

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Московский технический университет связи и информатики»  
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

НЕРСЕСЯНЦ А.А.

# СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМ И СЕТЕЙ СВЯЗИ НА ИМИТАЦИОННЫХ GPSS-МОДЕЛЯХ

Направление подготовки 11.03.02  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»,  
профиль «Сети связи и системы коммутации»

Дисциплины: Сети связи,  
Мультисервисные сети связи  
Моделирование

Ростов-на-Дону  
2019 год

# СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМ И СЕТЕЙ СВЯЗИ НА ИМИТАЦИОННЫХ GPSS-МОДЕЛЯХ

Направление подготовки 11.03.02

Инфокоммуникационные технологии и системы связи

профиль «Сети связи и системы коммутации»

Дисциплины: Сети связи, Мультисервисные сети связи

Направление подготовки 09.03.01

Информатика и вычислительная техника

профиль «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»

Дисциплина: Моделирование

Автор:

профессор кафедры ИТСС,

д.т.н., с.н.с. Нерсисянц А.А.,

Рецензент: доцент кафедры ИТСС - к.т.н. Борисов Б.П.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры ИТСС

Протокол №11 от 26.08.2019

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение .....  | 4  |
| Замечания по использованию системы GPSS World .....   | 5  |
| Лабораторная работа № 1. Исследование сотовой сети<br>подвижной связи стандарта GSM .....           | 6  |
| Лабораторная работа № 2. Анализ качества обслуживания<br>абонентов в сельской телефонной сети ..... | 17 |
| Лабораторная работа № 3. Исследование технологии<br>Frame Relay в сетях передачи данных .....       | 27 |
| Лабораторная работа № 4. Исследование пропускной<br>способности сети с коммутацией пакетов .....    | 38 |
| Список литературы .....   | 48 |

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее издание сборника содержит 4 лабораторных работы по исследованию систем и сетей связи с помощью компьютерного моделирования на языке GPSS, что означает General Purpose Simulation System – общецелевая система моделирования.

Со времени выхода 1-го издания настоящего сборника лабораторных работ прошло 10 лет. За это время приведённые в нём работы систематически использовались в дисциплинах «Сети связи», «Мультисервисные сети связи» и др. на дневном и заочном факультетах. Вместе с тем возникли следующие обстоятельства, приведшие к необходимости переработки сборника:

- лабораторные работы постоянно усовершенствовались как в части лабораторных заданий, так и в части имитационных программ;
- первые три работы по разным причинам потеряли актуальность и не использовались в учебном процессе;
- появилась новая усовершенствованная версия системы моделирования GPSS, а именно GPSS World, которая предоставляет большие удобства в работе с программой и большую наглядность результатов моделирования, что привело к необходимости переработки всех имитационных программ.

Содержание лабораторных работ направлено на изучение современных телекоммуникационных технологий методом исследования моделей различных систем информационного обмена. При этом решаются следующие задачи:

а) Изучение алгоритма функционирования системы связи с выявлением основных зависимостей между параметрами системы, качеством ее функционирования и экономическими показателями.

б) Изучение способов отображения на модели реальных телекоммуникационных систем, включая:

- определение источников нагрузки;
- выделение обслуживающих приборов;
- определение мест ожидания;
- определение траектории прохождения заявок;
- определение исходных параметров и измеряемых (выходных) данных.

в) Изучение способов ввода исходных данных и измерения результирующих характеристик.

г) Приобретение навыков анализа функциональных зависимостей в телекоммуникационных системах и выработки решений по результатам анализа.

## Замечания

## по использованию системы моделирования GPSS World

Изучение принципов моделирования телекоммуникационных систем и сетей является предметом специальной дисциплины “Основы компьютерного моделирования“, изучаемой в телекоммуникационных ВУЗах. Эта дисциплина предусматривает как изучение основных принципов имитационного моделирования ТК-систем, так и способы написания программ и работы с ними.

Однако, дружелюбный пользовательский интерфейс системы GPSS World позволяет работать с ней, владея лишь общей компьютерной грамотностью. Поэтому ниже приводятся только краткие сведения о порядке запуска программ и доступа к результатам моделирования.

а) Щёлкнуть на ярлыке GPSSW и далее по кнопке Открыть (2-я кнопка слева на шкале инструментов). В появившемся перечне выбрать одну из следующих работ, входящих в настоящий сборник:

- SOTA-W - Исследование сотовой сети подвижной связи стандарта GSM;
- STS-W - Анализ качества обслуживания абонентов в сельской телефонной сети;
- FR-W - Исследование технологии Frame Relay в сетях передачи данных;
- КОМП-W - Исследование пропускной способности сети с коммутацией пакетов.

б) Для запуска программы нажмите последовательно: Command > Create Simulation > Command > Start. В появившемся окне Start Command установите продолжительность эксперимента в виде числа вызовов (транзактов) вводимых в систему. Учтите, что чем продолжительнее эксперимент, тем точнее результат моделирования (меньше дисперсия). Для целей лабораторной работы можно ограничиться числом транзактов, равным 10000. Нажав ОК, Вы запустите моделирующую программу, а после её завершения и доступ к стандартному отчёту.

в) Для доступа к матрицам и гистограммам нажать следующие кнопки: Window>Simulation Window и далее Matrix Window или Table Window.

г) Для внесения изменений в программу необходимо вызвать исходный модуль, нажав кнопку Window и в открывшемся меню имя программы под номером 1. Все изменения и получаемые результаты сохранению не подлежат.

д) Для более детального изучения основ компьютерного моделирования можно обратиться к монографии [1], а для овладения навыками моделирования на GPSS World следует обратиться к учебным пособиям [2,3] или к методическому пособию [8].

## **Лабораторная работа № 1**

### **Исследование сотовой сети подвижной связи стандар-**

## та GSM

**1. Цель работы.** Изучить основные принципы построения сотовых сетей подвижной связи (ССПС) на примере ССПС стандарта GSM. Исследовать пропускную способность ССПС на имитационной модели.

### 2. Краткие сведения об объекте моделирования

#### 2.1. Общие принципы стандарта GSM.

ССПС стандарта GSM предназначена для обмена речевой, факсимильной и цифровой информацией между абонентскими системами, находящимися в одной или в разных сотах, а также обмен с абонентами различных систем общего пользования. Упрощенная структурная схема ССПС GSM представлена на рис. 1.1.

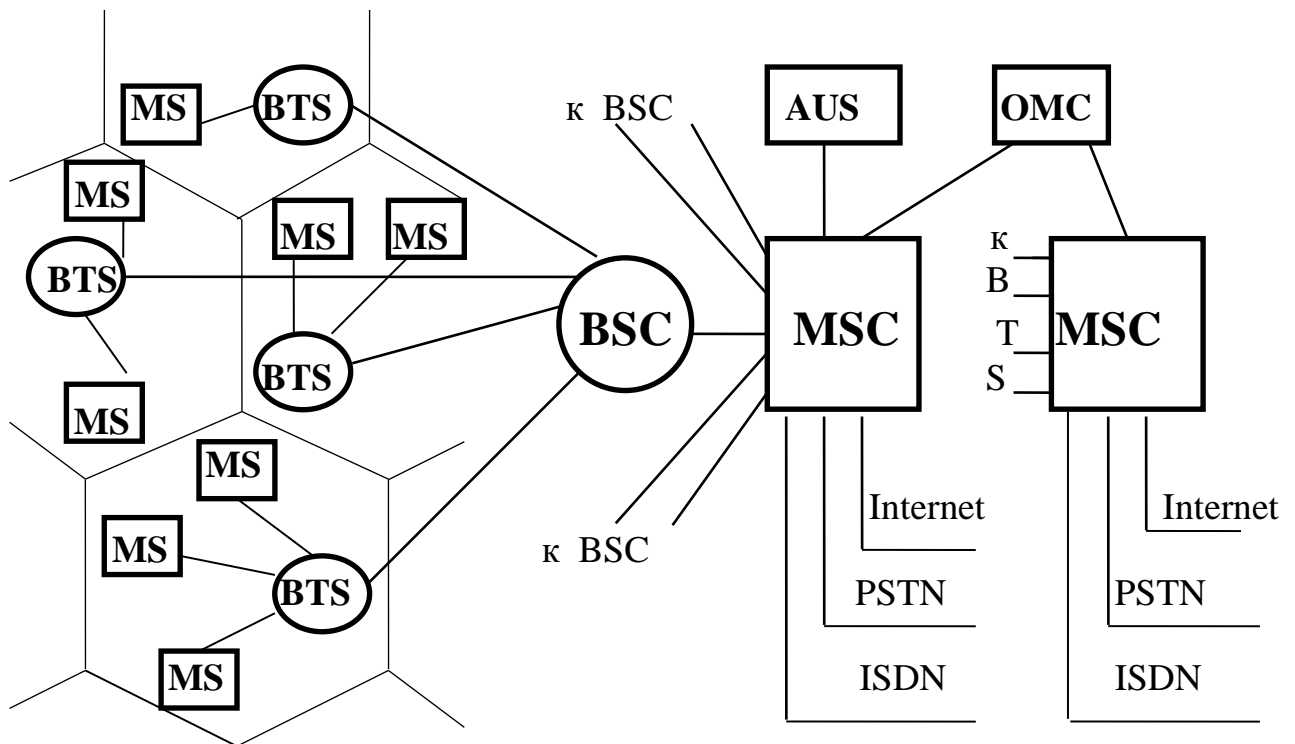


Рис . 1.1. Структурная схема сотовой сети стандарта GSM

Центр коммутации подвижной связи (MSC) обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений для подвижных станций (MS). MSC обеспечивает интерфейс между ССПС и фиксированными сетями: PSTN (телефонная сеть общего пользования), ISDN (цифровая сеть с интеграцией служб), PDN (сеть пакетной передачи данных, например, Internet) и др. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов, функции управления вызовами и коммутации радиоканалов. Кроме того, MSC организует “эстафетную передачу” для непрерывности связи при перемещении MS из соты в соту и пере-

ключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

Оборудование базовой станции (BSS) состоит из контроллера базовой станции (BSC) и приемопередающих базовых станций (BTS). Один BSC может управлять несколькими BTS. BSS управляет распределением радиоканалов, контролирует соединения, регулирует их очередность, обеспечивает режим работы с прыгающей частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи для речи, данных и вызова, определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

Центр управления и обслуживания (OMC) обеспечивает управление работой радио системы и организацию взаимодействия между BSS и MSC.

Подвижная станция (MS) состоит из оборудования для доступа абонентов сетей GSM к мобильным и фиксированным сетям. Каждый абонент имеет свой международный идентификационный номер (IMSI), записанный на его интеллектуальную карточку. На время пользования системой связи абонент получает стандартный модуль подлинности (SIM), который содержит IMSI, индивидуальный ключ аутентификации (Ki) и алгоритм аутентификации (A3).

Доступ абонента к сети производится после проверки подлинности абонента, в процессе которой MSC передает на MS случайное число (RAND). MS с помощью ключа Ki и алгоритма A3 формирует значение отклика (SRES) и посылает его в сеть. MSC сравнивает полученный отклик с ожидаемым (вычисленным сетью) и при совпадении продолжает организацию обмена.

При перемещениях MS центр коммутации MSC осуществляет перепривязки абонента между базовыми станциями BTS, контроллерами BSC или может передать данную MS в другой центр MSC. Эта процедура называется HANDOVER - передача абонента из зоны в зону при его движении в процессе сеанса связи без его перерыва. В отличие от HANDOVERа процедура роуминга предполагает возможность пользоваться своим сотовым телефоном в других регионах страны (национальный роуминг) или за рубежом (международный роуминг), не меняя своего городского номера.

Соединение абонентов с телефонной сетью общего пользования (PSTN) осуществляет MSC по линии связи 2 Мбит/с с помощью системы сигнализации SS-7. Для соединения с ISDN предусмотрено до четырех линий связи по 2Мбит/с, также поддерживаемых системой SS-7. Кроме того, определены интерфейсы для соединения с существующими аналоговыми ССПС (например, NMT 450), а также для соединения с международными сетями GSM.

В ССПС применяются методы многостанционного доступа с частотным (FDMA), временным (TDMA) и кодовым (CDMA) разделением каналов (рис. 1.2).

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций (окон) на каждой из 124-х несущих. Каждой MS для обмена предоставляется одно из окон на частоте передачи в по-

лосе 890-915 МГц (линия “вверх”) и одно из окон на частоте приема в полосе 935-960 МГц (линия “вниз”). Каждая полоса разделена на 124 частотных канала с разносом в 200 кГц. Таким образом, физический канал в стандарте GSM представляет собой комбинацию временного и частотного разделения сигналов ( $8 \times 124 = 992$  физических канала). Длина временного окна составляет 0.577 мс. Длина кадра равна  $8 \times 0.577 = 4.616$  мс. При длительности одного бита равной 3.69 мкс, что соответствует канальной скорости в 271 кбит/с, информационная скорость в каждом из 8-и временных каналов составляет 24.7 кбит/с (суммарная информационная скорость в одном частотном канале составляет  $8 \times 24.7 = 197.6$  кбит/с). Снижение скорости связано с тем, что в структуре окна из 156.25 бит информационными являются только 114 бит.

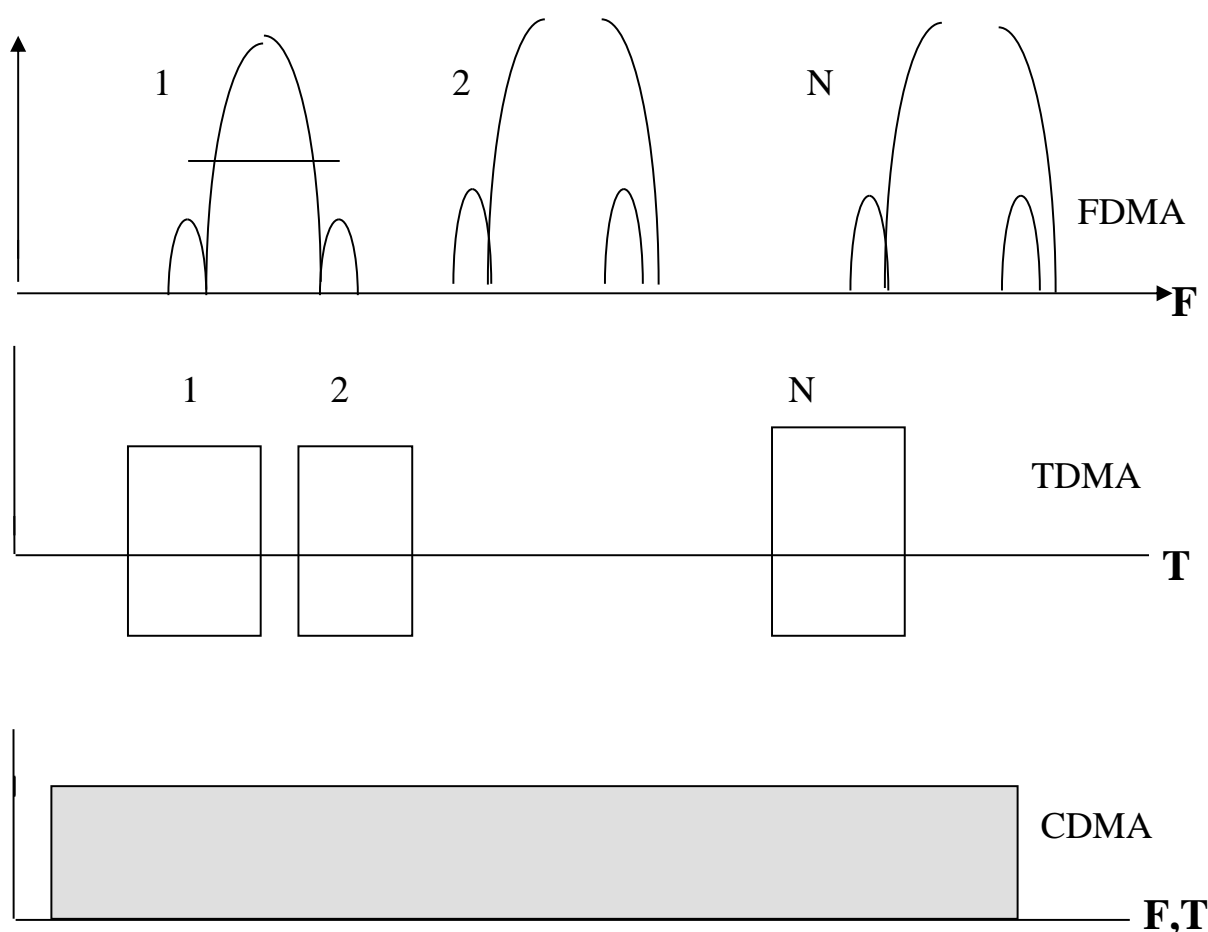


Рис. 1.2. Методы многостанционного доступа.

Одна из особенностей формирования сигналов в стандарте GSM - использование медленных скачков по частоте в процессе сеанса связи, что существенно повышает устойчивость связи в условиях многолучевости и перемещения MS (максимальный радиус ячейки составляет 35 км). Если учесть, что между окнами длиной в 0.577 мс на перестройку частоты затрачивается время порядка 1 мс, то результирующая информационная скорость



в GSM не превышает 9.6 кбит/с (используется ряд фиксированных скоростей: 300, 600, 1200, 2400, 4800 и 9600 кбит/с). Отметим, что при любых настройках и перестройках частоты сохраняется дуплексный разнос между каналами приёма и передачи в 45 МГц.

## 2.2. Управление установлением соединения.

Кадры в GSM объединяются в мультикадры (по 26 или по 51 кадру), в которых наряду с информационными TDMA кадрами присутствуют кадры каналов управления. Эти каналы используются для синхронизации, подстройки частоты, регулирования мощности передатчика, HANDOVERa и др. При установлении соединения используются:

- канал параллельного доступа (RACH, “MS  $\square$  сеть”) используется подвижной станцией в режиме ALOHA для доступа к сети в случае, если надо пройти регистрацию при включении или сделать вызов. Для канала RACH выделяется одно из 8-и окон в TDMA кадре. Если в данной соте имеется несколько частотных каналов, то канал RACH выделяется только в одном из них,

- канал разрешённого доступа (AGCH, “сеть  $\square$  MS”) используется для ответа станции, которая раньше сделала вызов по каналу RACH,

- канал вызова (PCH, “сеть  $\square$  MS”) используется для вызова подвижной станции в случае, когда инициатором вызова является сеть (абонент сети),

- индивидуальный канал управления (SDCCH/4), состоящий из 4-х подканалов, на одном из которых реализуется вся процедура организации обмена (идентификация, аутентификация, выделение окна и др.)

Процедура организации обмена в GSM весьма сложна - кроме 7-и рабочих каналов (2-х для речи и 5-и для данных), имеется 10 каналов управления различного назначения. Поэтому дальнейшее рассмотрение процессов в ССПС потребует некоторых упрощений для создания обозримой имитационной модели.

## 2.3. Исследуемые зависимости и упрощающие допущения.

Рассматривая ССПС, как систему массового обслуживания, поставим целью имитационного моделирования получение следующих показателей качества обслуживания абонентов одной выделенной соты:

- вероятность потери вызова из-за занятости рабочих каналов,
- вероятность потери вызова из-за занятости вызываемого абонента,
- распределение числа вызовов (первичных и повторных) на один успешный вызов,

- распределение времени организации рабочего канала (времени работы управляющих каналов),

- вероятность явной потери исходящего сообщения при ненулевой вероятности отказа абонента от повторения вызова.

На эти показатели влияют следующие параметры ССПС:

- число абонентов, находящихся в данный момент в соте,
- интенсивность исходящей и входящей нагрузки для каждого абонента,
- число рабочих каналов в соте, зависящее от числа выделенных данной BTS частотных каналов,

- время занятия управляющих каналов при входящем и исходящем вызовах, затрачиваемое на организацию рабочего канала и аутентификацию абонента.

Выбор числа рабочих частот в каждой соте, а также числа рабочих и управляющих каналов производится в зависимости от нагрузки, создаваемой абонентами данной соты. Рекомендуется рассчитывать общую нагрузку на BTS в предположении, что нагрузка от одного абонента составляет 0.025 Эрл (Это соответствует 1 вызову/час при средней продолжительности разговора – 90 с).

Фирма Motorola предлагает для определения чисел каналов TCH и SDCCCH пользоваться следующей таблицей (см. табл. 1.1).

В 1-м столбце - общая нагрузка на 1 BTS от всех абонентов соты. Во 2-м столбце - число выделяемых частотных каналов. В 3-м и 4-м столбцах - числа выделяемых рабочих и управляющих каналов. Напомним, что в каждом частотном канале имеется 8 временных окон, из которых небольшая часть выделяется под каналы управления (PCH, AGCH, SDCCCH и др.), а основная часть - под рабочие каналы (TCH). Например, при 4-х частотных каналах из 32-х временных окон 30 отведены под TCH, а в двух оставшихся окнах организуются различные управляющие каналы, в том числе и 12 каналов SDCCCH.

Таблица 1.1. Зависимость чисел каналов различных типов от нагрузки

| Нагрузка в Эрлангах (У) | Число частотных каналов | Число каналов TCH | Число каналов SDCCCH |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
| 2.94                    | 1                       | 7                 | 4                    |
| 8.90                    | 2                       | 14                | 8                    |
| 14.9                    | 3                       | 22                | 8                    |
| 21.9                    | 4                       | 30                | 12                   |
| 29.2                    | 5                       | 38                | 12                   |
| 35.6                    | 6                       | 45                | 16                   |
| 43.1                    | 7                       | 53                | 16                   |
| 50.6                    | 8                       | 61                | 20                   |
| 58.2                    | 9                       | 69                | 20                   |
| 65.8                    | 10                      | 77                | 20                   |

В системе рассматриваются вызовы трёх типов:

- вызов ВНИЗ - абонента данной соты вызывает внешний абонент, т.е. находящийся в других сотах или в фиксированных сетях,
- вызов ВВЕРХ - абонент данной соты вызывает внешнего абонента,
- внутрисотовый вызов - абонент вызывает абонента своей соты.

Заметим, что самому абоненту эти варианты неизвестны и действия его не зависят от местонахождения вызываемого абонента.

Вызов ВВЕРХ инициируется абонентом и начинается с захвата канала параллельного доступа (Random Access Channel - RACH). Доступ к этому каналу осуществляется в режиме АЛОНА. Процедура организации обмена со-

стоит в следующем:

- MS посылает запрос на MSC через свой BTS на общем для всех MS данной соты частотно-временном канале RACH,
- получив и идентифицировав запрос, MSC через BTS по каналу разрешённого доступа (Access Grant Channel - AGCH) сообщает абонентской MS номер одного из 4-х индивидуальных каналов управления SDCCH/4,
- двусторонний канал SDCCH обеспечивает установку требуемого абонентом вида обслуживания, включая аутентификацию абонента, запрос вида обслуживания и выделение свободного рабочего канала (Traffic Channel - TCH),
- заняв один из каналов TCH MS выдаёт идентификатор (IMSI) вызываемого абонента и после установления соединения абоненты начинают обмен,
- по окончании обмена производится разъединение соединения.

Первая фаза этой процедуры - захват канала RACH - может закончиться неудачей, если две или более MS одновременно (или почти одновременно) выдадут в сеть свои запросы. MSC не сможет идентифицировать эти запросы и не ответит подвижным станциям по каналу AGCH. Не получив ответ, в соответствии с алгоритмом ALOHA, MS произведет так называемый откат и повторит свой запрос. Однако, во избежание нового столкновения новые запросы выполняются через некоторые случайные интервалы времени.

Выбор этих интервалов производится следующим образом:

- после первого отката MS выбирает с вероятностью  $P_1=1/2$  одно из чисел - 0 или 1, на которые умножается время единичного кванта ожидания  $T_{кв}$ ,
- после второго отката с вероятностью  $P_2=1/4$  выбирается одно из чисел - 0, 1, 2 или 3,
- после третьего -  $P_3=1/8$ , числа 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 или 7,
- после  $i$ -го отката с вероятностью  $P_i=1/2^i$  выбирается одно из чисел  $\square$  в интервале от 0 до  $2^i-1$ . Тогда  $(i+1)$ -й вызов произойдёт через время  $\square T_{кв}$ . Очевидно, что с каждым откатом увеличивается как среднее время ожидания, так и его разброс, а независимый выбор чисел  $\square$  на разных MS снижает вероятность новых столкновений.

Число автоматических безуспешных попыток ограничено в GSM числом 7. После этого абонент может начать процедуру вызова сначала.

При вызове ВНИЗ сеть сообщает об этом абоненту по каналу вызова (Paging Channel - PCH). Дальнейшая процедура установления соединения аналогична описанной при вызове ВВЕРХ, исключая фазу выдачи идентификатора вызываемого абонента.

Внутрисотовый обмен для вызывающего абонента является вызовом ВВЕРХ, а для вызываемого - вызовом ВНИЗ. При этом связь может установиться только при наличии двух свободных рабочих каналов.

В описанных выше процедурах организации соединения опущен целый ряд этапов, таких как подстройка частоты, синхронизация, регулировка уровня мощности и др, поскольку они либо слабо влияют на пропускную

способность, либо время проведения этих процедур входит в описанные выше этапы организации связи.

### **3. Вопросы для домашней подготовки**

- 3.1. Сформулируйте назначение ССПС.
- 3.2. Объясните структурную схему ССПС с технологией GSM.
- 3.3. С какими внешними сетями могут связаться абоненты GSM?
- 3.4. Как организуется аутентификация абонента?
- 3.5. Что такое HANDOVER?
- 3.6. Что такое роуминг?
- 3.7. Какие методы многостанционного доступа используются в ССПС?
- 3.8. В каком частотном диапазоне организованы каналы GSM?
- 3.9. Что представляет собой кадр TDMA?
- 3.10. С какими скоростями производится обмен информацией в GSM?
- 3.11. Как организуется доступ абонента в сеть?
- 3.12. Какие управляющие каналы используются при установлении соединения?
- 3.13. Какие показатели качества обслуживания исследуются на имитационной модели?
- 3.14. Какие параметры системы влияют на качественные показатели системы?
- 3.15. Какие допущения принимаются при анализе системы?
- 3.16. При каких условиях возможно установление соединения для каждого из трёх рассматриваемых типов вызова?
- 3.17. Как определяются числа рабочих и управляющих каналов в соте?

### **4. Описание имитационной модели**

#### **4.1. Реализация основных элементов модели.**

За единицу модельного времени принята 0.1 секунды. Входной поток вызовов генерируется блоком GENERATE (см. п.4.2), разбивается на три части в соответствии с аргументами функции TIP: вызовы ВВЕРХ, ВНИЗ и внутрисотовые. Сгенерированные транзакты последовательно проходят блоки программы, имитирующие работу каналов PCN, RACH, AGCH, SDCCN и TCH.

Вводимые параметры и измеряемые характеристики модели представлены в листинге программы.

В модели приняты следующие допущения:

- вероятности повторения вызова после отказа, а также длительность ожидания до повтора - одинаковы для любого типа вызова,
- время занятия рабочего канала при несостоявшемся внутрисотовом соединении - пренебрежимо мало,
- освобождение каналов по окончании обмена происходит мгновенно.

Нагрузка, поступающая в сеть от одного абонента, создается потоком вызовов интенсивностью 1 вызов/час и средней продолжительностью ин-

формационного обмена, равной 1.5 мин. Это соответствует рекомендуемой для расчета фирмой Motorola величине нагрузки  $Y=0.025$  Эрл.

Различные результаты прогона фиксируются в следующих строках матрицы MREZ:

- 1-я строка - отказы из-за отсутствия свободных каналов PCH;
- 2-я строка - отказы из-за отсутствия свободных каналов RACH;
- 3-я строка - отказы из-за отсутствия свободных каналов AGCH;
- 4-я строка - отказы из-за отсутствия свободных каналов SDCCCH;
- 5-я строка - отказы из-за отсутствия свободных каналов TCH;
- 6-я строка - отказы из-за занятости абонента;
- 7-я строка - несостоявшиеся соединения из-за отказов абонентов от повтора;
- 8-я строка – доля успешных вызовов

При этом в 1-м столбце фиксируются числа событий, а во 2-м столбце – вычисленные вероятности наступления этих событий, т.е.  $P_{PCH}$ ,  $P_{RACH}$ ,  $P_{AGCH}$ ,  $P_{SDCCCH}$ ,  $P_{TCH}$ ,  $P_{зан.аб}$ ,  $P_{н.с.от.п}$ ,  $P_{усп.соед.}$ .

Результаты прогона фиксируются также в трёх гистограммах:

- TUPR - распределение времени установления соединения;
- VYZV - распределение числа вызовов на 1 первичный вызов;
- OTKT - распределение числа откатов до захвата канала RACH.

#### 4.2. Листинг моделирующей программы.

```
; МОДЕЛЬ СОТОВОЙ СЕТИ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM
; 1 единица модельного времени равна 0.1с
ABON EQU 300 ;Установка числа абонентов в сети
OTKPOV EQU 300 ;Вер. отказа от повторения вызова (в промилях)
TRACH EQU 3 ;Время работы канала RACH
TPCH EQU 10 ;Время работы канала PCH
TAGCH EQU 1 ;Время работы канала AGCH
TSDCCCH EQU 30 ;Время работы канала управления SDCCCH
TUST EQU 150 ;Время установления соединения в сетях ОП
TTCH EQU 90 ;Среднее время одного обмена в секундах
POTOK EQU 1 ;Интенсивность вызовов от одного абонента в час
PUST EQU 950 ;Вероятность установления соединения в сети ОП
OJPOV EQU 100 ;Время ожидания до повторения вызова
MREZ MATRIX ,8,2
RACH STORAGE 100 ;Имитируемое число каналов в канале доступа
TCH STORAGE 22 ;Число рабочих каналов в системе
PCH STORAGE 4
AGCH STORAGE 4
SDCCCH STORAGE 4 ;Число индивидуальных каналов управления
VINT VARIABLE 36000/POTOK/(ABON-$TCH)
OBMEN VARIABLE 10#TTCH ;Вычисление длительности обмена
VYZV VARIABLE P$VYZV+1
CHOTK VARIABLE P$CHOTK+1
VZANA FVARIABLE 1000#$TCH/ABON ;Вероятность занятости абонента
TOJ VARIABLE RN1/FN$STP#10 ;Ожидание после отката
STP FUNCTION P$CHOTK,D7
1,500/2,250/3,125/4,62/5,31/6,16/7,8
TIP FUNCTION RN1,D3
.45,1/9,2/1,3
PCH FVARIABLE N$B7/N$VYZ
RAH FVARIABLE N$OTKD/N$VYZ ;Вычисление
```

```

AGH  FVARIABLE  N$B8/N$VYZ
SDH  FVARIABLE  N$B9/N$VYZ ;вероятностей
RAB  FVARIABLE  N$A8/N$VYZ
ABN  FVARIABLE  N$A9/N$VYZ ;отказов
OTKS  FVARIABLE  N$OTKNS/N$FIN
USPESH FVARIABLE (N$OBM+N$B6)/N$FIN ;доля успешных вызовов
RASPR FUNCTION  RN1,C24
0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38/
.8,1.6/.84,1.85/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2/
.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/1,8
VYZV  TABLE  P$VYZV,0,1,20 ;Распре д. числа вызовов на одно соединение
OTKT  TABLE  P$CHOTK,0,1,10 ;Распредел. числа откатов до захвата RACH
TUPR  TABLE  MP$TUP,0,10,50 ;Распр. времени орган. канала
;-----
      GENERATE  V$VINT,FN$RASPR ;Генерация общего входного потока
      ASSIGN    VYZV,0
      ASSIGN    CHOTK,0
      ASSIGN    STLK,0
      ASSIGN    TIP,FN$TIP ;Выбор типа вызова
      TEST E    P$TIP,1,VYZ ;Вызов ВНИЗ?
B1  TRANSFER  V$VZANA,,A9 ;Да! Вызываемый абонент занят?
B2  GATE SF    PCH,A4 ;Нет! Есть свободный канал?
B7  MSAVEVALUE MREZ+,1,1,1 ;Нет!
      TRANSFER ,POVT
A4  ENTER     PCH ;Занятие канала PCH
      ADVANCE  TPCCH ;Время вызова
      LEAVE    PCH ;Освобождение канала PCH
VYZ  ASSIGN    VYZV,V$VYZV ;Счетчик числа вызовов на один первичный
      MARK     TUP
A3  GATE SNE   RACH,AA1 ;Канал доступа свободен?
      ASSIGN    STLK,1 ;Нет! Регистрация столкновения
AA1  ENTER     RACH ;Захват канала RACH
      ADVANCE  TRACH ;Передача вызова по каналу RACH
      LEAVE    RACH ;Освобождение канала RACH
      GATE SE   RACH,OTKAT ;Канал занят другими вызовами?
      TEST E    P$STLK,0,OTKAT ;Нет! Для данного вызова было столкнов?
      TABULATE  OTKT ;Нет!
      GATE SF    AGCH,A5 ;Канал свободен?
B8  MSAVEVALUE MREZ+,3,1,1 ;Нет!
      TRANSFER ,POVT
A5  ENTER     AGCH ;Работа канала
      ADVANCE  TAGCH ;AGCH
      LEAVE    AGCH
      GATE SF    SDCCH,A6 ;Работа канала
B9  MSAVEVALUE MREZ+,4,1,1
      TRANSFER ,POVT
A6  ENTER     SDCCH ;SDCCH
      ADVANCE  TSDCCH,TSDCCH
      LEAVE    SDCCH
      TABULATE  TUPR
      TEST NE   P$TIP,3,VNTR ;Внутрисотовый обмен?
B4  GATE SNF    TCH,A8 ;Нет! Есть свободный рабочий канал?
      ENTER     TCH ;Да! Занятие рабочего канала
      TEST E    P$TIP,2,OBM ;Вызов ВВЕРХ?
      ADVANCE  TUST ;Да! Установление соединения в сети ОП
      TRANSFER  PUST,,OBM ;Переход, если соединение установлено
      LEAVE    TCH ;Освобождение рабочего канала
      TRANSFER ,POVT
OBM  ADVANCE  V$OBMEN,FN$RASPR ;Время обмена сообщениями
      LEAVE    TCH ;Освобождение канала
      MSAVEVALUE MREZ+,8,1,1
      TRANSFER ,FIN
VNTR TRANSFER  V$VZANA,,A9 ;Переход, если абонент занят

```

```

B3  TEST GE   R$TCH,2,A8      ;Есть 2 свободных рабочих канала?
B6  ENTER    TCH,2           ;Занятие двух каналов
    ADVANCE   V$OBMEN,FN$RASPR ;Время внутрисотового обмена
    LEAVE     TCH,2           ;Освобождение двух каналов
    MSAVEVALUE MREZ+,8,1,1
FIN  TABULATE VYZV
    TEST E    TG1,1,FINAL      ;Данный транзакт последний?
    MSAVEVALUE MREZ,1,2,V$PCH
    MSAVEVALUE MREZ,2,2,V$RAH
    MSAVEVALUE MREZ,3,2,V$AGH
    MSAVEVALUE MREZ,4,2,V$SDH
    MSAVEVALUE MREZ,5,2,V$RAB
    MSAVEVALUE MREZ,6,2,V$ABN
    MSAVEVALUE MREZ,7,2,V$OTKS
    MSAVEVALUE MREZ,8,2,V$USPESH
FINAL TERMINATE 1
OTKAT ASSIGN   STLK,0          ;Обнуление признака столкновения
    ASSIGN     CHOTK,V$CHOTK
    TEST L     P$CHOTK,7,OTKD   ;Предельное число откатов?
    ADVANCE    V$TOJ            ;Ожидание до повторного захвата канала RACH
    TRANSFER    ,A3
POVT TRANSFER  OTKPOV,,OTKNS    ;Переход, если абон. отказывается от повтора
    ASSIGN     CHOTK,0          ;Обнуление числа откатов
A2  ADVANCE    OJPOV,OJPOV      ;Ожидание абонента до повторного вызова
    TRANSFER    ,VYZ
OTKD MSAVEVALUE MREZ+,2,1,1     ;Регистрация отказа по доступу
    TABULATE    OTKT
    TRANSFER    ,POVT
OTKNS MSAVEVALUE MREZ+,7,1,1
    TRANSFER    ,FIN
A8  MSAVEVALUE MREZ+,5,1,1
    TRANSFER    ,POVT
A9  MSAVEVALUE MREZ+,6,1,1
    TRANSFER    ,POVT

```

## 5. Лабораторное задание

5.1. Изучить модель ССПС, способы ввода исходных данных и считывания результатов эксперимента.

5.2. Зафиксировать результаты эксперимента (матрица MREZ и гистограммы) для заданных в работе исходных данных.

5.3. Снять зависимости основных выходных показателей от изменения числа абонентов в соте. Провести четыре прогона до утроения исходного числа абонентов, начиная с числа, указанного в табл. 1.2 для каждой бригады. Число абонентов устанавливается в начале программы константой ABON.

Таблица 1.2. Выбор числа абонентов в соте по номеру бригады

| Номер бригады   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Число абонентов | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 | 370 | 380 | 390 |

Результаты прогонов занести в табл. 1.3. Полученные зависимости представить на одном графике. Для крайних значений аргумента зафиксировать гистограммы.

Таблица 1.3. Результаты экспериментов по прогонам

| Номер эксперимента             |                                       | 1     | 2 | 3 | 4 | ... |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------|---|---|---|-----|
| Ус-<br>ло-<br>вия              | Число абонентов                       | 300   |   |   |   |     |
|                                | Вер.отказа абонента от повтора        | .300  |   |   |   |     |
|                                | Длительн.работы канала RACH, с        | 0.3   |   |   |   |     |
|                                | Удельная.аб.нагр. $y=\lambda t$ , Эрл | 0.025 |   |   |   |     |
| Ре-<br>зу-<br>ль-<br>та-<br>ты | $n_2$ - вер.потерь в кан. RACH        | .000  |   |   |   |     |
|                                | $n_4$ -вер.потерь в кан. SDCCCH       | .000  |   |   |   |     |
|                                | $n_5$ - вер.потерь в кан. TCH         | .000  |   |   |   |     |
|                                | $n_7$ - вер.н.с. из-за отк. от повт.  | .013  |   |   |   |     |
|                                | $n_8$ - доля успешных вызовов         | .987  |   |   |   |     |

5.4. Установить число абонентов в соте (оператор ABON) равное утроенному значению, указанному в табл. 1.2 для своего варианта. Снять зависимости параметров  $P_{RACH}$ ,  $P_{SDCCCH}$ ,  $P_{TCH}$ ,  $P_{н.с.от.п.}$ ,  $P_{усп.соед}$  от вероятности отказа абонента от повторения вызова (оператор ОТКРОВ). Произвести прогон и построить графики для значений оператора ОТКРОВ равных 0.2, 0.4, 0.6 и 0.8. Для крайних значений аргумента зафиксировать гистограммы.

5.5. Установить исходное значение вероятности отказа абонента от повторения вызова (оператор ОТКРОВ), равное 0.3. Снять характеристики по п. 5.4 в зависимости от длительности занятия канала множественного доступа RACH (оператор TRACH), меняя это время от 0.1 до 0.5с. Для крайних значений аргумента зафиксировать гистограммы.

5.6. Составьте произвольный сценарий последовательного увеличения нагрузки в отдельной соте. Например, изменением числа абонентов (ABON), длительности обмена (TTCH) или интенсивности вызовов от одного абонента (ПОТОК). Изменения должны быть такими, чтобы качество обслуживания абонентов существенно ухудшилось. Выберите реакцию оператора сотовой связи на эти изменения и последовательно вносите корректирующие изменения в исходную программу. Зафиксировать и объяснить результаты прогонов, добиваясь наиболее экономного (с точки зрения количества используемых каналов) варианта обеспечения качества обслуживания абонентов.

При выполнении данного пункта следует ориентироваться на информацию из табл. 1.1. Общая нагрузка, поступающая от абонентов данной соты равна произведению числа абонентов на удельную абонентскую нагрузку, т.е.

$$Y = N y = N \lambda t$$

## 6. Отчет по работе

6.1. Описать работу модели ССПС и перечень вводимых в модель и измеряемых параметров.

6.2. Построить графики зависимостей по пп.5.3-5.6 и гистограммы по



этим пунктам.

6.3. Объяснить полученные функциональные зависимости.

## **7. Контрольные вопросы**

7.1. Объяснить зафиксированные по результатам прогонов зависимости.

7.2. Какая разница в обработке вызовов различных типов?

7.3. В какой последовательности участвуют в установлении соединения управляющие каналы?

7.4. Как вычисляются вероятности потерь вызовов из-за занятости различных элементов системы?

7.5. Почему при увеличении числа абонентов в соте снижается вероятность занятости абонента?

7.6. Как влияет вероятность отказа абонента от повтора на основные показатели сети?

7.7. Как зависят основные показатели сети от длительности занятия канала множественного доступа?

7.8. Как выбираются числа частотных, рабочих и управляющих каналов в соте?

1. Литература: [1, 2, 3, 4, 7].

## **Лабораторная работа № 2**

### **Анализ качества обслуживания абонентов в сельской телефонной сети**

**1. Цель работы:** Исследовать основные характеристики сети коммутации каналов на примере анализа сельской телефонной сети (СТС). Изучить особенности СТС.

#### **2. Краткие сведения об объекте моделирования**

Построение СТС определяется размещением населённых пунктов на территории района, а также характером сельскохозяйственного производства, так как СТС обеспечивает абонентов как телефонной связью общего пользования, так и внутрипроизводственной связью.

К особенностям СТС относится:

- значительная территория с меньшей, чем в городе, телефонной плотностью;
- неравномерное распределение абонентов по территории;
- меньшая ёмкость АТС (50-1000 номеров);
- значительные расстояния между АТС;

- меньшее число соединительных линий (СЛ) в пучках между АТС.

Это предопределяет более высокие капитальные и эксплуатационные расходы по линейным сооружениям. Для повышения использования СЛ применяются следующие меры:

- радиальный и радиально-узловой способы построения СТС с целью укрупнения пучков межстанционных СЛ;
- использование линий двустороннего действия в направлениях к малоёмкостным станциям;
- использование малоканальных систем передач;
- увеличение норм допустимых потерь сообщений по сравнению с нормами потерь в ГТС (0,01 вместо 0.005);
- использование одних и тех же линий для установления как местных, так и междугородных соединений.

Для сокращения протяжённости абонентских линий на СТС применяют районирование и узлообразование. Различают следующие виды станций (рис. 2.1):

- центральная станция ЦС, расположенная в райцентре, являющаяся основным коммутационным узлом СТС и имеющая выход на ТЗУС (АМТС);
- узловые станции УС, расположенные в любом населённом пункте;
- конечные станции, подключаемые к УС или ЦС.

Принятые топологии СТС допускают для некоторых ОС при наличии соответствующего тяготения организовывать, кроме пучков к узловым станциям, ещё и прямые либо скроссированные линии к другим ОС или к центральной станции (показано пунктиром).

Источником нагрузки для СТС являются абонентские телефонные аппараты, подключенные абонентскими линиями к станциям любого типа, а также внешние источники нагрузки (МТС, ГТС, УСС) подключённые соединительными линиями к центральной станции.

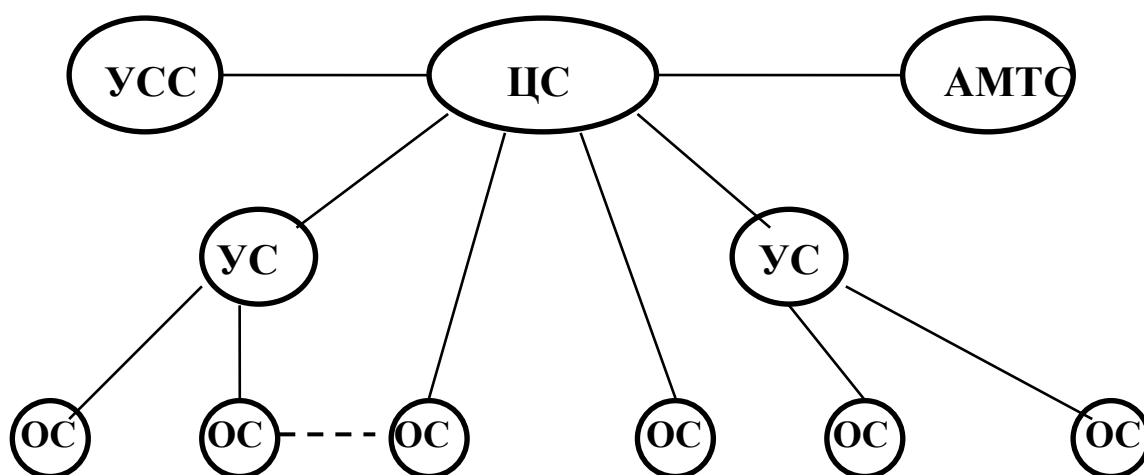


Рис. 2.1. Структурная схема сельской телефонной сети

Нагрузка характеризуется матрицей взаимообменов (МВ), строки и

столбцы, которой соответствуют станциям сети (ОС, УС и ЦС) и таким источникам как МТС (Междугородная телефонная сеть), ГТС и УСС. Элементы матрицы ( $\lambda_{ij}$ ) определяют количество вызовов в ЧНН, возникающих в станции  $i$  и адресуемых станций  $j$ .

Так как статистика телефонной нагрузки (количество вызовов и длительность занятия) определена для трёх типов абонентских телефонов (квартирные, учрежденческие и таксофоны), то в общем случае, нагрузка должна определяться тремя матрицами взаимообменов.

Один из способов определения МВ предполагает:

- распределение исходящей из данной станции нагрузки пропорционально ёмкости остальных станций;
- распределение исходящей из данной станции нагрузки пропорционально ёмкости остальных станций с учётом нормированных коэффициентов тяготения.

Анализ качества функционирования СТС предполагает:

- определение вероятностей отказов в установлении соединения между всеми парами станций;
- определение количества повторных вызовов на один успешный;
- определение степени загруженности межстанционных СЛ;
- вычисление дохода, получаемого администрацией СТС за предоставленные услуги.

Существующие аналитические методы исследования СТС позволяют, в лучшем случае, определять математические ожидания для потоков, поступающих на каждый пучок СЛ. После этого, делая серьёзное допущение о взаимной независимости этих потоков, можно определить вероятности отказов в установлении соединения между любой парой станций. Для получения более детальных показателей используют натурное или имитационное моделирование.

В качестве главных показателей, на которые следует ориентироваться при оптимизации СТС, целесообразно выделить доход ( $D$ ) и число повторных вызовов ( $Q$ ). Эти показатели противоречивы. Пренебрегая качеством обслуживания (т.е. увеличивая  $Q$ ) можно повысить доход за счет большего коэффициента использования каналов. Однако при некотором уровне блокировок могут возрасти загрузки каналов при начальных этапах установления соединения. А если в целом многотранзитное соединение не устанавливается, то доход не начисляется.

Ввиду противоречивости показателей  $D$  и  $Q$ , в данной работе для оптимизации сети используется один из вариантов обобщенного критерия эффективности:

$$S = D/(1+Q) \quad (1)$$

При желании учесть в обобщённом критерии и потерянные вызовы (неустановленные соединения) можно дополнить критерий (1) числом потерянных вызовов  $Z$ . Например:

$$S_1 = D/(1+Q+2Z) \quad (2)$$

Оба критерия возрастают при увеличении дохода  $D$  и снижаются при увеличении явных ( $Z$ ) или неявных ( $Q$ ) потерь. Единица в знаменателе позволяет избежать деления на ноль при отсутствии потерь.

Подобные критерии носят весьма субъективный характер и должны составляться опытными экспертами. Так, например, в критерии (2) коэффициент 2 перед параметром  $Z$  свидетельствует о вдвое большей нежелательности потерь вызовов по сравнению с их повторами. Но другие эксперты с учётом характера пользовательских требований могли бы установить этот коэффициент равным, например, 0.5 или 4, или вообще предложить совершенно другие соотношения для  $S$  и  $S_1$ .

### 3. Вопросы для домашней подготовки

- 3.1. Определите состав и топологию СТС.
- 3.2. Как представляется нагрузка на СТС?
- 3.3. Какими показателями характеризуется качество работы СТС?
- 3.4. От чего зависит число повторных вызовов на одно установленное соединение?
- 3.5. Объясните смысл обобщенных критериев эффективности СТС.

### 4. Описание имитационной модели.

#### 4.1. Реализация основных элементов модели.

Исследуемая модель (см. п. 4.2.) имитирует СТС, представленную на рис.2.2, содержащую пять станций ( $C_i$ ) и пять соединительных линий ( $V_k$ ).

Генерация общего (для всех источников) потока вызовов производится блоком GENERATE в соответствии с суммарным входным потоком:

$$\Lambda = \sum_i \sum_j \lambda_{ij}$$

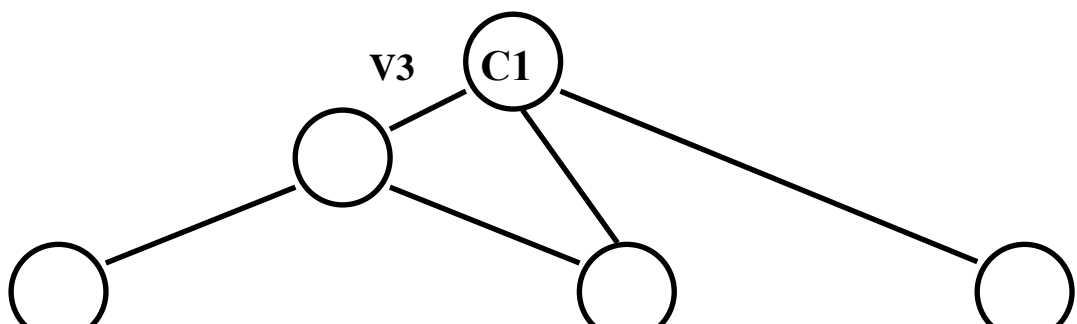
где  $\lambda_{ij}$  - элементы МВ,  $i, j = 1-5$ .

$i$  – номер исходящего узла,

$j$  – номер входящего узла.

Интервалы между вызовами распределены по экспоненциальному закону.

Конкретное значение интенсивности вызовов задаётся через среднее значение интервала между вызовами (оператор INTER в программе STS-W). В исходном варианте установлен интервал 30 сек., что соответствует интенсивности 2 выз/мин или 120 выз/час.



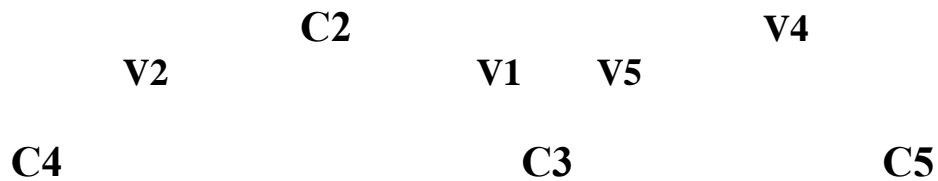


Рис. 2.2. Схема моделируемой СТС

Длительность обмена устанавливается оператором ТОВМ в секундах для трёх категорий абонентов – 180, 300 или 180 секунд для абонентов квартирных, учрежденческих или таксофонов, соответственно. В данном варианте модели сделано необязательное допущение, об одинаковом распределении категорий вызовов на каждой станции. Длительность разговора имитируется в зависимости от этой категории. Распределение вызовов по категориям реализуется оператором с меткой ТІР в соотношении 0.6, 0.3 и 0.1. Величина дохода подсчитывается в условных единицах из расчета “1 минута разговора - 1 у.е.”

Блок ОТРР распределяет каждый исходящий телефонный вызов по источникам (станциям) в соответствии с распределением вероятностей:

$$P_i = \lambda_i / \Lambda,$$

где  $\lambda_i = \sum_j \lambda_{ij}$  - суммарный исходящий поток из  $i$ -го узла, а  $\Lambda$  - общий суммарный исходящий (входящий) поток в СТС.

Блоки РОLi распределяют каждый вызов, исходящий из источника  $i$  по получателям  $j$  в соответствии с распределением вероятностей

$$P_{ij} = \lambda_{ij} / \lambda_i$$

В исходном варианте каждый вызов с одинаковой вероятностью исходит из любой станции.

Каждому вызову-транзакту присваиваются значения следующих параметров:

- номер станции отправителя,
- номер станции получателя,
- категория абонента (квартирный, учрежденческий, таксофон).

Станции и пучки соединительных линий имеют порядковую нумерацию. Каждый пучок характеризуется числом каналов. Число каналов устанавливается операторами STORAGE (метки В1 – В5). В исходном варианте в каждой ветви по 5 каналов.

При имитации установления соединения на каждом коммутируемом участке затрачивается время TUST, задаваемое в исходных данных. При прохождении транзакта по программе регистрируется количество повторов по данному вызову.

Основные результаты прогона фиксируются в стандартном отчёте (Report), матрицах и гистограмме.

Информация в матрицах:

- а) MAREZ – матрица основных результатов:
- V - число обработанных вызовов (успешных и отказанных), которое задаётся оператором START при запуске программы),
  - Q - число успешных вызовов, обслуженных хотя бы с одним повтором,
  - Z - число вызовов, снятых с обслуживания,
  - q - доля вызовов, обслуженных хотя бы с одним повтором ( $q = Q/V$ ),
  - z - доля вызовов, снятых с обслуживания ( $z = Z/V$ ),
  - D - суммарный доход от обслуживания всех вызовов,
  - d – удельный доход в пересчёте на один обслуженный вызов ( $d = D/V$ ).
- б) MISPK – матрица коэффициентов использования каналов в ветвях.
- в) MOTKV – матрица чисел отказов из-за отсутствия свободных каналов в ветвях.
- г) MOBU – матрица чисел требуемых соединений между парами узлов.
- д) MOTKU – матрица чисел не установленных соединений между парами узлов из-за отсутствия свободных каналов в ветвях.
- е) MVEROT – матрица вероятностей отказов в установлении соединений между парами узлов из-за отсутствия свободных каналов в ветвях.
- Гистограмма CHPOV фиксирует распределение числа повторов (от 0 до 10), которое потребовалось произвести для установления соединения.

#### 4.2. Листинг моделирующей программы

; МОДЕЛЬ СЕЛЬСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ.

; 1 е.м.в. = 1 секунде

INTERV EQU 60 ;интервалы между вызовами в общем потоке вызовов

TOBVM FUNCTION P\$TIP,D3 ;время обмена по категориям

1,180/2,300/3,180

TUST EQU 1 ;время установления соединения

VEROTP EQU .300 ;вероятность отказа абонента от повтора

TOG EQU 30 ;время ожидания до повтора после отказа

AA1 EQU 1

A2 EQU 2

A3 EQU 3

A4 EQU 4

A5 EQU 5

B1 EQU 1

B2 EQU 2

B3 EQU 3

B4 EQU 4

B5 EQU 5

A101 EQU 101

A102 EQU 102

A103 EQU 103

A104 EQU 104

A105 EQU 105

A201 EQU 201

A202 EQU 202

A203 EQU 203

A204 EQU 204

A205 EQU 205

MAREZ MATRIX H,7,1

MISPK MATRIX H,5,1

MOTKV MATRIX H,5,1

MOTKU MATRIX H,5,5

MOBU MATRIX H,5,5

```

MVEROT MATRIX      H,5,5
CHPOV TABLE      P$POV,0,1,10
B1  STORAGE      5
B2  STORAGE      5
B3  STORAGE      5
B4  STORAGE      5
B5  STORAGE      5
RASPR FUNCTION     RN1,C24
0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38/
.8,1.6/.84,1.85/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2/
.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/1,8
TIP  FUNCTION      RN1,D3
.6,1/.9,2/1,3
OTPR FUNCTION      RN1,D5 ;выбор отправителя
.2,1/4,2/.6,3/8,4/1,5
AA1  FUNCTION      RN1,D4 ;выбор получателя
.25,2/.5,3/.75,4/1,5
A2  FUNCTION      RN1,D4
.25,1/.5,3/.75,4/1,5
A3  FUNCTION      RN1,D4
.25,1/.5,2/.75,4/1,5
A4  FUNCTION      RN1,D4
.25,1/.5,2/.75,3/1,5
A5  FUNCTION      RN1,D4
.25,1/.5,2/.75,3/1,4
A101 FUNCTION      P$POL,D4 ;таблица маршрутизации
2,3/3,5/4,3/5,4
A102 FUNCTION      P$POL,D4
1,3/3,1/4,2/5,3
A103 FUNCTION      P$POL,D4
1,5/2,1/4,1/5,5
A104 FUNCTION      P$POL,D4
1,2/2,2/3,2/5,2
A105 FUNCTION      P$POL,D4
1,4/2,4/3,4/4,4
A201 FUNCTION      P$POL,D4
2,2/3,3/4,2/5,5
A202 FUNCTION      P$POL,D4
1,1/3,3/4,4/5,1
A203 FUNCTION      P$POL,D4
1,1/2,2/4,2/5,1
A204 FUNCTION      P$POL,D4
1,2/2,2/3,2/5,2
A205 FUNCTION      P$POL,D4
1,1/2,1/3,1/4,1
TARIF VARIABLE     P$TOBM/600
POV  VARIABLE      P$POV+1
PAR  VARIABLE      P$KU+100
PAR1 VARIABLE      P$KU+200
GRU  VARIABLE      X$GRU@10000+1
NVYZ VARIABLE      N$BB+1
YVN  VARIABLE      X$OTKAZ/V$NVYZ
NYVN VARIABLE      X$CHPOV/V$NVYZ
DOH  VARIABLE      X$DOHOD/V$NVYZ
TOBM VARIABLE      FN$TOBM#FN$RASPR
VEROT FVARIABLE     1000#MX$MOTKU(P$OTPR,P$POL)/MX$MOBU(P$OTPR,P$POL)
;-----
GENERATE INTERV, FN$RASPR
ASSIGN OTPR, FN$OTPR
ASSIGN POL, FN*OTPR
ASSIGN TIP, FN$TIP
ASSIGN POV, 0
POVT ASSIGN KU, P$OTPR

```

```

SAVEVALUE GRU,V$GRU
ASSIGN GRU,X$GRU
CICL ASSIGN PAR,V$PAR
ASSIGN VETV,FN*PAR
ASSIGN PAR1,V$PAR1
ASSIGN KU,FN*PAR1
GATE SNF P$VETV,OTK
SPLIT 1,MET1
ENTER P$VETV
LINK GRU,FIFO
MET1 ADVANCE TUST
TEST E P$KU,P$POL,CICL
ASSIGN TOBM,V$TOBM
ADVANCE P$TOBM
SAVEVALUE DOHOD+,V$TARIF
TRANSFER ,FIN
OTK UNLINK E GRU,AA,ALL,GRU,P$GRU
MSAVEVALUE MOTKV+,P$VETV,1,1
TRANSFER VEROTP,OTKA
ADVANCE TOG,TOG
ASSIGN POV,V$POV
TRANSFER ,POVT
OTKA SAVEVALUE OTKAZ+,1
MSAVEVALUE MOTKU+,P$OTPR,P$POL,1
FIN MSAVEVALUE MOBU+,P$OTPR,P$POL,1
MSAVEVALUE MVEROT,P$OTPR,P$POL,V$VEROT
TABULATE CHPOV
UNLINK E GRU,AA,ALL,GRU,P$GRU
TEST NE P$POV,0,MET
SAVEVALUE CHPOV+,1
MET MSAVEVALUE MAREZ,1,1,V$NVYZ
MSAVEVALUE MAREZ,2,1,X$CHPOV
MSAVEVALUE MAREZ,3,1,X$OTKAZ
MSAVEVALUE MAREZ,4,1,V$NYVN
MSAVEVALUE MAREZ,5,1,V$YVN
MSAVEVALUE MAREZ,6,1,X$DOHOD
MSAVEVALUE MAREZ,7,1,V$DOH
MSAVEVALUE MISPK,1,1,SR$B1
MSAVEVALUE MISPK,2,1,SR$B2
MSAVEVALUE MISPK,3,1,SR$B3
MSAVEVALUE MISPK,4,1,SR$B4
MSAVEVALUE MISPK,5,1,SR$B5
BB TERMINATE 1
AA LEAVE P$VETV
TERMINATE

```

## 5. Лабораторное задание

5.1. Изучить модель СТС, способы ввода исходных данных и считывания результатов эксперимента.

5.2. Измерить выходные параметры при заданных в работе исходных данных.

Зафиксировать показатели матрицы MAREZ и гистограмму распределения числа повторных вызовов.

5.3. Изменить общую интенсивность входного потока (число вызовов в минуту) в соответствии с табл.2.1. Изменение интенсивности производится путем изменения среднего значения интервалов между моментами поступления вызовов в операторе с меткой INTERV. Интервал указывается в едини-



цах модельного времени, т.е. в данном случае в секундах. Например, при интенсивности входного потока равной  $\Lambda = 1.2$  выз/мин интервал составит  $T = 60\text{с}/1.2 = 50\text{с}$

Таблица 2.1. Выбор входных параметров по номеру бригады

| Номер бригады                      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Инт. вх. пот., $\Lambda_0$ выз/мин | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.15 | 1.20 | 1.25 | 1.30 | 1.35 |
| Количество добавлен. СЛ            | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 35   | 36   | 37   |

5.4. Изменить исходные данные, увеличивая последовательно общую интенсивность входного потока примерно как  $1.3\lambda_0$ ,  $1.7\lambda_0$  и  $2\lambda_0$ . Зафиксировать изменения долей вероятностей явных ( $z$ ) и не явных ( $q$ ) потерь, а также полученного удельного дохода  $d$  при увеличении нагрузки (по информации, содержащейся в матрице MAREZ). Результаты внести в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Результаты экспериментов по прогонам

| Номер эксперимента |  | 1    | 2 | 3 | 4 | ... |
|--------------------|--|------|---|---|---|-----|
| Условия            | Инт. входного потока $\Lambda$ , выз/мин | 1.2  |   |   |   |     |
|                    | Вер. отказа абон. от повт. вызова        | 0.3  |   |   |   |     |
| Результаты         | Вероятность явных потерь – $z$           | .018 |   |   |   |     |
|                    | Вероятн. не явных потерь – $q$           | .015 |   |   |   |     |
|                    | Удельн. доход от обсл. вызовов – $d$     | .352 |   |   |   |     |
|                    | Обобщённый критерий $S_1$                | 10.3 |   |   |   |     |

5.5. Установить интенсивность входного потока равной  $1.5\lambda_0$  (значение  $\lambda_0$  взять из табл. 2.1). Снять зависимости основных показателей сети ( $q$ ,  $z$  и  $d$ ) от величины настойчивости абонентов при повторении вызова. В исходном варианте установлена вероятность отказа от повторения вызова  $\text{Рот.повт}=0.3$  (оператор VEROTP). Провести прогон при значениях  $\text{Рот.повт}$  равных 0.1; 0.5 и 0.9.

Для каждого значения  $\text{Рот.повт}$  зафиксировать диаграммы распределения числа повторных вызовов.

5.6. Установить вариант сети с интенсивностью входного потока  $3\lambda_0$  и  $\text{Рот.повт}=0.3$ . Провести модернизацию сети путем добавления в различные ветви соединительных линий в количестве в соответствии с табл. 2.1. Для определения места наиболее выгодного включения СЛ воспользуйтесь результатами матрицы MISPK, в которой фиксируются коэффициенты использования каналов в каждой ветви (умноженные на 1000). Кроме того, общую картину по качеству функционирования сети можно составить, рассматривая матрицу MVEROT, в которой фиксируются вероятности отказа в установлении соединения между всеми парами узлов.

Рассмотреть не менее 7 вариантов, добиваясь оптимизации по обобщенному критерию  $S_1 = D/(1+Q+2Z)$ .

## **6. Отчёт по работе**

6.1. Описать работу модели СТС и перечень вводимых в модель и измеряемых параметров.

6.2. Построить графики зависимостей показателей  $q$ ,  $z$ ,  $d$  и  $S_1$  от изменения интенсивности входного потока по п. 5.4.

6.3. Построить графики зависимостей показателей  $q$ ,  $z$ ,  $d$  и  $S_1$  и диаграммы распределения чисел повторных вызовов при изменении настойчивости абонента (вероятность отказа от повторного вызова).

6.4. Описать процедуру и результаты оптимизации по п. 5.6. Сформулировать принципы целенаправленной оптимизации.

## **7. Контрольные вопросы.**

7.1. Описать алгоритм работы модели.

7.2. Объяснить полученные результаты.

7.3. Объяснить принцип определения наиболее узких мест в сети.

8. Литература: [1, 2, 3, 5]

# Исследование сетей связи с технологией Frame Relay

**1. Цель работы.** Изучить принципы управления виртуальными каналами в сети коммутации Frame Relay (трансляция кадров; в дальнейшем по тексту FR) и исследовать методом имитационного моделирования основные механизмы этого управления.

## 2. Краткие сведения об объекте моделирования

### 2.1. Базовые концепции Frame Relay.

Технология FR, как и X.25 является технологией сетей с коммутацией пакетов и может поддерживать несколько виртуальных каналов (VC) через общий сетевой интерфейс. Постоянный VC (PVC) является наиболее распространенным видом соединения, при котором две конечные точки связываются постоянным каналом. Договор на организацию PVC заключается, обычно на несколько месяцев или бессрочно - до расторжения. Коммутируемые VC (SVC) устанавливаются при необходимости на время одного сеанса связи.

FR обеспечивает гораздо лучшую производительность, нежели X.25 (избыточность служебной информации в кадрах FR составляет 10% против 60% в X.25). Объясняется это как лучшим соотношением длин заголовков/информация, так и более эффективными методами предотвращения заторов в сети. Кроме того, FR не использует в узлах коммутации механизмы исправления ошибок. Эта задача возлагается на конечные точки.

Существующие стандарты FR рассматривают вопросы доступа абонентов к сети FR (интерфейс “пользователь-сеть” - UNI) и спецификации для PVC. Физические интерфейсы в сетях FR могут быть различны (V.35, G.703, X.21 и др.).

Для совместной передачи по одному соединению кадров различных VC в заголовке кадра включается идентификатор виртуального канала (Data - Link Connection Identifier, DLCI), который служит для идентификации логических каналов между пользователем и сетью. Устанавливать принадлежность проходящего кадра конкретному PVC - это обязанность сети FR с учетом того, что DLCI у абонентов, подключенных к различным УК сети FR, могут повторяться. В самой сети FR могут использоваться различные сетевые адреса. Идентификаторы (DLCI) одного и того же виртуального канала с двух сторон сети присваиваются независимо и могут совпасть лишь случайно. DLCI состоит из 10 бит и под абонентские PVC и SVC отведены номера с 16 по 991.

Подключение абонента к узлу коммутации (УК) сети сопровождается заключением определенных условий по качеству обслуживания:

- гарантированная скорость передачи данных (Committed Information Rate, CIR), которую сеть обязуется обеспечить с очень высокой вероятностью (например, 0.999),
- максимальная скорость передачи данных (excess information rate, EIR),
- учётный период T - промежуток времени (в секундах), для которого определяются объёмы передаваемых данных,

-  $V_c$  - максимальное число бит, которые сеть должна передавать за время  $T$ . Очевидно, что  $CIR = V_c/T$ ,

-  $V_e$  - максимальное число бит, которые сеть может принять сверх  $V_c$  за время  $T$ . Соответственно,  $EIR = (V_c + V_e) / T$ .

Обратите внимание, что абонент договаривается с провайдером не только о доступе в целом к сети FR, а также о покупке одного или нескольких PVC, по каждому из которых заключаются соглашения о параметрах CIR,  $V_c$  и  $V_e$ .

Обычно абонент подключается к УК по выделенному каналу. Предположим, что емкость этой линии - 128 кбит/с. Тогда гарантированная скорость передачи CIR должна находиться в пределах от 0 до 128 кбит/с.

Абоненту, с одной стороны, выгодно поднимать CIR - это увеличивает объем информации с гарантированной скоростью доставки кадров. А с другой стороны, оплата за предоставленный PVC существенно зависит именно от CIR и ее не следует делать излишне высокой.

Если в нашем примере принять  $CIR = 32$  кбит/с, то  $V_c = 32$  кбит (при  $T=1$ сек), а величина  $V_e$  может быть установлена в пределах от 0 до 96 кбит, например 64 кбит. Это означает, что при наличии соответствующего входного потока сеть может ежесекундно передавать по 32 кбита данных, а при наличии свободных ресурсов в сети и еще 64 кбит ежесекундно сверх этих 32 кбит. Но эти дополнительные кадры при неудачном стечении обстоятельств (например, если сразу многие абоненты превышают установленные CIR) сеть может сбрасывать, не доводя до адресатов.

Если же абонент попытается ввести в сеть данные в объеме сверх  $V_c + V_e$  (в нашем примере сверх 32 кбит + 64 кбит = 96 кбит), то сеть их сбросит в любом случае.

Абоненты вынуждены поднимать CIR, если их трафик содержит информацию, не допускающую задержки (речь, видеоконференции). Наоборот, для передачи файлов многие пользователи выбирают  $CIR=0$ , так дешевле. Хотя некоторые фирмы устанавливают минимально допустимый размер CIR (например, 4 кбит/с в фирме AT&T).

## 2.2. Управление загруженностью сети.

Для управления загруженностью сети в составе заголовка кадра FR (рис. 3.1) предусмотрены специальные биты:

- бит оповещения о перегрузке для отправителя - BECN,
- бит оповещения о перегрузке для получателя - FECN,
- бит разрешения сброса - DE.

Когда коммутатор в сети FR оказывается перегружен, он начинает вставлять в заголовок биты явного оповещения: BECN и FECN. Получив предупреждение BECN, устройство отправителя уменьшает скорость передачи или даже временно ее приостанавливает. Получив предупреждение FECN, получатель может косвенно повлиять на скорость передачи, например, замедляя подтверждение полученных кадров.

Поскольку нет гарантии, что оборудование абонентов вовремя отреагирует на сигналы BECN и FECN, то сеть вводит в заголовки кадров, передава-

емых со скоростью, превышающей CIR, специальные биты разрешения на отбраковку (Discard Eligibility, DE). Отметим, что выставление бита DE означает лишь возможность браковки в крайнем случае. Например, условия доставки фирмы Intermedia Communications это 99.9% кадров в пределах CIR, и 99% кадров с выставленным битом DE (за нарушение этих норм фирма выплачивает определенный штраф).

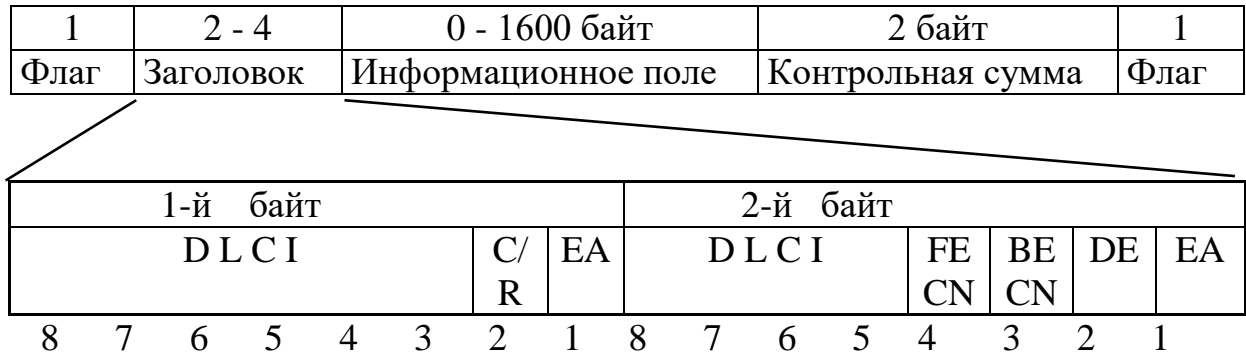


Рис. 3.1. Структура кадра и заголовка Frame Relay

Таким образом, сеть может регулировать потоки пользовательской информации в двух случаях:

- в точке доступа абонента в сеть (порт ближайшего узла коммутации) осуществляется проверка объёмов  $V_c$  и  $V_e$ ;
- любой узел коммутации FR может в случае перегрузки инициировать ограничение потока в данном VC, а если это не помогает, то и ликвидировать неприоритетные кадры (кадры с  $DE=1$ ).

### 2.3. Исследуемые зависимости.

В работе исследуется сеть передачи данных FR (рис 3.2), состоящая из 4-х узлов коммутации (УК), соединенных по звездообразной схеме каналами передачи данных (КПД) с пропускной способностью - 8 Мбит/с (уровень E2).

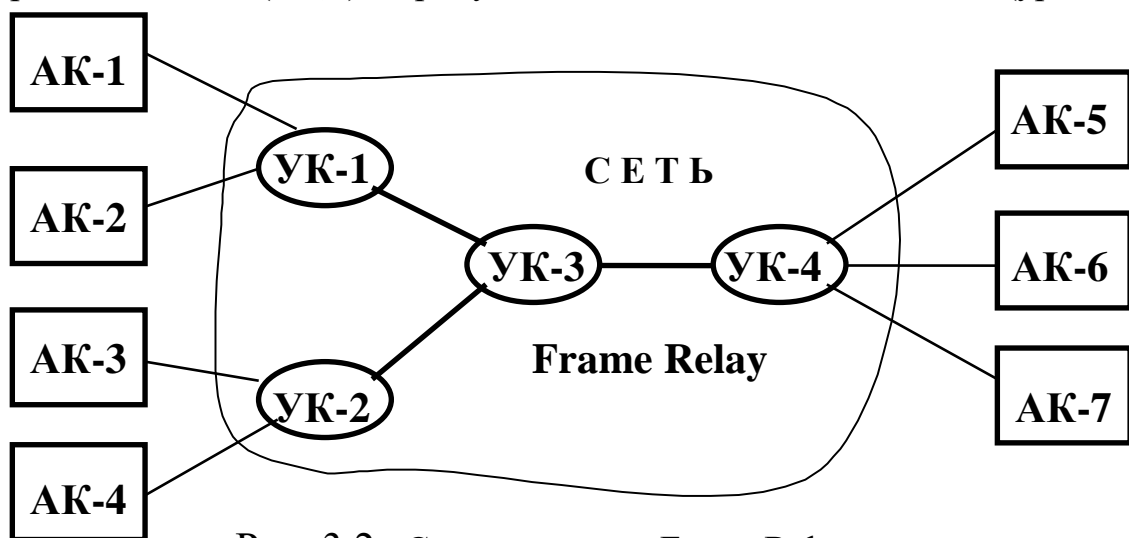


Рис. 3.2. Структура сети Frame Relay

Между абонентскими комплектами АК1 - АК7 установлены следующие постоянные виртуальные каналы:

PVC1 - между АК1 и АК5,  
 PVC2 - между АК1 и АК6,  
 PVC3 - между АК2 и АК3,  
 PVC4 - между АК3 и АК5,  
 PVC5 - между АК4 и АК7.

Сравнительно небольшое число PVC (реально их значительно больше) принято в интересах обозримости результатов моделирования и в предположении, что исследуемые функциональные зависимости при этом не нарушаются.

Для каждого виртуального канала на этапе заключения договора между абонентом и провайдером сети устанавливаются приведенные выше параметры - CIR, EIR, Bc и Be. Абоненты выдают потоки двух видов:

- не допускающие задержку ( $DE=0$ ),
- допускающие задержку и даже сброс ( $DE=1$ ).

Контроль за перегрузками в рассматриваемой сети FR реализует УКЗ следующим образом. Кадры, выдаваемые из узла УКЗ в исходящие каналы, при занятости этих каналов поступают в буфер ожидания соответствующего канала. Если при очередном поступлении кадра обнаруживается, что очередь в исходящий канал превышает определенный предел, абоненту отправителю данного PVC посылается сигнал перегрузки (BECN). По получении этого сигнала абоненты снижают интенсивность своего низкоприоритетного потока, а узел УКЗ при этом сбрасывает как не доведенные все кадры с  $DE=1$ . Напомним, что признак  $DE=1$  могут устанавливать абонент или УК в точке доступа.

В рассматриваемой модели подсчитывается количество бит, вводимое в сеть в течение одной секунды по каждому PVC с признаком  $DE=0$  и, если это число превышает величину, установленную договором ( $B_c$ ), то УК принудительно устанавливает этот признак в единицу. Кроме того, УК контролирует в точке доступа общее количество бит, вводимое абонентом за каждую секунду, и если это число превысит договорную величину ( $B_c+B_e$ ), то вновь поступающие в течение данной секунды кадры сбрасываются не доведенными.

Сеть контролирует время передачи каждого кадра между точкой входа кадра в сеть и точкой выхода из неё. Если известна длина кадра в битах -  $L$  и установленная для данного PVC гарантированная скорость - CIR, то это время передачи ( $t$ ) не должно превышать отношения  $L/CIR$ .

Исследуются следующие характеристики сети по качеству передачи приоритетных кадров (ПК-кадры), для которых абонент установил признак  $DE=0$ , и неприоритетных кадров (НК-кадры), для которых абонент установил признак  $DE=1$ :

- количество НК-кадров по каждому PVC, сброшенных в точке доступа (в УК-отправителе) из-за превышения EIR, а также доля таких кадров в целом по сети по отношению к общему числу НК-кадров;
- то же для ПК-кадров;
- количество НК-кадров по каждому PVC и доля по сети в целом, со-

кращённых абонентом в режиме перегрузки (РП), т.е. после получения сигнала  $BE_{CN}=1$ ;

- количество НК-кадров по каждому PVC и доля по сети в целом, сброшенных в управляющем УК (т.е. в УК3) в РП-режиме;
- то же для ПК-кадров, у которых в точке доступа был принудительно установлен признак  $DE=1$  из-за превышения абонентом согласованного объема  $B_c$ ;
- распределение времени доведения кадров по сети.

### **3. Вопросы для домашней подготовки**

- 3.1. Что представляет собой технология FR?
- 3.2. В чем преимущество FR по сравнению с технологией X.25?
- 3.3. Какие виды соединений устанавливаются между абонентами в сети FR?
- 3.4. Что представляет собой идентификатор DLCI и как он используется?
- 3.5. Что такое гарантированная скорость передачи - CIR?
- 3.6. Какие два типа кадров используются в FR? Чем отличается обработка этих кадров в сети FR?
- 3.7. Что означают параметры  $B_c$  и  $B_e$ ? Как они используются при передаче кадров?
- 3.8. Какая взаимосвязь между параметрами CIR и  $B_c$ ?
- 3.9. Представить формат кадра и заголовка FR.
- 3.10. Как регулируется загруженность сети по технологии FR?
- 3.11. Какие гарантии по обслуживанию кадров FR предоставляют провайдеры?

### **4. Описание имитационной модели**

#### **4.1. Реализация основных элементов модели**

В представленном в пункте 4.2 листинге моделирующей программы за единицу модельного времени (е.м.в.) принят интервал в 10 мкс.

Основные параметры, приписываемые кадрам-транзактам, следующие:

- идентификатор канала ID. В отличие от идентификатора DLCI он не меняется при передаче и не имеет аналога в реальной сети. Реализуется функцией  $FN\$PVC$ ,
- узел коммутации (УК)- отправитель (UOTP), представляющий точку входа PVC в сеть ( $FN\$OTP$ ),
- УК-получатель (UPOL) - точка выхода PVC из сети ( $FN\$POL$ ),
- длина кадра в битах (L). Реализуется функцией  $FN\$DLN$ ,
- тип кадра по качеству обслуживания (DE). Разыгрывается вероятность GRNT выдачи кадра с гарантированным обслуживанием (т.е. с  $DE=0$ ),
- тип кадра, устанавливаемый сетью (DOPDE), если число бит в кадрах с  $DE=0$  превышает установленную норму  $B_c$  (функция  $FN\$BC$ ),
- рабочие параметры модели - номер транзитного узла ( $P\$KU$ ) и номер

ветви выдачи (P\$VETV).

Контроль за перегрузкой выполняет оператор, сравнивающий длину очереди в ветви выдачи (Q\$VETV) с установленным верхним предельным значением - VPRED. Если Q\$VETV > VPRED, то логический переключатель с именем идентификатора данного PVC (P\$ID) устанавливается в единицу, на управляющем УК (UUPR) начинается сброс всех кадров с DE=1 и DOPDE=1, а абоненту посылается сигнал BECN=1, по получении которого (через время передачи TBECN), абонент начинает прореживание потока НК-кадров с некоторой вероятностью NSOKR. В данной модели управляющим является узел УК3.

Выход из режима сброса осуществляется, когда оператор B6 определяет неравенство Q\$VETV < NPRED, где NPRED - нижнее предельное значение длины очереди. Абоненту посылается управляющий кадр с BECN=0. Разница между значениями VPRED и NPRED вносит определенную инерционность в систему управления потоками, чтобы избежать слишком частой смены режима.

Контроль количества бит, проходящих по каждому PVC в единицу времени через точку входа с DE=0 (Bc) и общее число (Bc + Be) подсчитывается в матрицах с именами BCTEK и BETEK. Значения этих матриц ежесекундно обнуляется в группе операторов OBN. Отметим, что в технологии FR величина Be означает максимальное количество бит дополнительно к Bc, а в модели для удобства реализации значения Be и BETEK означают максимальное и текущее значение бит, включая Bc и BCTEK соответственно.

Время передачи по каналу (оператор A5) вычисляется переменной V\$TPRD в зависимости от длины кадра (P\$L) и канальной скорости (RKAN). Множитель 100000 в выражении для V\$TPRD соответствует числу е.м.в. в 1 сек, а произведение RKAN\*EMB определяет число бит, передаваемых каналом в 1 е.м.в.. В нашем примере битовая скорость в единицу модельного времени равна:

$$C_{\text{бит/емв}} = C_{\text{бит/с}} * 10^{-5} \text{ с/емв} = 2000000 \text{ бит/с} * 10^{-5} \text{ с} = 20 \text{ бит/е.м.в}$$

т.к. канальная скорость равна 2 Мбит/с, а 1 е.м.в. равна  $10^{-5}$  с.

При вычислении других переменных (ZDR, SBR, SBRP) используется стандартный числовой атрибут GPSS - N\$имя, определяющий число транзактов, прошедших через блок с указанным именем.

Основные результаты моделирования отражаются в матрице результатов - MAREZ. Отчёты по прохождению по сети приоритетных кадров (ПК) и не-приоритетных кадров (НК) содержатся в 5-и столбцах (номер столбца соответствует номеру PVC) и в 6-м столбце для общесетевых данных.

Данные по строкам (значения  $n_i$ ) включают следующие сведения:

- 1-я строка –  $n_1$  - число ПК-кадров, сброшенных в точке доступа,
- 2-я строка –  $n_2$ - число НК-кадров, сброшенных в точке доступа,
- 3-я строка –  $n_3$ - число НК-кадров, сокращённых абонентом в РП-режиме т.е. в состоянии, когда в сети объявлен режим перегрузки.
- 4-я строка –  $n_4$ - число ПК-кадров, сброшенных в УК-3 в РП-режиме,



5-я строка –  $n_5$ - число НК-кадров, сброшенных в УК-3 в РП-режиме,  
 6-я строка –  $n_6$ - общее число выданных абонентом ПК-кадров, включая сброшенные в точке доступа или в УК-3,  
 7-я строка –  $n_7$ - общее число выданных абонентом НК-кадров, включая сброшенные в точке доступа или в УК-3, а также сокращённые абонентом в РП.

6-й столбец содержит отчёт о доле (промили) или числе кадров (6-я и 7-я строки) в целом по сети.

TDOV -таблица и график распределения времени доведения кадров по сети.

#### 4.2. Листинг моделирующей программы

```
;
; МОДЕЛЬ СЕТИ FRAME RELAY
; 1 единица модельного времени равна 10мкс
INTERVAL EQU 250 ;Установка интервалов между кадрами вх. потока
RKAN EQU 2000000 ;Скорость магистрального канала [бит/с]
BE FUNCTION PSID,L5 ;Предельные объёмы для любых кадров в секунду
1,800000/2,800000/3,300000/4,400000/5,400000
;
; -аргумент - номер PVC, -функция - объёмы Bc+Be
BC FUNCTION PSID,L5 ;Предельные объёмы для ПР-кадров в секунду
1,800000/2,0/3,100000/4,400000/5,200000
;
; -аргумент - номер PVC,-функция - объём Bc
UUPR EQU 3 ;Номер управляющего УК
GRNT EQU .400 ;Доля ПК-кадров в общем потоке
NSOKR EQU .300 ;Доля не сокращаемых при перегрузках НК-кадров
TBECN EQU 4 ;Время передачи сигнала BECN от UUPR до абон. УК
PRED EQU 20 ;Длина очереди предельная
VPRED EQU 15 ;Длина очереди для ввода РП-режима
NPRED EQU 12 ;Длина очереди для снятия РП-режима
GG1 EQU 1
GG2 EQU 2
GG3 EQU 3
GG4 EQU 4
MAREZ MATRIX ,7,6 ;Обобщенная матрица результатов
TEKBC MATRIX ,1,5 ;Текущие значения переданных бит ПР-кадров
TEKBE MATRIX ,1,5 ;Текущие значения переданных бит НК-кадров
;-----
SBRDP VARIABLE 1000#N$B6/(N$AG11+1) ;Вер. сброса РК в точке доступа
SBRDN VARIABLE 1000#N$B5/(N$B1+1) ;Вер. сброса НК в точке доступа
SBRN VARIABLE 1000#N$B4/(N$B1+1) ;Вероятность сброса НК-кадров в РП
SBRP VARIABLE 1000#N$B2/(N$AG11+1) ;Вероятность сброса ПК-кадров
SBRs VARIABLE 1000#N$B3/(N$B1+1) ;Вер. сброса НК-кадров по сокращению
TPRD VARIABLE 100000#P$DL/RKAN ;Время передачи по каналу кадра длины DL
J VARIABLE P$VETV@10 ;Вычисление смежного узла.
;-----
RASPR FUNCTION RN1,C13 ;Экспоненциальное распределение.
0,0/.2,.222/.4,.509/.6,.915/.75,1.38/.84,1.85/.9,2.3/
.94,2.81/.96,3.2/.98,3.9/.995,5.3/.999,7/1,10
PVC FUNCTION RN1,D5 ;Выбор PVC:
.2,1/.4,2/.6,3/.8,4/1,5 ;аргумент-случайное число, функция-номер PVC
OTP FUNCTION PSID,L5 ;Выбор отправителей:
1,1/2,1/3,1/4,2/5,2 ;аргумент-номер PVC, функция-номер УК
POL FUNCTION PSID,L5 ;Выбор получателей:
1,4/2,4/3,2/4,4/5,4 ;аргумент-номер PVC, функция-номер УК
GG1 FUNCTION P$UPOL,D3
2,13/3,13/4,13 ;Таблицы маршрутизации для каждого УК
GG2 FUNCTION P$UPOL,D3
1,23/3,23/4,23 ;аргумент-номер УК-получателя,
GG3 FUNCTION P$UPOL,D3
```

```

1,31/2,32/4,34      ;-функция-номер исходящей ветви
GG4  FUNCTION P$UPOL,D3
1,43/2,43/3,43
DLN  FUNCTION RN1,C11      ;Выбор длины кадра:
    0,40/.1,160/.2,400/.3,640/.4,1200/.5,2400/
    .6,4000/.7,12000/.8,12400/.9,12640/1,12832
      ;функция-длина кадра в битах, ;аргумент-случайное число,
TDOV  TABLE  M1,0,400,40      ; Время доведения кадров по сети
;-----
    GENERATE 100000      ; Интервал подсчета объема вводимых данных
    MSAVEVALUE TEKBC,1,1,0
    MSAVEVALUE TEKBC,1,2,0 ;Обнуление
    MSAVEVALUE TEKBC,1,3,0
    MSAVEVALUE TEKBC,1,4,0      ;матриц
    MSAVEVALUE TEKBC,1,5,0
    MSAVEVALUE TEKBE,1,1,0      ;текущих
    MSAVEVALUE TEKBE,1,2,0
    MSAVEVALUE TEKBE,1,3,0      ; объемов
    MSAVEVALUE TEKBE,1,4,0
    MSAVEVALUE TEKBE,1,5,0      ; данных
    TERMINATE
;-----
    GENERATE INTERVAL,FN$RASPR ;Генерация общего входного потока
    ASSIGN ID,FN$PVC      ;Установка идентификатора PVC
    ASSIGN UOTP,FN$OTP      ;Установка узла-отправителя
    ASSIGN UPOL,FN$POL      ;Установка узла-получателя
    ASSIGN DL,FN$DLN      ;Установка длины кадра в битах
    ASSIGN DE,0
    ASSIGN DOPDE,0
    TRANSFER GRNT,,AG11      ;Кадр НК?
B1  ASSIGN DE,1      ;Да! Установка признака DE
    MSAVEVALUE MAREZ+,7,P$ID,1
    MSAVEVALUE MAREZ+,7,6,1
    MSAVEVALUE TEKBE+,1,P$ID,P$DL ;Фиксация текущего объема данных
    TEST G MX$TEKBE(1,P$ID),FN$BE,A10 ;Объем превышен?
B5  MSAVEVALUE MAREZ+,2,P$ID,1 ;Да! Регистрация сброса по доступу
    TRANSFER ,FIN
A10 GATE LS P$ID,A2      ;Установлен режим РП?
    TRANSFER NSOKR,,A2      ;Да! Сокращение НК-кадров
    MSAVEVALUE MAREZ+,3,P$ID,1 ;Да! Регистрация сброса по сокращению
B3  TRANSFER ,FIN
AG11 MSAVEVALUE MAREZ+,6,P$ID,1
    MSAVEVALUE MAREZ+,6,6,1
    MSAVEVALUE TEKBE+,1,P$ID,P$DL ;Фиксация текущего объема данных
    TEST G MX$TEKBE(1,P$ID),FN$BE,AA1 ;Объем превышен?
B6  MSAVEVALUE MAREZ+,1,P$ID,1 ;Да! Регистрация сброса по доступу
    TRANSFER ,FIN
AA1  MSAVEVALUE TEKBC+,1,P$ID,P$DL ;Фиксация тек. объема ПР данных
    TEST G MX$TEKBC(1,P$ID),FN$BC,A2 ;Объем превышен?
    ASSIGN DOPDE,1      ;Признак превышения гарантированного объема
A2  ASSIGN KU,P$UOTP      ;Фиксация текущего УК
CICL ASSIGN VETV,FN*KU      ;Установка номера исходящей ветви
    TEST E P$KU,UUPR,OCHR ;Управляющий УК?
    TEST GE Q*VETV,VPRED,OCHR ;Да!Пред.длина очереди достигнута?
    GATE LR P$ID,A3      ;Да! Установлен режим РП?
    SPLIT 1,A4      ;Нет! Выделение транзакта для выдачи BECN=1
A3  TEST E P$DE,1,A8      ;Кадр НК?
B4  MSAVEVALUE MAREZ+,5,P$ID,1 ;Да! Регистрация сброса НК-кадра
    TRANSFER ,FIN
A8  TEST E P$DOPDE,1,OCHR ;Данный ПР-кадр сверх допустим.объема?
    MSAVEVALUE MAREZ+,4,P$ID,1 ;Да! Регистрация сброса ПК-кадра
B2  TRANSFER ,FIN
OCHR TEST L Q*VETV,PRED,OTK ;Отказ при отсутствии места в очереди

```

```

QUEUE   P$VETV           ;Установка кадра в очередь
SEIZE    P$VETV           ;Занятие канала
DEPART   P$VETV           ;Освобождение очереди
TEST E   P$KU,UUPR,PRD    ;Управляющий УК?
GATE LS   P$ID,PRD        ;Установлен режим РП?
TEST L    Q*VETV,NPRED,PRD ;Да! Нижний предел достигнут?
SPLIT    1,A5             ;Да! Выделение транзакта для выдачи BECN=0
PRD      ADVANCE   V$TPRD   ;Задержка на время передачи по каналу
RELEASE   P$VETV           ;Освобождение канала
ASSIGN    KU,V$J           ;Установка номера текущего УК
TEST E    P$UPOL,P$KU,CICL ;Переход,если узел транзитный
TABULATE  TDOV            ;Фиксация времени доведения
FIN       TEST E   TG1,1,FINAL ;Транзакт последний?
          MSAVEVALUE MAREZ,5,6,V$SBRN ;Да! Регистрация вер. сброса НК
          MSAVEVALUE MAREZ,4,6,V$SBRP ;Регистрация вер.сброса ПК
          MSAVEVALUE MAREZ,3,6,V$SBRB ;Регистрация вер. сброса НК по сокр.
          MSAVEVALUE MAREZ,1,6,V$SBRDP ;Регистр.вер.сброса ПК по доступу
          MSAVEVALUE MAREZ,2,6,V$SBRDN ;Регистр.вер.сброса НК по доступу
FINAL     TERMINATE 1
A4        ADVANCE   TBECN    ;Задержка на время передачи BECN
          LOGIC S    P$ID     ;Установка РП-режима в абонентских УК
          TERMINATE
A5        ADVANCE   TBECN    ;Задержка на время передачи BECN
          LOGIC R    P$ID     ;Снятие РП-режима в абонентских УК
          TERMINATE
OTK        SAVEVALUE OT+,1    ;Регистрация отказов по превышению очереди
          TRANSFER ,FIN

```

## 5. Лабораторное задание

5.1. Изучить модель сети FR, способы ввода исходных данных и считывания результатов эксперимента.

5.2. Зафиксировать результаты эксперимента для параметров сети, установленных в исходном варианте.

5.3. Снять зависимости основных показателей сети, представленных в матрице MAREZ, от изменения интенсивности входного потока  $\lambda$  (см. табл. 3.1) в трёх точках от  $\lambda$  до  $2\lambda$ . Интенсивность задаётся интервалами между вызовами в единицах модельного времени (1 е.м.в.=10 мкс) в операторе INTERVAL.

Таблица 3.1. Выбор входных параметров по номеру бригады

| Номер бригады           | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Входной поток (кадры/с) | 360 | 370 | 380 | 390 | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | 450 |
| Оптимизируемый PVC      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |

5.4. Для интенсивности входного потока равной  $2\lambda$  снять зависимости основных показателей сети (матрица MAREZ) от изменения пропускной способности магистрального канала (2; 4 и 8 Мбит/с). Скорость устанавливается оператором (RKAN).

5.5. Для заданной в табл. 3.1 интенсивности входного потока и канальной скорости, равной 2 Мбит/с, подобрать значения объёмов  $V_c$  и  $V_e$ , оптимизирующие экономические показатели одного из PVC (см. табл. 3.1) при следующих условиях:

- а) стоимость подключения абонентов к точке доступа в УК-отправителе равна: - 2000 у.е./мес за скорость  $V_e = 1$  Мбит/с ;  
 - 3500 у.е./мес за скорость  $V_c = 1$  Мбит/с;

Изменение скоростей передачи данных CIR и EIR в данной модели производится путем изменения значений BC и BE в операторах

BC FUNCTION P\$ID,L5 и BE FUNCTION P\$ID,L5

Напомним, что в операторе BC фиксируется скорость  $V_c$ , а в операторе BE – суммарная скорость  $V_c + V_e$ .

Таблица 3.2. Стоимостные показатели информационных потоков

| Номер PVC                                   | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   |
|---|------|-----|-----|-----|-----|
| Ущерб от потери ПК-кадра, у.е.              | 10   | 2   | 4   | 6   | 2   |
| Ущерб от потери НК-кадра, у.е.              | 5    | 5   | 1   | 4   | 3   |
| Среднемесячный объём ПК-кадров (тыс.кадров) | 1000 | 800 | 200 | 400 | 400 |
| Среднемесячный объём НК-кадров (тыс.кадров) | 1000 | 600 | 800 | 400 | 600 |

б) ущерб абонента от потери каждого ПК или НК-кадра в каждом PVC, а также среднемесячные объёмы передаваемых данных приведены в табл. 3.2. Ежемесячный ущерб абонента от потери ПК и НК кадров определяется как:

$$Y = Y_{\text{ПК}} + Y_{\text{НК}} = M_{\text{ПК}} P_{\text{ПК}} S_{\text{ПК}} + M_{\text{НК}} P_{\text{НК}} S_{\text{НК}}$$

Здесь:  $Y_{\text{ПК}}$  и  $Y_{\text{НК}}$  – ущербы от потери кадров по каждой категории,

$M_{\text{ПК}}$  и  $M_{\text{НК}}$  – среднемесячные объёмы трафика (табл. 3.2),

$P_{\text{ПК}}$  и  $P_{\text{НК}}$  – вероятности потери кадров по каждой категории по любой причине. По данным матрицы MAREZ эти вероятности равны:

$$P_{\text{ПК}} = (n_1 + n_4)/n_6 \quad \text{и} \quad P_{\text{НК}} = (n_2 + n_3 + n_5)/n_7$$

$S_{\text{ПК}}$  и  $S_{\text{НК}}$  – ущерб от потери одного кадра соответствующей категории (табл. 3.2).

Таким образом, задача оптимизации по данному пункту сводится к минимизации суммарных потерь: затраты на аренду плюс ущерб от потери кадров.

Результаты последовательных экспериментов занесите в табл. 3.3. В качестве примера в этой таблице приведён результат прогона по исходным данным для

PVC-5. Если по результатам экспериментов оказывается, что основные потери происходят в сети (в данной модели в УК-3) и дальнейшее расширение точки доступа не снижает потери кадров, то следует увеличить скорость магистрального канала (можно считать это реакцией провайдера сети на жалобы разгневанных клиентов).

Таблица 3.3. Результаты экспериментов по прогонам

| Номер эксперимента             |  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------------|--|------|---|---|---|---|---|---|
| Ус-<br>ло-<br>вия              | Вх. поток, Л,кадры/с   | 400  |   |   |   |   |   |   |
|                                | Скор.маг.кан.,Мбит/с   | 2    |   |   |   |   |   |   |
|                                | Скор.ПК-доступа, Вс  | 0.2  |   |   |   |   |   |   |
|                                | Скор.НК-доступа, Ве  | 0.2  |   |   |   |   |   |   |
| Ре-<br>зу-<br>ль-<br>та-<br>ты | n <sub>1</sub> –потери ПК в тд                                 | 36   |   |   |   |   |   |   |
|                                | n <sub>2</sub> –потери НК в тд                                 | 66   |   |   |   |   |   |   |
|                                | n <sub>3</sub> -сокращение НК                                  | 0    |   |   |   |   |   |   |
|                                | n <sub>4</sub> -сброс ПК в УК                                  | 0    |   |   |   |   |   |   |
|                                | n <sub>5</sub> -сброс НК в УК                                  | 2    |   |   |   |   |   |   |
|                                | n <sub>6</sub> -всего ПК                                       | 787  |   |   |   |   |   |   |
|                                | n <sub>7</sub> -всего НК                                       | 1184 |   |   |   |   |   |   |
|                                | R <sub>ПК</sub> -вер.потери ПК<br>$R_{ПК} = (n_1+n_4)/n_6$     | .045 |   |   |   |   |   |   |
|                                | R <sub>НК</sub> -вер.потери НК<br>$R_{НК} = (n_2+n_3+n_5)/n_7$ | .057 |   |   |   |   |   |   |

## 6. Отчет по работе

- 6.1. Описать работу модели сети FR и перечень вводимых в модель и измеряемых параметров.
- 6.2. Построить графики зависимостей по пп. 5.3 и 5.4.
- 6.3. Описать процедуру и результаты оптимизации по п. 5.5.

## 7. Контрольные вопросы

- 7.1. Как оценивается качество обслуживания сетью FR привилегированных кадров?
- 7.2. Как оценивается качество обслуживания обычных кадров?
- 7.3. К чему приводит увеличение интенсивности входного потока без изменения договорных соглашений в части параметров Вс и Ве?
- 7.4. Объяснить зависимости, полученные в п.п. 5.3 и 5.4.
- 7.5. К чему приводит занижение или завышение гарантированной скорости передачи данных - CIR?
- 7.6. К чему приводит занижение или завышение максимальной скорости передачи данных - EIR?
- 7.7. Что понимается под учётным периодом - T?
- 7.8. Какие соотношения существуют между значениями CIR, EIR, T, Вс и Ве?
- 7.9. Объяснить принцип целенаправленной оптимизации по п. 5.5.

## 8. Литература: [1, 2, 3, 6].

## **Лабораторная работа №4**

### **Исследование пропускной способности сети с коммутацией пакетов**

**1. Цель работы.** Изучить принципы организации информационного обмена в сети с коммутацией пакетов с дейтаграммным режимом. Исследовать зависимость качественных показателей сети от структуры сети и канальной емкости.

#### **2. Краткие сведения об объекте моделирования**

##### **2.1. Общие принципы построения сети КП.**

Сеть с коммутацией пакетов (СКП) представляет собой совокупность центров коммутации пакетов (ЦКП) и каналов передачи данных (КПД) их соединяющих.

Коммутация пакетов (КП) предусматривает разбивку длинных сообщений на отдельные порции - пакеты, снабжение каждого пакета адресом получателя и другими необходимыми для передачи по сети атрибутами и последовательную передачу пакетов от одного ЦКП к другому до ЦКП получателя. При этом сеть в соответствии с протоколами сетевого уровня ( 3-ий уровень ЭМВОС) выполняет процедуры маршрутизации, защиты от ошибок, организации очередей (буферизация в ЦКП), управления потоками и др.

Разбивка сообщений на пакеты выполняется на уровне транспортного канала (4-ый уровень ЭМВОС), который вместе с другими (нижележащими) уровнями реализуется в абонентском комплекте, например, с помощью сборщиков/разборщиков пакетов (packet assembler/disassembler - PAD).

Для каждого пакета в соответствии с его адресными признаками мы будем различать ЦКП-отправитель и ЦКП-получатель. Первый обеспечивает абоненту-отправителю точку входа в СКП, а второй - точку выхода к абоненту-получателю.

Длина поля данных в различных протоколах строго не оговаривается. Например, в сетях X.25 рекомендуется максимальная длина - 128 октетов, но допускаются значения от 16 до 1024 октетов (дискретно - в значениях  $2^n$ ).

Дейтаграммный режим передачи пакетов, рассматриваемый в данной работе, в отличие от режима виртуальных каналов предполагает выдачу пакетов в сеть без предварительного установления соединения. При этом пакеты передаются независимо друг от друга, могут доводиться до ЦКП получателя по различным маршрутам и, в общем случае, могут поступать к абоненту (на 4-ый уровень) неупорядоченно, а также с потерями или дублями пакетов.

Одна из главных задач ЦКП - маршрутизация пакетов, т.е. выбор направления передачи. При децентрализованном алгоритме маршрутизации каждый ЦКП решает эту задачу самостоятельно по заранее определенным

маршрутам (статическая процедура) или на основании текущей сетевой информации о загрузке и исправности сети и ее элементов (динамическая процедура).

В любом случае каждый ЦКП содержит таблицу маршрутизации (статическую или динамически обновляемую), в которой каждому адресу получателя соответствует одно из исходящих из данного ЦКП направлений передачи данных. Часто в таблицах маршрутизации указывают не одно, а два или три направления выдачи, упорядоченные в порядке предпочтительности.

Другая важная задача ЦКП - организация приема, хранения и выдачи пакетов в каналы связи. При этом очередность выдачи может отличаться от принципа FIFO (первым пришёл - первым обслужен) и учитывать различные признаки пакета (вид сообщения, категория срочности и др.). В случае занятости наиболее приоритетного направления, пакет может быть выдан в следующее по оптимальности направление, а при его отсутствии пакет устанавливается в очередь (хранится в буфере ожидания). Если пакет поступает в ЦКП в момент, когда заняты все каналы в требуемых направлениях и заполнен буфер ожидания, то он может теряться (в соответствии с реализованным протоколом).

Очереди пакетов в ЦКП негативно влияют на главный показатель сети - время доведения (задержки) пакетов. Однако очереди значительно повышают коэффициент использования каналов и позволяют сократить потери пакетов в сети.

## 2.2. Исследуемые зависимости.

К числу главных показателей качества функционирования СКП относятся:

- время доведения пакетов от ЦКП-отправителя до ЦКП-получателя;
- вероятность потери пакетов в процессе передачи (уничтожение или искажение).

Характерной особенностью требований к времени доведения является то, что средние значения этого времени, которые, как правило, легко определяются аналитическими методами, не интересуют заказчика сети. Более важным является показатель вероятности превышения времени доведения определенного порога, задаваемого для каждой пары ЦКП, либо для сети в целом. Таким образом, перед аналитиками стоит задача в определении распределения  $P(T)$  - вероятностей доведения пакета за время  $T$ .

Практически требование заказчика может задаваться как допустимая доля пакетов, доводимых за сверхдопустимое время  $R_{\text{дов}}(T > T_{\text{доп}}) \leq R$ . Например:  $R_{\text{дов}}(T > 1\text{с}) \leq 0.01$ , т.е. не менее 99% всех переданных пакетов должно быть доведено за время, не превышающее 1с.

Время доведения пакетов зависит от таких параметров сети, как:

- интенсивность и распределение входных потоков,
- конфигурация сети,
- числа каналов в ветвях и каналные скорости передачи данных,
- производительность ЦКП и длительность обработки пакетов в ЦКП,

- алгоритмы маршрутизации, управления потоками, защиты информации и др.

Входные потоки в СКП могут быть заданы в виде матрицы интенсивностей входных потоков  $\Lambda$ , элементы которой  $\lambda_{ij}$  определяют интенсивность потока от абонентов ЦКП- $i$ , адресованного абонентам ЦКП- $j$ .

Вероятность того, что отправителем случайно выбранного пакета является ЦКП- $i$ , можно определить из матрицы  $P$  как:

$$P_i = \lambda_i / \Lambda_\Sigma \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  - суммарный поток, исходящий из ЦКП-отправителя  $i$ ,  $\Lambda_\Sigma$  - суммарный поток, исходящий из всех ЦКП-отправителей. Очевидно, что

$$\lambda_i = \sum_j \lambda_{ij} \quad \text{и} \quad \Lambda_\Sigma = \sum_i \lambda_i = \sum_i \sum_j \lambda_{ij}$$

Вероятность того, что получателем случайно выбранного пакета, исходящего из ЦКП- $i$  является ЦКП- $j$ , определяется как:

$$P_{ij} = \lambda_{ij} / \lambda_i, \quad \sum_j P_{ij} = 1 \quad (2)$$

Кроме значений интенсивности входные потоки характеризуются распределением интервалов между вызовами (может задаваться индивидуально для каждого потока, но, как правило, задается одинаковым для всей сети). То же самое можно сказать и о длине передаваемых пакетов - для упрощения анализа принимается, что средние значения и распределения длин пакетов одинаковы для любых пар абонентов.

Конфигурация сети и канальная емкость сети задается матрицей каналов  $V$ , элементы которой  $v_{ij}$  определяют числа каналов, исходящих из ЦКП- $i$  и входящих в ЦКП- $j$ .

Необходимо отметить, что реальные сети с коммутацией пакетов создаются, как правило, из одноканальных ветвей различной пропускной способности.

### 3. Вопросы для домашней подготовки

3.1. Что такое метод коммутации пакетов?

3.2. Какие существуют режимы коммутации пакетов и в чем их различие?

3.3. Что является источником пакетов для СКП?

3.4. Чем регламентируется длина пакета?

3.5. Для чего создаются таблицы маршрутизации и какая информация в них содержится?

3.6. Как организуется выдача пакетов из ЦКП в каналы передачи данных?

3.7. На какие показатели сети КП влияют очереди к каналам ПД?

3.8. Какие основные показатели качества функционирования СКП вы знаете?



- 3.9. Как задаются требования ко времени доведения пакетов?
- 3.10. От каких параметров и как (качественно) зависит время доведения пакетов?
- 3.11. Как задаются интенсивности входных потоков пакетов?
- 3.12. Что означают и чему равны вероятности  $P_i$  и  $P_{ij}$ ?
- 3.13. Какими параметрами характеризуются длины пакетов?
- 3.14. Как задаются канальные ёмкости в ветвях сети?

## 4. Описание имитационной модели

### 4.1. Реализация основных элементов модели.

В представленном в пункте 4.2 листинге моделирующей программы за единицу модельного времени (е.м.в.) принят интервал в 10мкс. Это означает, что время передачи пакета длиной, например,  $L = 500$  байт по каналу со скоростью  $C = 2$  Мбит/с составит:

$$T = 8L/C = 8 \cdot 500 / 2 \cdot 10^6 = 2000 \text{ мкс} = 200 \text{ е.м.в.}$$

Выбор ЦКП-отправителя выполняется в соответствии с распределением вероятностей (1), представленным в функции с меткой ОТР. А выбор ЦКП-получателя для данного ЦКП-отправителя - в соответствии с рядом распределений вероятностей (2), представленных в функциях с числовыми метками  $A_1, A_2, A_3, \dots$ , где последние цифры (1,2,3...) - номера ЦКП-отправителей.

В данной модели конфигурация сети в явном (графическом) виде не задается, но присутствует в плане распределение информации. В функциях с числовыми метками  $A_{11}, A_{12}, A_{13} \dots$  каждому узлу получателю ставится в соответствии одна из ветвей, исходящих из ЦКП 1,2,3... . Реализована статическая процедура маршрутизации с одним путём к адресату из каждого узла.

Числа каналов в ветвях устанавливаются, как обычно в GPSS, оператором STORAGE, в котором идентификатор B12 соответствует ветви, исходящей из ЦКП-1 и входящей в ЦКП-2. В исходном варианте все ветви - одноканальные.

Канальные скорости задаются в виде числа единиц модельного времени, необходимого для передачи пакета средней длины (в рассматриваемом варианте эта длина равна 500 байтам). Распределение времени передачи по каналам в ветвях представлено функцией с меткой TPRD.

Для пакетов, ожидающих начала передачи в каналы связи, в центрах коммутации выделены отдельные буферы ожидания для каждой исходящей ветви. Распределение чисел мест ожидания по ветвям задаётся функцией с меткой DQ.

В исходном варианте все межузловые потоки  $\lambda_{ij}$  равны между собой. При составлении таблиц маршрутизации выбирались кратчайшие по числу ветвей пути, а при наличии нескольких равноценных путей в первую очередь (для некоторой определённости) выбирались наклонные (на графе) ветви, затем вертикальные и в последнюю очередь - горизонтальные ветви.

В результате эксперимента в стандартном отчете выдаются:

- распределение времени доведения пакетов по всем маршрутам,
- распределение времени доведения пакетов по одному из маршрутов, указанному в операторе с меткой MRSR,
- числа заявок на выдачу пакетов по ветвям (матрица OBVETV) и по маршрутам (матрица OBMARSH).
- числа отказов (ликвидация пакета) из-за занятости каналов и мест ожидания с указанием номера ветви (матрица OTVETV) и номера маршрута (матрица OTMARSH),
- вероятности отказов по ветвям (матрица VVETV) и по маршрутам (матрица VMARSH).

Распределения времени представляются в табличной и графической форме.

## 4.2. Листинг моделирующей программы

; МОДЕЛЬ СЕТИ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ

; 1 единица модельного времени равна 10 мкс

VNDROT EQU 5000 ;ИНТЕНСИВНОСТЬ ВХОДНОГО ПОТОКА (ЧИСЛО ПАКЕТОВ В СЕК)

TPRED EQU 4000 ;ДОПУСТИМОЕ ВРЕМЯ ДОВЕДЕНИЯ ПАКЕТОВ В СЕТИ

DQ FUNCTION P\$VETV,D24 ;РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА МЕСТ ОЖИДАНИЯ В ВЕТВЯХ СЕТИ

12,10/21,10/23,10/32,10/34,10/43,10/14,10/41,10/

56,10/65,10/67,10/76,10/78,10/87,10/58,10/85,10/

15,10/51,10/26,10/62,10/37,10/73,10/48,10/84,10

TPRD FUNCTION P\$VETV,D24 ;ПРОПУСКНЫЕ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ В ВЕТВЯХ СЕТИ

12,200/21,200/23,200/32,200/34,200/43,200/14,200/

41,200/56,200/65,200/67,200/76,200/78,200/87,200/

58,200/85,200/15,200/51,200/26,200/62,200/37,200/

73,200/48,200/84,200

AA1 EQU 1 ;номера узлов

AA2 EQU 2

AA3 EQU 3

AA4 EQU 4

AA5 EQU 5

AA6 EQU 6

AA7 EQU 7

AA8 EQU 8

AA11 EQU 11 ;номера таблиц маршрутизации

AA12 EQU 12

AA13 EQU 13

AA14 EQU 14

AA15 EQU 15

AA16 EQU 16

AA17 EQU 17

AA18 EQU 18

B12 EQU 12 ;номера ветвей

B21 EQU 21

B23 EQU 23

B32 EQU 32

B34 EQU 34

B43 EQU 43

B14 EQU 14

B41 EQU 41

B56 EQU 56

B65 EQU 65 ;номера ветвей

B67 EQU 67

B76 EQU 76

|  |          |             |                |
|--|----------|-------------|----------------|
| B78  | EQU      | 78          |                |
| B87  | EQU      | 87          |                |
| B58  | EQU      | 58          |                |
| B85  | EQU      | 85          |                |
| B15  | EQU      | 15          |                |
| B51  | EQU      | 51          |                |
| B26  | EQU      | 26          | ;номера ветвей |
| B62  | EQU      | 62          |                |
| B37  | EQU      | 37          |                |
| B73  | EQU      | 73          |                |
| B48  | EQU      | 48          |                |
| B84  | EQU      | 84          |                |
| B12  | STORAGE  | 1           | ;ЧИСЛА         |
| B21  | STORAGE  | 1           |                |
| B23  | STORAGE  | 1           | ;КАНАЛОВ       |
| B32  | STORAGE  | 1           |                |
| B34  | STORAGE  | 1           | ;В ВЕТВЯХ      |
| B43  | STORAGE  | 1           |                |
| B14  | STORAGE  | 1           | ;СЕТИ          |
| B41  | STORAGE  | 1           |                |
| B56  | STORAGE  | 1           |                |
| B65  | STORAGE  | 1           |                |
| B67  | STORAGE  | 1           |                |
| B76  | STORAGE  | 1           |                |
| B78  | STORAGE  | 1           |                |
| B87  | STORAGE  | 1           |                |
| B58  | STORAGE  | 1           |                |
| B85  | STORAGE  | 1           |                |
| B15  | STORAGE  | 1           |                |
| B51  | STORAGE  | 1           |                |
| B26  | STORAGE  | 1           |                |
| B62  | STORAGE  | 1           |                |
| B37  | STORAGE  | 1           |                |
| B73  | STORAGE  | 1           |                |
| B48  | STORAGE  | 1           |                |
| B84  | STORAGE  | 1           |                |
| MREZ   | MATRIX   | ,5,1        |                |
| OBMARSH  | MATRIX   | ,8,8        |                |
| OTMARSH  | MATRIX   | ,8,8        |                |
| VMARSH   | MATRIX   | ,8,8        |                |
| OBVETV   | MATRIX   | ,8,8        |                |
| OTVETV   | MATRIX   | ,8,8        |                |
| VVETV  | MATRIX   | ,8,8        |                |
| TDOV   | TABLE    | M1,0,200,40 |                |
| TMAR   | TABLE    | M1,0,200,40 |                |
| OTP  | FUNCTION | RN1,D8      |                |
| .125,1/.25,2/.375,3/.5,4/.625,5/.75,6/.875,7/1,8 |          |             |                |
| AA1  | FUNCTION | RN1,D7      | ;получатели    |
| .143,2/.286,3/.429,4/.572,5/.715,6/.858,7/1,8    |          |             |                |
| AA2  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,3/.429,4/.572,5/.715,6/.858,7/1,8    |          |             |                |
| AA3  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,2/.429,4/.572,5/.715,6/.858,7/1,8    |          |             |                |
| AA4  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,2/.429,3/.572,5/.715,6/.858,7/1,8    |          |             |                |
| AA5  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,2/.429,3/.572,4/.715,6/.858,7/1,8    |          |             |                |
| AA6  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,2/.429,3/.572,4/.715,5/.858,7/1,8    |          |             |                |
| AA7  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,2/.429,3/.572,4/.715,5/.858,6/1,8    |          |             |                |
| AA8  | FUNCTION | RN1,D7      |                |
| .143,1/.286,2/.429,3/.572,4/.715,5/.858,6/1,7    |          |             |                |

```

AA11 FUNCTION P$POL,D7 ;таблица маршрутизации
2,12/3,14/4,14/5,15/6,15/7,15/8,15
AA12 FUNCTION P$POL,D7
1,21/3,23/4,23/5,26/6,26/7,26/8,26
AA13 FUNCTION P$POL,D7
1,32/2,32/4,34/5,37/6,37/7,37/8,37
AA14 FUNCTION P$POL,D7
1,41/2,41/3,43/5,48/6,48/7,48/8,48
AA15 FUNCTION P$POL,D7
1,51/2,51/3,51/4,51/6,56/7,58/8,58
AA16 FUNCTION P$POL,D7
1,62/2,62/3,62/4,62/5,65/7,67/8,67
AA17 FUNCTION P$POL,D7
1,73/2,73/3,73/4,73/5,76/6,76/8,78
AA18 FUNCTION P$POL,D7
1,84/2,84/3,84/4,84/5,85/6,85/7,87
MRSHR EQU 17
RASPR FUNCTION RN1,C24
0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38/
.8,1.6/.84,1.85/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2/
.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/1,8
PER VARIABLE 100000/VHDPOT
MR VARIABLE P$OTPR#10+P$POL
PU VARIABLE P$POL+10
KU VARIABLE P$OTPR+10
III VARIABLE P$VETV/10
JJ VARIABLE P$VETV@10+10
JJJ VARIABLE P$VETV@10
OGER VARIABLE (Q$B12+Q$B14+Q$B15+Q$B73+Q$B76+Q$B78)/6
ISP VARIABLE (SR$B12+SR$B14+SR$B15+SR$B73+SR$B76+SR$B78)/6000
VETV FVARIABLE 1000#MX$OTVETV(P$III,P$JJJ)/MX$OBVETV(P$III,P$JJJ)
MARSH FVARIABLE 1000#MX$OTMARSH(P$OTPR,P$POL)/MX$OBMARSH(P$OTPR,P$POL)
VER FVARIABLE X$OTKAZ#1000/(N$FIN+1)+0.5
OT FVARIABLE X$OTKAZ/N$FIN
ZZ FVARIABLE X$ZADER/N$FIN
;-----
GENERATE V$PER,FN$RASPR
ASSIGN OTPR,FN$OTP
ASSIGN POL,FN*OTPR
ASSIGN MAR,V$MR
ASSIGN KU,V$KU
CICL ASSIGN VETV,FN*KU
ASSIGN III,V$III
ASSIGN JJJ,V$JJJ
MSAVEVALUE OBVETV+,V$III,V$JJJ,1
TEST GE Q*VETV,FN$DQ,IM
GATE SNF P$VETV,OTK
IM QUEUE P$VETV
ENTER P$VETV
DEPART P$VETV
ADVANCE FN$TPRD,FN$RASPR
LEAVE P$VETV
ASSIGN KU,V$JJ
TEST E V$PU,P$KU,CICL
TABULATE TDOV
TEST E P$MAR,MRSR,AAA
TABULATE TMAR
AAA TEST G M1,TPRED,FIN
SAVEVALUE ZADER+,1
TRANSFER ,FIN
OTK SAVEVALUE OTKAZ+,1
MSAVEVALUE OTMARSH+,P$OTPR,P$POL,1
MSAVEVALUE OTVETV+,V$III,V$JJJ,1

```

```

FIN    SAVEVALUE  VEROT,V$VER
MSAVEVALUE VVETV,V$III,V$JJJ,V$VETV
MSAVEVALUE OBMARSH+,P$OTPR,P$POL,1
MSAVEVALUE VMARSH,P$OTPR,P$POL,V$MARSH
MSAVEVALUE MREZ,1,1,N$FIN
MSAVEVALUE MREZ,2,1,V$OT
MSAVEVALUE MREZ,3,1,V$ZZ
MSAVEVALUE MREZ,4,1,V$ISP
MSAVEVALUE MREZ,5,1,V$OGER
TERMINATE 1

```

## 5. Лабораторное задание

5.1. Изучить модель СКП, способы ввода исходных данных и считывания результатов эксперимента.

5.2. Измерить выходные параметры для заданных в работе исходных данных и конфигурации СКП (однородная структура типа “сплющенный куб” - рис.4.1).

В результирующей матрице MREZ основные результаты прогона фиксируются в следующей последовательности:

- V – 1-я строка матрицы - число обработанных пакетов (доведённых и снятых с обслуживания). Оно равно числу транзактов, установленных в команде START;
- n - 2-я строка - число потерянных (не доведённых) пакетов, т.е. снятых с обслуживания из-за занятости всех каналов и мест ожидания в буфере в какой-либо из ветвей по маршруту передачи этого пакета;
- z - 3-я строка - число пакетов, доведённых до адресата за время, превышающее допустимое. Допустимое время доведения  $T_{доп}$  задаётся оператором TPRED в единицах модельного времени. Например, оператор  
TPRED EQU 5000
- установит допустимое время в 0.05 с (Напомним, что 1 е.м.в.=10 мкс);

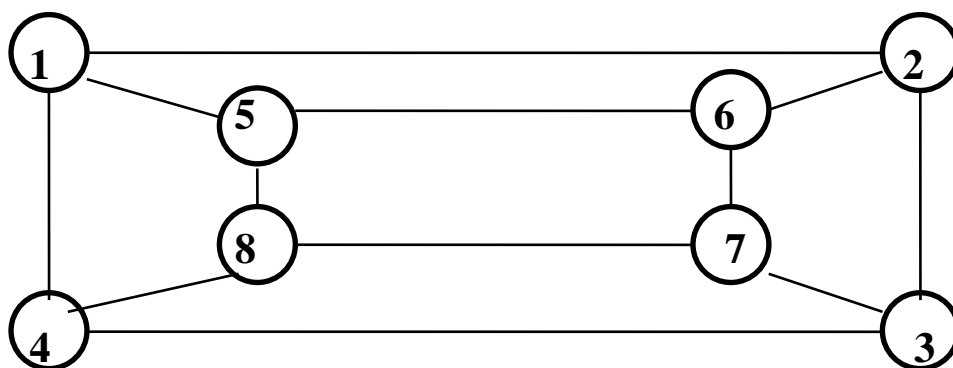


Рис. 4.1. Схема моделируемой сети

- k - 4-я строка - средний коэффициент использования (средняя загрузка) каналов по всей сети.

- q - 5-я строка - средняя длина очереди к каналам по всей сети;

5.3. Изменить исходные данные, установив входной поток  $\square$  по номерам

бригад в соответствии с табл. 4.1. Входной поток задаётся оператором VHDPOT в числах пакетов в секунду.

Таблица 4.1. Выбор входных параметров по номеру бригады

| Номер бригады      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Входной поток, тыс | 4.8 | 4.9 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.5 | 5.6 | 5.7 | 5.8 |

Снять зависимость показателей  $n$ ,  $z$ ,  $k$  и  $q$  от изменения входного потока  $\square$  в точках  $\square$ ;  $1.4\square$ ;  $1.7\square$  и  $2\square$ . Результаты занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Результаты экспериментов по прогонам

| № эксперимента |                     | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | .... |
|----------------|---------------------|-------|---|---|---|---|------|
| Условия        | $\square$ , пакет/с | 5000  |   |   |   |   |      |
|                | C, Мбит/с           | 2     |   |   |   |   |      |
|                | Q                   | 10    |   |   |   |   |      |
| Результаты     | d                   | .013  |   |   |   |   |      |
|                | z                   | .007  |   |   |   |   |      |
|                | k                   | .728  |   |   |   |   |      |
|                | q                   | 1.724 |   |   |   |   |      |

5.4. Для номинального входного потока  $\square$  (табл. 4.1) снять зависимость основных показателей  $n$ ,  $z$ ,  $k$  и  $q$  от числа мест в буферах ожидания - Q. Значения Q задаются в операторе DQ FUNCTION P\$VETV,D24 для каждой из 24-х ветвей. В исходном варианте  $Q=10$ . Значения Q в прогонах устанавливать равными 0, 5, 10, 15 и 20.

5.5. Для номинального входного потока  $\square$  (табл. 4.1) и значений Q равных

10-и снять зависимость основных показателей  $n$ ,  $z$ ,  $k$  и  $q$  от скорости магистрального канала. В исходном варианте  $C = 2$  Мбит/с. Значения C в прогонах устанавливать равными 1, 2 и 4 Мбит/с. Канальные скорости задаются функцией TPRD FUNCTION P\$VETV,D24. В исходном варианте в этом операторе для каждой из 24-х ветвей установлено значение 200 е.м.в. (время передачи пакета длиной в 500 байт по каналу с полосой в 2 Мбит/с). Для скорости в 1 Мбит/с это время нужно увеличить вдвое, а для скорости в 4 Мбит/с – уменьшить вдвое.

Подобрать опытным путём минимально необходимую канальную скорость для выполнения следующих условий (отдельно по каждому условию):

- характеристика потерь, как максимально допустимая доля потерянных пакетов:  $R_{пот} \square 0.05$ . Определяется как значение d в MREZ;
- характеристика доведения, как допустимая доля пакетов, доводимых за сверхдопустимое время:  $R_{дов}(T>0.1с) \square 0.05$ . Определяется как значение z в MREZ.

Зафиксировать в отчёте канальную скорость, достаточную для выполнения

обоих условий.

5.6. Перестроить параметры сети следующим образом: заменить одноканальные ветви с пропускной способностью  $C = 2$  Мбит/с на многоканальные ветви с

32-я каналами в каждой ветви и скоростью в каждом канале, равной  $C_1 = 64$  кбит/с. Числа каналов изменяются в операторе STORAGE, а канальные скорости задаются функцией `TPRD FUNCTION P$VETV,D24`. Исходное значение 200 е.м.в. необходимо заменить для каждой ветви на значение 6250 е.м.в. (время передачи пакета длиной в 500 байт по каналу с полосой 64 кбит/с). Таким образом, примерно сохраняются пропускные способности ветвей.

Провести прогон для номинального входного потока  $\square$  (табл. 4.1) и  $Q = 10$ . Полученные результаты ( $n$ ,  $z$ ,  $k$  и  $q$ ) и гистограммы сопоставить с результатами по п. 5.3 для тех же значений  $\square$  и  $Q$ .

## 6. Отчёт по работе

6.1. Описать работу модели СКП и перечень вводимых в модель и измеряемых параметров.

6.2. Построить графики зависимостей и гистограммы по пп. 5.3, 5.4 и 5.5.

6.3. Объяснить результаты измерений по п. 5.6.

## 7. Контрольные вопросы

7.1. Как выбирается единица модельного времени?

7.2. Как формируется суммарный входной поток пакетов?

7.3. Опишите процедуру формирования частных потоков (от конкретного ЦКП-отправителя к конкретному ЦКП-получателю).

7.4. Опишите процедуру формирования таблицы маршрутизации.

7.5. Объясните зависимость основных показателей сети от объема буферов ожидания и от интенсивности входного потока.

## 8. Литература: [1, 2, 3, 6].

## Список литературы

1. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS. М. Машиностроение. 1980.
2. Руководство пользователя по GPSS World. /перевод с английского/. – Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2002. – 384 стр.
3. Учебное пособие по GPSS World. /перевод с английского/. – Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2002. – 272 стр.
4. Ипатов В.П., Орлов В.К., Самойлов И.М., Смирнов В.Н. Системы мобильной связи. Учебное пособие. Москва. Горячая линия – Телеком. 2003. 272 стр.
5. Абилов А.В. Сети связи и системы коммутации. Москва. «Радио и связь». 2004. 288 стр.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для ВУЗов. 3-е издание. Издательский дом - Питер. 2006. 958 стр.
7. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. Москва. Техносфера. 2006. 288 стр.
8. Нерсисянц А.А. Изучение методов имитационного моделирования в системе GPSS World. Методические указания к практическим занятиям. Ростов-на Дону. МТУСИ СКФ. 2003. 16 стр.