

Федеральное агентство связи

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Самара

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования «Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики»

Кафедра МСИБ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Методическое пособие для выполнения курсового и дипломного
проектирования

Составители:

д.т.н., проф. Лихтциндер Б.Я.
асс. Бельская Н.М.

Редактор:

к.т.н., доц. Зайкин В.П.

Рецензент:

д.т.н., проф. Васин Н.Н.

Самара 2012

Лихтциндер Б.Я., Бельская Н.М.

Расчет параметров распределенной информационно-управляющей системы/
Методическое пособие для выполнения курсового и дипломного проектирования. - Самара, ПГУТИ, 2012. – 34 с.: илл. –10.

В учебном пособии рассматриваются общие принципы функционирования распределенной информационно-управляющей системы, рассмотрены вопросы передачи почтовых и интерактивных сообщений, представлен метод анализа распределенной информационно-управляющей системы, что позволяет использовать его в учебном процессе по дисциплине «Системы документальной электросвязи» по специальности 210406 «Сети связи и системы коммутации»

Содержание

1. Распределенная информационно-управляющая система...	4
1.1 Почтовые и интерактивные сообщения.....	4
2. Задание на курсовой проект.....	10
3. Метод анализа.....	13
3.1 Эквивалентные задержки в сети.....	13
3.2 Время загрузки входящего канала почтовыми сообщениями.....	18
3.3 Время загрузки исходящего канала почтовыми сообщениями.....	19
3.4 Время загрузки входящего канала интерактивными сообщениями.....	19
3.5 Время загрузки исходящего канала интерактивными сообщениями.....	20
3.6 Коэффициенты загрузки.....	20
4. Цикл опроса.....	21
4.1 Латентное время.....	21
4.2 Голосовые сообщения.....	23
5. Время ожидания в очередях.....	25
5.1 Время ожидания сообщений в очередях ЭВМ ЦДП...25	
5.2 Время ожидания сообщений в очередях в узлах коммутации.....	28
5.3 Время задержки доставки ответа для интерактивных сообщений.....	30
5.4 Время доставки почтовых сообщений.....	31

1. Распределенная информационно - управляющая система

Распределенная информационно-управляющая система (РИУС) строится в виде частной виртуальной IP-сети. Система содержит центральный диспетчерский пункт (ЦДП), в который постоянно поступает оперативная информация от территориально распределенных пунктов управления (ПУ). Общая структурная схема РИУС показана на рис.1.

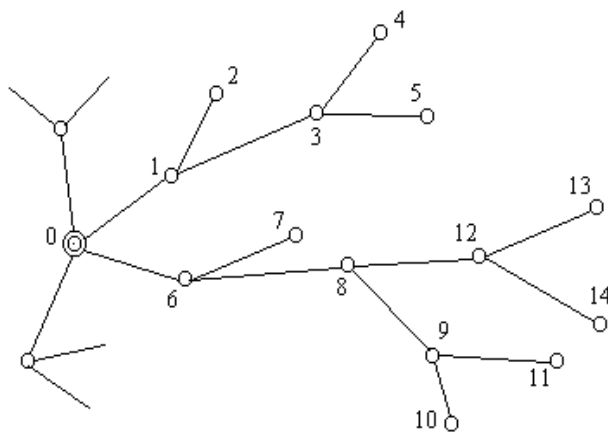


Рис.1

На рисунке представлен фрагмент сети, в узлах которой размещены сетевые коммутаторы. Все ПУ сообщаются между собой через ЦДП, расположенный в корневом узле Y_0 .

1.1 Почтовые и интерактивные сообщения

Рассмотрим структурную схему РИУС, представленную на рис.2. ЦДП содержит сервер управления (СУ), в котором хранится основная управляющая информация, сервер баз данных (СБД), коммуникационный сервер (КС), а также содержит ряд рабочих станций, объединенных совместно с серверами в одну локальную вычислительную сеть (ЛВС).

ЦДП имеет центральную ЭВМ с процессором ввода-вывода (ЭВМ), управляющим сетью. Сеть является разветвленной и в каждом узле разветвления содержит узлы коммутации пакетов (УКП). Основная часть трафика формируется в пунктах, расположенных вблизи с узлами коммутации. Оконечное оборудование, расположенное в пунктах формирования трафика, объединяется в ЛВС, подключаемые к серверу УКП, который обеспечивает оптимизацию потоков сообщений, передаваемых по линиям связи между УКП.

Линии, соединяющие оконечные ЛВС с концентраторами образуют местные звенья передачи данных и работают на скорости 192 Кбит/с ($V_m=192\ 000$ бит/с). Линии сети, соединяющие центры коммутации пакетов, образуют основные звенья передачи данных и работают со скоростью 2 Мбит/с ($V_o=2$ Мбит/с). Основные компоненты участка сети представлены на рис.2.

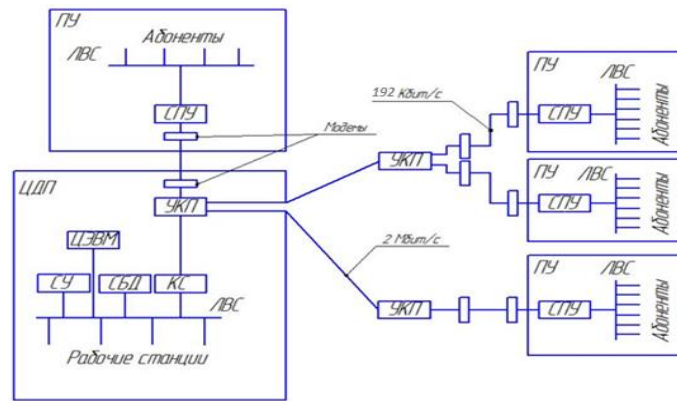


Рис.2

В сети передаются два вида сообщений. Первую группу представляют сообщения, передаваемые в режиме электронной почты и сигнальные сообщения (ПС), которые, все вместе генерируются абонентами с интенсивностью $\lambda_{\text{вх пс}} = 5$ сооб/с. Вторую группу составляют интерактивные (голосовые) сообщения, которые, все вместе генерируются абонентами с интенсивностью $\lambda_{\text{вх инт}} = 20$ сооб/с.

Каждое почтовое сообщение содержит в среднем по два блока кадров имеющих длину информационной части $V_{\text{пс инф}} = 512$ байт. Для реализации процедуры HDLC и сетевого протокола в каждый протокольный блок данных добавляется еще по 19 байт = $V_{\text{пс упр}}$, так что почтовый кадр данных имеет длину: $V_{\text{пс}} = V_{\text{пс инф}} + V_{\text{пс упр}} = 531$ байт, как это показано на рис.3 а.

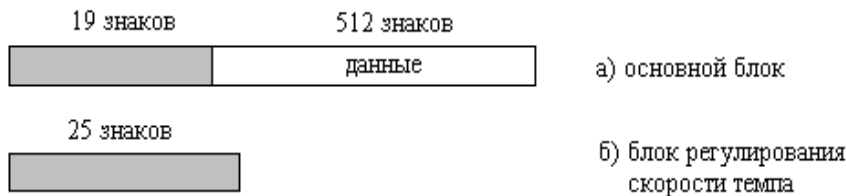


Рис.3

Вторая группа сообщений формирует интерактивный трафик. Интерактивные сообщения (ИС) используются в режиме интерактивного обмена голосовой информацией между центральным блоком и абонентами, и имеют более высокий приоритет, по сравнению с ПС. При этом, среднее ИС, поступающее к ЦДП, содержит один блок, а среднее сообщение, поступающее от ЦДП к абонентам, содержит по N блоков длиной по $V_{\text{инт}} = 364$ знаков из которых $V_{\text{инт инф}} = 320$ знаков, а $V_{\text{инт упр}} = 44$ знака.

Процедура HDLC осуществляется в режиме нормального опроса, причем станция ЦДП, является первичной, а все остальные - вторичными. Вторичная станция может передавать информацию лишь после поступления на нее блока, содержащего опрос. Опрос может быть успешным, когда в ответ поступают информационные блоки или безуспешным, когда вторичная опрашиваемая

станция не имеет информации и посылает в ответ на запрос лишь короткий блок, используемый для регулирования темпа передачи. В отличие от основного блока, он содержит всего 25 байт, как это показано на рис.3 б.

Блоки безуспешного ответа используются для регулирования темпа передачи. Опросные блоки, исходящие от ЦДП содержат по $v_{оп} = 6$ байт, а блоки безуспешного ответа на опрос, содержат по 25 байт $v_{б0} = 25$ байт. Каждый байт содержит 8 двоичных элементов.

Последовательность обмена сообщениями для трафика ПС представлена на рис.4.

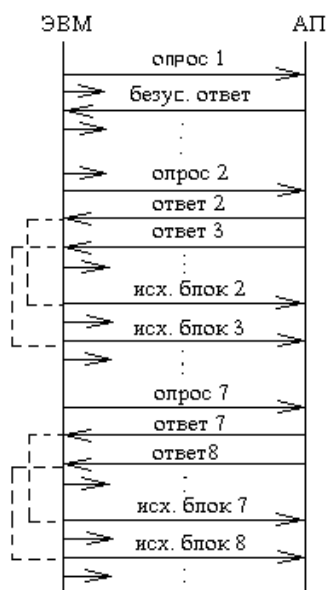


Рис. 4

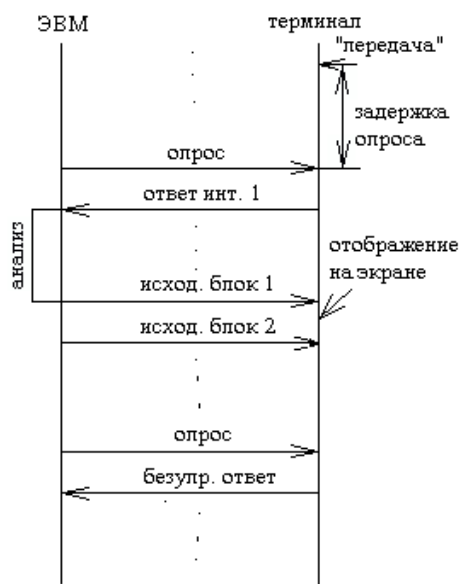


Рис. 5

Необходимо отметить, что информация о безуспешном ответе накапливается непосредственно в узлах коммутации пакетов. Поэтому задержки в модемах местной сети при опросе не учитываются.

Опрос 1 является безуспешным и на него следует блок ответа длиной $v_{б0} = 25$ байт.

Опрос 2 является успешным, и на него поступают два ответных блока: ответ 2 и ответ 3. Эти блоки содержат сообщение, которое опрашиваемый абонент должен передать через ЦДП другому абоненту. После анализа поступивших ответов ЭВМ ЦДП формирует исходящие блоки 2 и 3, которые направляются получателю. При безуспешном опросе никаких сообщений адресатам не поступает. Короткими стрелками на рис.4 показаны опросные сообщения интерактивного трафика, предшествующие каждому исходящему от ЦДП блоку, пока опрос не будет отработан.

Последовательность обмена сообщениями для трафика ИС представлена на рис.5.

Когда появляется любое из сообщений, ничего не происходит до тех пор, пока не поступит очередное сообщение опроса. Немедленно, по получению опроса, терминал абонента направляет в сторону ЦДП блок ответа длиной $v_{инт.}$

Это сообщение проходит по линиям и узлам коммутации, и поступает на ЦДП, где обрабатывается в течение среднего времени $\tau_a = \tau_{a.инт} = \tau_{a.пс} = 0,05сек$. Спустя указанное время, ЦДП направляет подряд N исходящих блока (например, это блок 1 и блок 2), которые, после задержки в линиях, узлах коммутации, поступают на терминал абонента. Время ответа для интерактивных сообщений оценивается промежутком от момента нажатия абонентом кнопки передача до момента появления первого символа ответа на экране терминала абонента или появления первого ответного звука в его телефонной трубке.

На рис 6. представлены временные диаграммы для входящих и исходящих каналов интерактивных и почтовых сообщений в течение цикла опроса $T_{ц}$.

Интерактивные и почтовые сообщения в каналах будут идти вперемешку. Однако, интерактивным сообщениям дается относительный приоритет. Это означает, что, если на выходе ЭВМ имеются как интерактивные, так и почтовые сообщения, то блоки интерактивных сообщений пойдут первыми. Если же почтовый блок уже передается, то блок интерактивного сообщения будет ожидать конца его передачи. Эти задержки возникают в точках, указанных на рис.5. Если интерактивное сообщение задерживается, то среднее время его задержки равно, приблизительно, половине времени передачи исходящего почтового блока. По исходящему каналу передаются опросные сообщения как для почтовых, так и для интерактивных сообщений. После получения ЦДП ответа на опрос, интерактивным абонентам, передаются исходящие блоки N, (например, это блоки 1 и 2), а почтовым абонентам - исходящие блоки 7 и 8. Интерактивные блоки N, как имеющие наивысший приоритет, передаются непосредственно друг за другом, а почтовые блоки передаются по мере освобождения исходящего канала.

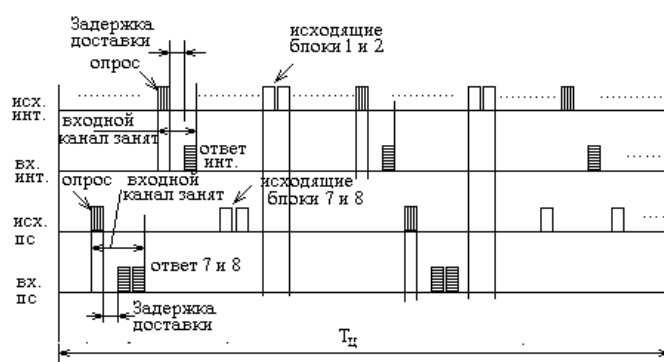


Рис.6

Абонент не может передавать ответное сообщение до получения им опроса. Поэтому входящий канал блокируется до тех пор, пока опрос достигнет абонента. Это время названо задержкой доставки - $\tau_{зд}$. В результате входной канал окажется занятым не только во время передачи ответных сообщений, но и во время задержки доставки сообщения, что и показано на рис.6.

В отличие от входящего, исходящий канал занят лишь во время передачи сообщений опроса, а также исходящих интерактивных и телеграфных блоков,

и не блокируется, поскольку инициатива опроса всегда исходит со стороны ЭВМ.

Таблица 1

Наименование	ПАРАМЕТРЫ			
	ПОЧТОВЫЕ		ИНТЕРАКТИВНЫЕ	
	Обозначение	Значение	Обозначение	Значение
Интенсивность поступления сообщений	$\lambda_{\text{вх пс}}$	5 [1/с]	$\lambda_{\text{вх инт}}$	20 [1/с]
Длина информационной части блока	$V_{\text{и пс}}$	512 [зн.]	$V_{\text{и инт}}$	320 [зн.]
Длина управляющей части блока	$V_y = 19$ знаков			
Общая длина блока	$V_{\text{пс}}$	531 [зн.]	$V_{\text{инт}}$	364 [зн.]
Длина блока опроса	$V_{\text{оп}} = 6$ знаков			
Длина блока без успешного ответа	$V_{\text{бо}} = 25$ знаков			
Время анализа на ЭВМ	$\tau_{\text{а.пс}}$	0,05 с	$\tau_{\text{а.инт}}$	0,05 с
Скорость модуляции в основном звене	$V_0 = 2000$ Кбит/с			
Скорость модуляции в местном звене	$V_m = 192$ Кбит/с			

2. Задание на курсовой проект

1. На заданном фрагменте сети найти задержки τ_{ij} распространения сигнала на участках ветвей V_{ij} и суммарное круговое время задержки τ_c .

2. Проанализировать работу рассматриваемой сети. Для этого необходимо выполнить расчет времен и коэффициентов загрузки входящего и исходящего канала интерактивными и почтовыми сообщениями. Результаты расчетов занести в табл. 2.

Таблица 2.

Параметр	Обозначение	Значение
Время загрузки вх. канала почт. сообщениями	$\tau_{вх.пс}$	
Время загрузки исх. канала почт. сообщениями	$\tau_{исх.пс}$	
Время загрузки вх. канала инт. сообщениями	$\tau_{вх.инт}$	
Время загрузки исх. канала инт. сообщениями	$\tau_{исх.инт}$	
Коэффициент загрузки вх. канала почт. сообщениями	$\rho_{вх.пс}$	
Коэффициент загрузки исх. канала почт. сообщениями	$\rho_{исх.пс}$	
Коэффициент загрузки вх. канала инт. сообщениями	$\rho_{вх.инт}$	
Коэффициент загрузки исх. канала инт. сообщениями	$\rho_{исх.инт}$	
Коэффициент загрузки по входящему каналу	$R_{вх}$	
Коэффициент загрузки по исходящему каналу	$R_{исх}$	

3. Вычислить время ожидания в очередях $t_{о\ инт}$ и $t_{о\ пс}$.
4. Найти эквивалентную задержку в очередях центров коммутации $t_{оэц}$.
5. Определить время задержки почтового $\tau_{зд\ мз\ пс}$ и интерактивного $\tau_{зд\ мз\ инт}$ блоков в местном звене.
6. Рассчитать полное время, ответа почтовых $T_{отв\ пс}$ и интерактивных $T_{отв\ инт}$ сообщений и заполнить таблицы 6 и 7.
7. При выполнении дипломного проектирования, определить минимальное число N интерактивных сообщений, передаваемых в течение одного опроса, необходимое для передачи голосовой информации (для начала, принять $N=2$).

Исходные данные

Номер варианта выбирается по последней цифре зачетной книжки.

Исходные данные общие для всех вариантов приведены в таблицах 1 и 5. Число интерактивных сообщений, передаваемых в течение одного опроса, необходимое для передачи голосовой информации $N=2$.

На рис. 7 представлены схемы сети для расчета, номер схемы для каждого варианта указан в таблице 3.

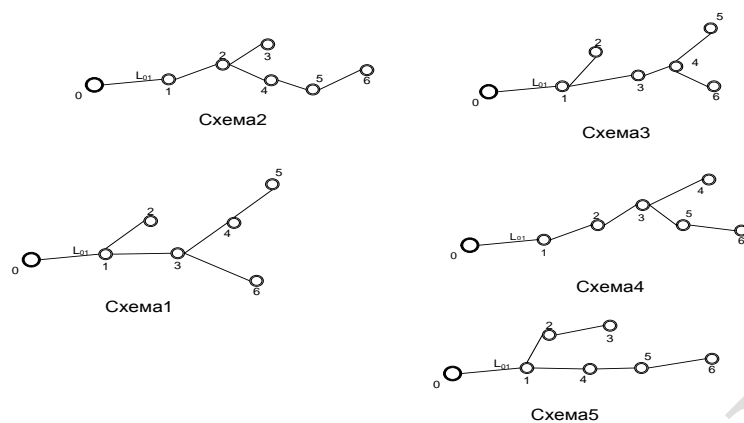


Рис.7

Таблица 3

№ вари- анта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ схемы	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
L_{01}	90	96	113	46	94	67	89	104	58	204
L_{12}	162	200	74	37	83	149	186	86	76	76
L_{13}	125	82	-	-	98	123	-	-	-	-
L_{23}	-	-	89	201	-	-	93	69	173	58
L_{24}	-	-	113	46	-	-	-	-	-	-
L_{34}	90	96	-	-	94	67	89	104	-	-
L_{14}	-	-	-	-	-	-	-	-	58	204
L_{45}	78	163	56	95	112	91	-	-	85	90
L_{35}	-	-	-	-	-	-	111	93	-	-
L_{56}	-	-	74	37	-	-	186	86	76	76
L_{46}	-	-	-	-	83	149	-	-	-	-
L_{36}	162	200	-	-	-	-	-	-	-	-

L_{ij} – длина участка между i -тым и j -тым узлами сети [км].

В таблице 4 указаны числа компьютеров K_i в узлах i .

Всего, в каждом варианте по $K=20$ компьютеров.

Таблица 4

№вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а										
K_1	3	3	3	2	1	6	6	6	6	5
K_2	5	3	2	1	2	1	5	3	5	3
K_3	3	2	1	3	3	2	1	5	3	1
K_4	2	1	5	3	6	3	2	1	1	3
K_5	1	5	3	5	3	5	3	2	3	2
K_6	6	6	6	6	5	3	3	3	2	6

Величину входящей нагрузки от абонентов $\lambda_{i\text{ вх}}$ примем пропорциональной числу компьютеров K_i в узлах i . Суммарная интенсивность поступления пакетов для почтовых и сигнальных сообщений $\lambda_{\text{вх nc}} = 5$ [1/с]. Суммарная интенсивность поступления пакетов для интерактивных сообщений $\lambda_{\text{вх инт}} = 20$ [1/с].

3.Метод анализа

3.1 Эквивалентные задержки в сети

Рассматриваемая сеть получена в результате выполнения алгоритма маршрутизации при создании виртуальных маршрутов, и не предусматривает наличие обходных путей.

Все Y_i ($i \neq 0$) являются концевыми, т.е. к каждому из них подключается абонентская нагрузка с интенсивностью $\lambda_{i\text{ вх}}$ – сообщений, направленных к ЦДП и исходящие интенсивностью $\lambda_{i\text{ исх}}$ сообщений, направленных от ЦДП.(направление движения сообщений всегда считается по отношению к ЦДП, а не по отношению к абонентам).

При расчетах будем принимать, что входящая в ЦДП от каждого узла нагрузка пропорциональна числу компьютеров данного узла, т.е.:

$$\begin{aligned} \square_{i\text{ вх инт}} &= \square_{\text{вх инт}} \cdot P_{i,\text{вх}} = \frac{K_i}{K} \square_{\text{вх инт}} ; \\ \square_{i\text{ вх nc}} &= \square_{\text{вх nc}} \cdot P_{i,\text{вх}} = \frac{K_i}{K} \square_{\text{вх nc}} . \end{aligned} \quad (1)$$

Обозначим через B_{ij} - ветвь, соединяющую узлы Y_i и Y_j сети. Обозначим участок сети включающий в себя все ветви на пути от узла Y_i к корневому узлу - через B_i . На рис.8. Например, для узла Y_4 такой путь B_4 проходит через вершины 0,1,3 и 4 и включает ветви B_{01}, B_{13}, B_{34} .

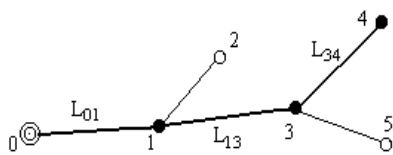


Рис.8

Обозначим длину участка пути, соответствующего ветви B_{ij} , через L_{ij} , а длину участка сети B_i , включающего все ветви на пути от узла Y_i к корневому узлу - через L_i :

$$L_i = \sum_{B_{jk} \in B_i} L_{jk} . \quad (2)$$

В рассматриваемом случае, например, $L_4=L_{43}+L_{31}+L_{10}$; $L_3=L_{31}+L_{10}$, а $L_2=L_{21}+L_{10}$ и т.д.

Если принять скорость распространения сигнала на линейном участке сети $C_0=231 \cdot 10^3$ км/с, то задержка времени распространения сигнала на участке ветви B_{ij} определяется соотношением:

$$\tau_{ij} = \frac{L_{ij}}{C_0} = \frac{L_{ij} [\text{км}]}{231 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}} \quad (3)$$

Задержку распространения сигнала на всем пути от узла Y_i до корневого узла обозначим через $\tau_{i,l}$:

$$\tau_{i,l} = \frac{L_i}{C_0} = \frac{L_i}{231 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}} \quad (4)$$

Вероятность возникновения такой задержки равна вероятности того, что сообщение пришло к корневому узлу от узла Y_i , то есть прошло путь B_i в направлении от узла Y_i к корневому узлу:

$$P_{i,ex} = \frac{K_i}{K}$$

Допустим, что сеть имеет M узлов (не считая корневого Y_0). Тогда эквивалентная задержка времени распространения в линиях для входящих и исходящих сообщений сети определится как средневзвешенное значений задержек $\tau_{i,l}$:

$$\tau_{l,ex} = \sum_{i=1}^M P_{i,ex} \cdot \tau_{i,l} = \tau_{l,исх} \quad (5)$$

Помимо задержек распространения в линиях, сообщения на пути между узлом Y_i и ЦДП испытывают также задержки в центрах коммутации. Эти задержки зависят от числа центров коммутации, встречающихся на указанном пути.

Например, для Y_4 и Y_5 на пути к корневому узлу Y_0 встречаются по 3 промежуточных узла, а на пути от Y_2 имеем только 2 узла (включая и узел Y_2).

Обозначим через M_i – число узлов, расположенных на пути B_i от узла Y_i до корневого узла.

Если время задержки $\tau_{ц}$ в каждом из узлов принять одинаковым ($\tau_{ц} = \tau_{р,цк} = 1$ мс), то суммарное время задержки во всех узлах, принадлежащих пути B_i , определится соотношением:

$$\tau_{i,ц} = \tau_{ц} \cdot M_i \quad (6)$$

Эквивалентные задержки в узлах для сообщений, входящих или исходящих, определяются аналогично задержке в линии, как средневзвешенное задержек $\tau_{i,ц}$:

$$\tau_{ц,ex} = \sum_{i=1}^M P_{i,ex} \cdot \tau_{i,ц} = \tau_{ц} \cdot \sum_{i=1}^M P_{i,ex} \cdot M_i \quad (7)$$

$$\tau_{ц.исх} = \sum_{i=1}^M P_{i.исх} \cdot \tau_{i.ц} = \tau_{ц} \cdot \sum_{i=1}^M P_{i.исх} \cdot M_i. \quad (8)$$

В нашем случае, оба времени $\tau_{ц.вх}$ и $\tau_{ц.исх}$ оказались равны, поскольку интенсивности нагрузок приняты пропорциональными числам компьютеров в узлах.

Итак, разветвленная сеть, с точки зрения временных задержек распространения сигналов, может быть заменена эквивалентным, не разветвленным участком, представленным на рис.9.

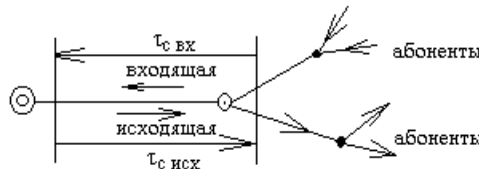


Рис.9

Он характеризуется суммарными эквивалентными задержками $\tau_{с.вх}$ и $\tau_{с.исх}$ для входящих и исходящих сообщений соответственно. При этом считается, что вся нагрузка этого участка сосредоточена в одном узле.

$$\tau_{с.вх} = \tau_{л.вх} + \tau_{ц.вх}. \quad (9) \quad \tau_{с.исх} = \tau_{л.исх} + \tau_{ц.исх}. \quad (10)$$

Суммарное круговое время задержки в линиях и коммутаторах сети аналогично, как для почтовых, так и для интерактивных сообщений:

$$\tau_c = \tau_{с.вх} + \tau_{с.исх}. \quad (11)$$

Рассматриваемая сеть представлена на рис.10 эквивалентной двухзвенной структурой. Основное звено ведет передачу со скоростью 2 Мбит/с, а местное звено - между абонентами и концентратором ведет передачу со скоростью 192 Кбит/с.

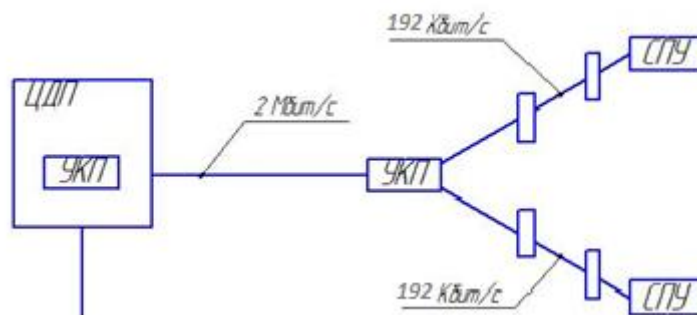


Рис. 10

Вся эквивалентная почтовая нагрузка с интенсивностью $\lambda_{вх пс} = 5$ [сооб/с] и интерактивная нагрузка, с интенсивностью $\lambda_{вх инт} = 20$ [сооб/с] сосредоточена, соответственно в абонентских пунктах ПУ.

При оценке сетевых задержек были определены следующие составляющие, в миллисекундах:

Таблица 5

Время реакции ЭВМ при вводе – выводе	$\tau_{pэ}=1 \text{ мс}$
Задержка модемов в местном звене	$\tau_{зм}=5 \text{ мс}$
Задержка анализа сообщений в центре коммутации	$\tau_{pцк}=1 \text{ мс}$
Время задержки в концентраторе	$\tau_{зк}=6 \text{ мс}$
Время реакции терминального СПУ (концентратора)	$\tau_{рк}=1 \text{ мс}$
Задержка распространения в местной линии	$\tau_{мл}=0 \text{ мс}$
Задержка отображения терминалом (от окончания приема блока, до его отображения на экране терминала)	$\tau_m=100 \text{ мс}$
Задержка печати блока принтером	$\tau_n=200 \text{ мс}$

Прежде всего, необходимо установить, будет ли система работоспособной, и, если да, то на какое время ответа можно рассчитывать. Для этого сначала определим коэффициент загрузки основного канала. Если он окажется приемлемым, то оценим ожидаемое время ответа для интерактивного трафика. Для оценки коэффициента загрузки основного канала необходимо рассчитать время, требуемое для выполнения каждой из операций, представленных на рис.6.

3.2 Время загрузки входящего канала почтовыми сообщениями

Из анализа временной диаграммы, представленной для входящих почтовых сообщений, следует, что входной канал при каждом успешном опросе будет занят в течение промежутка времени $\tau_{вх.лс}$, равного сумме длительности опросного сообщения - $\tau_{он}$; промежутка времени задержки доставки блока в основном звене - $\tau_{зд}$; времени, затрачиваемого на передачу каждого входящего ответного блока почтовых сообщений (блоки ответов 7 и 8) - $\tau_{нс}$.

$$\tau_{вх.лс} = \tau_{он} + \tau_{зд} + 2\tau_{нс}. \quad (12)$$

Время задержки доставки $\tau_{зд}$ в свою очередь содержит следующие составляющие:

- эквивалентное время задержки сети τ_c ;
- время задержки в модемах $\tau_{зм}$ (см. табл. 5);
- время задержки в сервере ЭВМ $\tau_{pэ}$ (см. табл. 5):

$$\tau_{зд} = \tau_c + 2\tau_{зм} + \tau_{pэ}. \quad (13)$$

Время передачи входящего ответного почтового блока $\tau_{нс}$ определяется, исходя из длины блоков почтовых сообщений $\nu_{нс}$:

$$\tau_{нс} = \frac{\nu_{нс} \cdot 8 \text{бит}}{B_0}. \quad (14)$$

Время, затрачиваемое на передачу блока опроса τ_{on} определяется, исходя из длины блока опроса $V_{оп}$:

$$\tau_{on} = \frac{v_{on} \cdot 8 \text{бит}}{B_0}. \quad (15)$$

3.3 Время загрузки исходящего канала почтовыми сообщениями

Из рассмотрения диаграммы загрузки исходящего канала почтовыми сообщениями следует, что при каждом успешном опросе канал занят в течение:

- времени передачи опросного сообщения τ_{on} ;
- времени передачи τ_{nc} каждого из 2-х исходящих почтовых блоков (блоки 7 и 8):

$$\tau_{исх.пс} = \tau_{on} + 2\tau_{nc}. \quad (16)$$

3.4 Время загрузки входящего канала интерактивными сообщениями

В отличие от почтового канала, на сообщение опроса интерактивные абоненты направляют интерактивный ответ, содержащий один, блок.

Время передачи указанного блока:

$$\tau_{инт} = \frac{v_{инт} \cdot 8 \text{бит}}{B_0}. \quad (17)$$

Входной канал при каждом успешном опросе будет занят интерактивными сообщениями в течение времени $\tau_{вх.инт}$, равного:

$$\tau_{вх.инт} = \tau_{on} + \tau_{зд} + \tau_{инт}. \quad (18)$$

3.5 Время загрузки исходящего канала интерактивными сообщениями

Каждый успешный опрос интерактивных абонентов сопровождается направлением к ним N исходящих блоков (на рис.6 это блоки, например, 1 и 2).

Следовательно, при каждом успешном опросе исходящий канал занят интерактивными сообщениями в течение промежутка времени:

$$\tau_{исх.инт} = \tau_{on} + N \cdot \tau_{инт}. \quad (19)$$

3.6 Коэффициенты загрузки

Коэффициент загрузки входящего почтового канала:

$$\rho_{в.пс} = \lambda_{вх.пс} \cdot \tau_{вх.пс}. \quad (20)$$

Коэффициент загрузки исходящего почтового канала:

$$\rho_{исх.пс} = \lambda_{исх.пс} \cdot \tau_{исх.пс}. \quad (21)$$

Коэффициент загрузки входящего канала интерактивными сообщениями:

$$\rho_{вх.инт} = \lambda_{вх.инт} \cdot \tau_{вх.инт}. \quad (22)$$

Коэффициент загрузки исходящего канала интерактивными сообщениями:

$$\rho_{исх.инт} = \lambda_{исх.инт} \cdot \tau_{исх.инт}. \quad (23)$$

Коэффициент загрузки по входящему каналу:

$$R_{вх} = \rho_{вх.пс} + \rho_{вх.инт}. \quad (24)$$

Коэффициент загрузки по исходящему каналу:

$$R_{исх} = \rho_{исх.пс} + \rho_{исх.инт}. \quad (25)$$

Если коэффициенты использования каналов окажутся достаточно низкими, то полученные результаты показывают, что линия справится с указанной нагрузкой.

4. Цикл опроса

4.1 Латентное время

Длительность цикла опроса зависит от дисциплины опроса, то есть от приоритетов и очередности опрашиваемых станций.

Примем, что все станции, как почтовые, так и интерактивные терминалы имеют одинаковый приоритет и опрашиваются по одному разу в течение каждого цикла. Интерактивным исходящим блокам, как уже было отмечено выше, отдается относительный приоритет перед исходящими почтовыми блоками. Опрос в моменты, когда исходящие сообщения на передаче отсутствуют, считается безуспешным. Каждый шаг безуспешного опроса из M шагов цикла включает в себя три составляющие.

- время непосредственной передачи блока опроса - $\tau_{он}$,
- время непосредственной передачи блока безуспешного ответа - $\tau_{оо}$:

$$\tau_{оо} = \frac{v_{оо} \cdot 8 \frac{\text{бит}}{\text{знак}}}{B_0}.$$

- промежутка времени задержки доставки блока в основном звене - $\tau_{з0}$.

Назовем время $\tau_L = \tau_{он} + \tau_{оо} + \tau_{з0}$, латентным временем опроса станции, а полное время T_L латентным временем сети:

$$T_L = K \cdot \tau_L. \quad (26)$$

Латентное время T_L фактически представляет минимальное время цикла опроса сети, когда в ней полностью отсутствует абонентская нагрузка. Если же в сети имеется абонентская нагрузка, то время полного цикла опроса $T_ц$ увеличивается, поскольку, каждый последующий шаг опроса задерживается на время передачи исходящих от ЭВМ блоков нагрузки.

В установившемся режиме, за время цикла, в среднем поступает $\lambda_{вх\ int} \cdot T_{ц}$ интерактивных и $\lambda_{вх\ nc} \cdot T_{ц}$ почтовых запросных сообщений. В результате ответов на каждый запрос, по исходящему каналу от ЭВМ, в течение времени $\tau_{исх.\ int}$ передаются ответные интерактивные сообщения, а в течение времени $\tau_{исх.\ nc}$ передаются ответные почтовые сообщения.

Полное время, затрачиваемое на передачу всех интерактивных сообщений:

$$\lambda_{вх.\ int} \cdot T_{ц} \cdot \tau_{исх.\ int} = \rho_{исх.\ int} \cdot T_{ц}. \quad (27)$$

Полное время, затрачиваемое на передачу всех почтовых сообщений:

$$\lambda_{вх.\ nc} \cdot T_{ц} \cdot \tau_{исх.\ nc} = \rho_{исх.\ nc} \cdot T_{ц}. \quad (28)$$

При этом, время полного цикла:

$$T_{ц} = \rho_{исх.\ int} \cdot T_{ц} + \rho_{исх.\ nc} \cdot T_{ц} + T_L = R_{исх} \cdot T_{ц} + T_L. \quad (29)$$

Это соотношение устанавливает зависимость времени опроса сети от абонентской нагрузки:

$$T_{ц} = \frac{T_L}{1 - R_{исх}}. \quad (30)$$

При малых значениях исходящей нагрузки времена цикла незначительно отличается от латентного времени сети.

При значительных нагрузках ($R_{исх} \rightarrow 1$) время цикла неограниченно возрастает, поскольку возрастают очереди исходящих сообщений, ожидающих передачу. Например, если опрашивается $K = 20$ абонентских станций, то для значений нагрузки $R_{исх} = 0,13$ и $\tau_L = 0.014$ с

$$T_{ц} = \frac{20 \cdot 0,014}{(1 - 0,13)} = 0,32 \text{ с},$$

и незначительно отличается от латентного времени $T_L = 20 \cdot 0,014 = 0,28$ с. Однако, уже при загрузке $R_{исх} = 0,85$, время цикла достигнет значения 1,8 секунды.

4.2 Голосовые сообщения

Формирование голосового трафика рассмотрим на примере алгоритма сжатия ADPCM (ITU-G726).

Кодек кодирует речь абонента и имеет АЦП, который производит 8000 отсчетов в секунду. Каждый отсчет содержит 16 бит. Следовательно, производительность АЦП составляет 128 кбит/с.

Кодек сжимает указанную информацию в 4 раза, доводя скорость потока до 32 кбит/с. (Различные кодеки формируют скорость цифрового потока в пределах $8 \div 64$ кбит/с).

Поток 32 кбит/с сегментируется на речевые пакеты длиной по 20 байт и длительностью 5 мс. $\left(\frac{20 \cdot 8 \text{ бит}}{32 \text{ кбит/с}} = 5 \text{ мс} \right)$. Размер голосовой (информационной) части IP-пакета составляет 320 байт. На рис.11 представлен формат конечного IP-кадра.

Всего, 364 байт (2912 бит)					
ИМС	IP	UDP	RTP	Голос	КПК
	20	8	12	320	4

Рис. 11

Это означает, что в одном кадре передается ровно 16 речевых пакетов:

$$\left(\frac{320 \text{ байт}}{20 \text{ байт/пакет}} = 16 \text{ пакетов} \right)$$

Время, необходимое для формирования 16 голосовых пакетов, составляет 90 мс :

$$\left(16 \frac{\text{пакетов}}{\text{кадр}} \cdot 5 \frac{\text{мс}}{\text{пакет}} = 90 \frac{\text{мс}}{\text{кадр}} \right).$$

Указанное время $T_{аб} = 90 \frac{\text{мс}}{\text{кадр}}$ является периодом поступления кадров для одного голосового абонента, в реальном времени, в случае его активности

В течение цикла опроса, ЭВМ ЦДП передает каждому из абонентов по N исходящих сообщений, каждое из которых несет полезную нагрузку $v_{u.инт} = 320$ байт (не считая служебной информации).

Если после передачи N исходящих сообщений, в ЦДП остались еще сообщения, подлежащие передаче, то они будут переданы абоненту в следующем цикле, и т.д., до тех пор, пока будут переданы все сообщения, предназначенные данному абоненту. Для получения очередной партии сообщений абонент должен нажать соответствующую клавишу на своем телефонном аппарате или терминале. В аналогичном режиме работают автоматизированные диалоговые системы на современных, Call-центрах. Для непрерывного звучания голосового сообщения, длящегося в течение нескольких циклов, получаемые блоки буферизируются и выдаются абоненту в виде непрерывного сообщения.

Средняя скорость передачи голосовой информации должна соответствовать кодеку, используемому в абонентском терминале. Так, для времени цикла $T_{ц} = 0,32$ с и $N = 5$, средняя скорость передачи голосовой информации к каждому из абонентов составляет:

$$V_N = \frac{N \cdot v_{u.инт} \cdot 8 \frac{\text{бит}}{\text{знак}}}{T_{ц}} = \frac{5 \cdot 320 \cdot 8}{0,32} = 40000 \frac{\text{бит}}{\text{с}} = 40 \frac{\text{кбит}}{\text{с}}.$$

Подобная скорость вполне достаточна для звукового кодека, работающего в указанном диапазоне скоростей, поскольку рассматриваемый кодек предусматривает скорость передачи лишь 32 кбит/с.

Если увеличить число блоков N , передаваемых в течение одного цикла, то скорость V_N вначале также будет увеличиваться. Однако, при этом, будет возрастать время цикла $T_{ц}$. Следовательно, имеется некоторое оптимальное число блоков N_{opt} , при котором скорость достигнет своего максимального значения V_{max} . С использованием расчетов на ЭВМ можно легко определить указанное оптимальное значение N_{opt} и, соответствующее ему, максимальное значение скорости передачи голосовых сообщений.

5. Время ожидания в очередях

5.1 Время ожидания сообщений в очередях ЭВМ ЦДП

Перед выходом на передачу любой, исходящий из процессора ЭВМ, блок должен некоторое время ожидать в очереди. В общем случае при использовании относительных приоритетов обработка сообщений организуется по схеме рис.11.

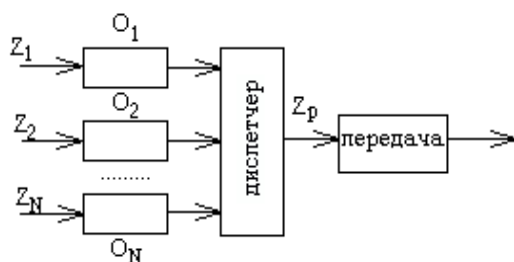


Рис. 11

Сообщениям типа Z_1, \dots, Z_n присвоены относительные приоритеты $1, \dots, n$, соответственно. Сообщение Z_p , поступившее в систему, и ожидающее передачи, заносится в очередь O_p , в которой хранятся сообщения приоритета P . В очереди O_p сообщения упорядочены по времени их поступления. Когда процессор Pr заканчивает передачу ранее обслуживаемого сообщения, то управление передается программе "ДИСПЕТЧЕР". Программа выбирает для очередной передачи сообщение с наивысшим приоритетом - сообщение Z_i , если очереди более старших приоритетов O_1, \dots, O_{i-1} не содержат сообщений (т.е. оказываются пустыми). Выбранное для передачи сообщение захватывает исходящий канал на все время передачи. Если в систему поступает n простейших потоков сообщений с интенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_n$, а длительность передачи сообщений каждого типа имеют средние значения τ_1, \dots, τ_n и вторые начальные моменты $\tau_1^{(2)}, \dots, \tau_n^{(2)}$, соответственно, то среднее время ожидания сообщений, имеющих приоритет k , определится соотношением:

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \tau_i^{(2)}}{2 \cdot (1 - R_{k-1}) \cdot (1 - R_k)}, \quad (31)$$

где

$$R_{K-1} = \rho_1 + \dots + \rho_{K-1}$$

$R_K = \rho_1 + \dots + \rho_K$, ρ_i - загрузки, создаваемые сообщениями i -го типа.

Используя понятие коэффициента вариации:

$$v_i = \frac{\sigma_i}{\bar{\tau}_i},$$

где σ_i - среднеквадратическое отклонение времен передачи сообщений i -го типа, получим соотношение:

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot \tau_i \cdot (1 + \gamma_i^2)}{2 \cdot (1 - R_{k-1}) \cdot (1 - R_k)}, \quad (k = 1, \dots, n).$$

В рассматриваемом нами конкретном случае анализа сети имеются всего два типа передаваемых блоков сообщений: исходящие интерактивные блоки, имеющие более высокий приоритет, и исходящие почтовые блоки, имеющие более низкий относительный приоритет. Следовательно:

$$\rho_i (i = 1, 2); \quad \rho_1 = \rho_{исх.инт}; \quad \rho_2 = \rho_{исх.пс}.$$

Для сообщений первого приоритета:

$$R_k = R_1 = \rho_{исх.инт}, \quad R_{k-1} = 0.$$

Для сообщений второго приоритета:

$$R_k = R_{21} = \rho_{исх.инт} + \rho_{исх.пс} = R_{исх};$$

$$R_{k-1} = R_1 = \rho_{исх.инт}.$$

Следовательно, для интерактивных блоков:

$$t_{о.инт} = \frac{\rho_{исх.инт} \cdot \tau_{инт} \cdot (1 + \gamma_{инт}^2) + \rho_{исх.пс} \cdot \tau_{пс} \cdot (1 + \gamma_{пс}^2)}{2(1 - \rho_{исх.инт})}. \quad (32)$$

Для почтовых блоков:

$$t_{о.пс} = \frac{\rho_{исх.инт} \cdot \tau_{инт} \cdot (1 + \gamma_{инт}^2) + \rho_{исх.пс} \cdot \tau_{пс} \cdot (1 + \gamma_{пс}^2)}{2(1 - \rho_{исх.инт}) \cdot (1 - R_{исх})}. \quad (33)$$

Для вычисления значений коэффициентов вариации длин блоков необходимо учесть следующее.

При каждом успешном опросе, ЦДП передает абоненту случайное число N исходящих блоков. Будем считать, что случайная величина N распределена по экспоненциальному закону. Это означает, что коэффициент вариации:

$$\gamma_{инт}^2 = 1. \quad (34)$$

Поскольку почтовые сообщения имеют постоянную длину, то:

$$\gamma_{пс}^2 = 0. \quad (35)$$

Расчет показывает, что, при малой загрузке, время ожидания в очереди блоков почтовых сообщений незначительно превышает время ожидания блоков интерактивных сообщений (сообщений мало и они не мешают друг другу при передаче). С увеличением нагрузок разница возрастает за счет того, что интерактивные блоки сообщений "вытесняют" почтовые.

5.2 Время ожидания сообщений в очередях в узлах коммутации

Блоки сообщений, попадающие в центры коммутации анализируются и направляются в соответствии с указанным в них адресом получателя через другие центры коммутаций к абоненту или к ЭВМ. Прежде, чем центр коммутации (ЦК) прочтет адрес для направления блока, необходимо, чтобы вся управляющая часть блока ($v_y = 19$ байт), содержащая адресную информацию, была полностью принята УК. Затрачиваемое на это время:

$$\tau_y = \frac{v_y \cdot 8 \text{бит}}{B_0}. \quad (36)$$

Затем, спустя некоторое время реакции УК ($\tau_{p.ук} = 1$ мс), если очередь сообщений в УК отсутствует, рассматриваемый блок направится дальше к следующему центру коммутации.

Одновременно с приемом блоков УК ведет передачу выходящих из него блоков.

Время $\tau_{ук}$ является полным временем, необходимым для обслуживания передачи блока сообщений в УК:

$$\tau_{ук} = \tau_{p.ук} + \tau_y. \quad (37)$$

Интерактивные и почтовые блоки сообщений поступают в УК вперемешку. При этом в него попадают как исходящие от ЭВМ ЦДП, так и предназначенные для нее блоки. Поэтому при рассмотрении времени ожидания очереди на передачу сообщения УК – $t_{оц}$ необходимо учитывать полную загрузку сети:

$$R = R_{исх} + R_{ex}. \quad (38)$$

Учитывая, что $\tau_{ук}$ является величиной постоянной, для определения значения времени $t_{оц}$ следует воспользоваться соотношением:

$$t_{оц} = \frac{R \cdot \tau_{ук}}{2(1 - R)}. \quad (39)$$

Ввиду малой нагрузки эта величина получилась весьма незначительной, однако, при возрастании суммарной нагрузки в 2 раза значение $t_{оц}$ увеличивается, а при дальнейшем повышении нагрузки центры коммутации могут оказаться "узким местом" сети.

Значение эквивалентного времени ожидания в очередях центров коммутации определяется соотношением:

$$t_{оц} = t_{оц} \cdot \sum_{i=1}^M P_i \cdot K_i, \quad (40)$$

аналогично тому, как это делалось при определении эквивалентной задержки в центре коммутации.

Если принять, например, что для рассматриваемой сети каждый блок проходит один раз через 3,5 узла коммутации, то

$$t_{оц} = t_{оц} \cdot \sum_{i=1}^M P_i \cdot K_i = 3,5 \cdot t_{оц} \quad (41)$$

Указанная задержка и должна учитываться при определении времени ответа для интерактивных и почтовых сообщений.

5.3 Время задержки доставки ответа для интерактивных сообщений

Под временем задержки доставки ответа понимается промежуток времени, с момента нажатия отправителем кнопки "Передача" до момента появления у получателя первого символа ответного сообщения или первого звука в его телефонной трубке.

Время цикла опроса является одной из наиболее существенных составляющих времени задержки доставки ответа. С момента нажатия абонентом кнопки "Передача" на терминале должно пройти в среднем половина времени опроса, пока до станции, осуществляющей передачу, дойдет очередность опроса.

Время задержки интерактивного блока сообщений в местном звене имеет несколько составляющих:

$$\tau_{зд\ мз\ инт} = \tau_{зк} + \tau_{рк} + \tau_{мл\ инт} + \tau_{з\ нс}, \quad (42)$$

- время реакции сервера ПУ (СПУ) $\tau_{рк} = 1$ мс;
- время передачи сообщения в местной линии:

$$\tau_{мл.инт} = \frac{v_{инт} \cdot 8\text{бит}}{B_M}; \quad (43)$$

- время задержки в очереди сервера СПУ: $\tau_{зк} = 6$ мс;
- время задержки из-за трафика исходящих от ЭВМ почтовых сообщений:

$$\tau_{зnc} \cdot$$

Эта задержка происходит, если концентратор работает в полудуплексном режиме и не может направить сообщение в сторону ЭВМ до тех пор, пока он не завершит прием исходящего от нее почтового блока. Если такой блок уже передается, то время задержки составит половину времени его передачи $\tau_{nc}/2$. Вероятность того, что этот блок передается, в точности равна коэффициенту загрузки канала исходящими почтовыми сообщениями $\rho_{исх\ нс}$.

Следовательно, общее время задержки, обусловленное трафиком исходящих от ЭВМ ЦДП почтовых сообщений:

$$\tau_{зnc} = \frac{\tau_{nc}}{2} \cdot \rho_{исх.нс} \quad (44)$$

Далее, направленный ЭВМ интерактивный блок передается по линии основного звена, на что затрачивается время $\tau_{инт}$.

При передаче по основному звену $\tau_{исх\ nc}$ необходимо учитывать задержку модема $\tau_{зм}=5\text{мс}$, задержку эквивалентных звеньев сети $\tau_{с\ вх}$ и $\tau_{с\ исх}$, реакцию на вводе в ЭВМ $\tau_{рз}=1\text{мс}$, интерактивный блок, поступивший в ЭВМ обрабатывается в ней в течение времени $\tau_{а\ инт}$, а затем направляется получателю. При выходе из ЭВМ, направляемый к получателю интерактивный блок может быть задержан уже передающимся почтовым блоком. Эта задержка в точности равна ранее рассмотренной задержке $\tau_{зис}$. Ниже, для примера приведены все составляющие, образующие время задержки доставки ответа для интерактивных сообщений на пути от абонента-отправителя, через ЭВМ, к абоненту-получателю.

5.4 Время доставки почтовых сообщений

Если в течение цикла опроса T_u почтовые и интерактивные абоненты опрашиваются по одному разу, то задержка начала передачи, вызванная временем цикла опроса для интерактивных и почтовых сообщений, будут одинаковыми. Время задержки почтового блока в местном звене имеет те же составляющие, что и для интерактивного, однако, время передачи блока в местной линии будет другим:

$$\tau_{мл\ nc} = \frac{v_{nc} \cdot 8\text{бит}}{B_M}. \quad (45)$$

Исходящие от ЭВМ почтовые блоки сообщений имеют по отношению к исходящим интерактивным блокам более низкий приоритет, поэтому очередь исходящих почтовых блоков, ожидающих передачу из центральной ЭВМ, окажется больше. Начало передачи блока почтового сообщения, после его выборки из очереди задерживается передаваемым в это время интерактивным блоком. Время задержки из-за трафика исходящих от ЭВМ интерактивных блоков $\tau_{з\ инт}$. Проведя рассуждения, аналогичные тем, которые делались при рассмотрении задержки интерактивных сообщений, получим соотношение:

$$\tau_{з\ инт} = \frac{\tau_{инт}}{2} \cdot \rho_{исх\ инт}. \quad (46)$$

Таким образом, время задержки почтового блока в местном звене примет вид:

$$\tau_{зд\ мз\ nc} = \tau_{зк} + \tau_{рк} + \tau_{мл\ nc} + \tau_{з\ инт}. \quad (42)$$

Далее, направленный от ЭВМ почтовый блок проходит по линии основного звена, на что затрачивается τ_{nc} . Далее, необходимо учитывать те же составляющие задержек, что и для интерактивных сообщений на ЭВМ $\tau_{а\ nc}=50\text{мс}$, время ожидания в очереди $t_{о\ nc}$, время на передачу почтовых и интерактивных блоков различны, а на приеме задержка печати принтером $\tau_n=200\text{мс}$. Ниже, в таблице приведены все составляющие, образующие время задержки доставки

почтового сообщения на пути от абонента-отправителя, через ЭВМ, к абоненту-получателю.

Таблица 6 – Время ответа для интерактивных сообщений

Составляющая времени ответа	Обозначение	Время, мс
Средняя задержка опроса	$T_{ц}/2$	
Время реакции ЭВМ при вводе – выводе	$\tau_{рэ}$	
Время передачи сообщения в местной линии	$\tau_{мл\ int}$	
Время задержки в концентраторе	$\tau_{зк}$	
Задержка модемов в местном звене	$\tau_{зм}$	
Суммарное круговое время задержки в линиях и коммутаторах сети	τ_c	
Задержка в очередях центров коммутации (эквивалентная)	$t_{оэц}$	
Задержка анализа на ЭВМ интерактивных и почтовых сообщений	$\tau_{a\ int}$	
Задержка, вызываемая трафиком исходящих от ЭВМ почтовых сообщений	$\tau_{з\ пс}$	
Время ожидания в очереди на передачу для интерактивных сообщений	$t_{o\ int}$	
Время ожидания в очереди на передачу для почт. сообщений	$t_{o\ пс}$	
Время передачи первого исходящего интерактивного блока по основному звену	τ_{int}	
Итого, время ответа для интерактивных сообщений	$T_{отв\ int}$	

Таблица 7 – Время ответа для почтовых сообщений

Составляющая времени ответа	Обозначение	Время, мс
Средняя задержка опроса	$T_{ц}/2$	
Время реакции ЭВМ при вводе – выводе	$\tau_{рэ}$	
Время задержки в концентраторе	$\tau_{зк}$	
Время передачи сообщения в местной линии	$\tau_{мл\ пс}$	
Время задержки почтового блока сообщения в местном звене	$\tau_{зд\ мз\ пс}$	

Время задержки из-за трафика исходящих от ЭВМ почтовых сообщений	$\tau_{з\text{nc}}$	
Время входящей передачи по основному звену	$\tau_{вх\text{nc}}$	
Время задержки модемов	$\tau_{зм}$	
Суммарное круговое время задержки в линиях и коммутаторах сети	τ_c	
Задержка в очередях центров коммутации (эквивалентная)	$t_{оэц}$	
Задержка анализа на ЭВМ почтовых сообщений	$\tau_{а\text{nc}}$	
Время ожидания в очереди на передачу в основное звено	$t_{о\text{nc}}$	
Время передачи первого исходящего почтового блока по основному звену	τ_{nc}	
Задержка начала печати принтера	τ_n	
Итого, время ответа для почтовых сообщений	$T_{отв\text{nc}}$	