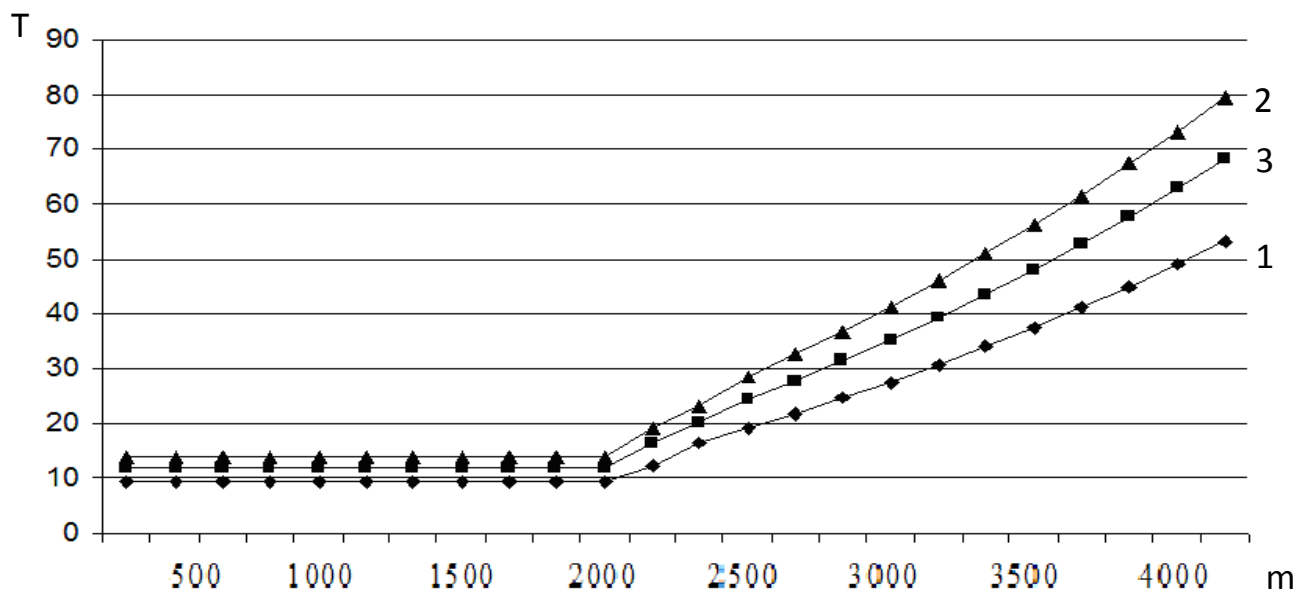


Рис.10. Время передачи данных в зависимости от числа узлов для коммутации каналов (1), пакетов (2), червячной маршрутизации (3) при многоканальных связях при реализации конвейерной передачи данных длиной 10 байт



*Рис. 11. Время передачи данных в зависимости от числа узлов для коммутации каналов (1), пакетов (2), червячной маршрутизации (3) при многоканальных связях при реализации конвейерной передачи данных длиной 100 байт*

### 5. Заключение

Исследование классических механизмов и методов маршрутизации показали, что применение технологии многоканальных связей, например, на основе оптоволоконных связей позволяет в несколько раз (на 500 - 600% для рассматриваемых случаев) снизить время передачи эквивалентных объемов данных в условиях масштабирования компьютерных систем. Для повышения эффективности использования

многоканальных связей целесообразно применить технологию конвейеризации при передаче как служебных, так и пользовательских данных.

Также исследования показали, то при передаче данных малого размера (порядка 10 байт) наиболее эффективной оказывается червячная маршрутизация, а для передаваемых данных большей длины (свыше 100 байт) – маршрутизация на основе коммутации каналов

### Список литературы

1. Пепелкин Д.А., Перепелкин А.И. Разработка алгоритма динамической маршрутизации на базе протокола OSPF в корпоративных вычислительных сетях // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. N2 (вып. 28), 2009. - с. 68- 72.
2. Doverspike N., Jha V. Comparison of Routing Methods for DCS-Switched Networks.// Interfaces, Vol. 23, No. 2 (Mar. - Apr., 1993), pp. 21-34
3. Mohapatra P. Wormhole Routing Techniques in Multicomputer Systems//spirit.cs.ucdavis.edu/pubs/journal/wsurvey.pdf
4. Washington N., Perros H. Performance Analysis of Traffic-Groomed Optical Networks Employing Alternate Routing Techniques// Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4516, 2007, - pp. 1048-1059