УДК 681.518

Составители О.Д. Глод, А.В. Пушнин

Руководство к лабораторной работе «Исследование функционирования вторичной сети связи» по курсу «Цифровые сети интегрального обслуживания».- Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001 . 30 с.

В руководстве рассматривается способ определения кратчайшего пути передачи сообщения в сети связи. Решается задача выбора наилучшего пути для передачи сообщения.

Табл 12. Ил. 6. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент Л.А. Гинис, канд. пед. наук, доцент кафедры ПИ ТРТУ.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение способа оптимизации функционирования вторичных сетей на основе поиска кратчайших путей по времени доставки сообщений. Предлагается изучение метода, позволяющего определить число кратчайших путей, а также время передачи сообщения по сети от узла отправителя к узлу получателю.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Задача поиска k кратчайших путей.

Связность узлов коммутации в сети задается матрицей связности $G=\|g_{ij}\|$, $i,j=\overline{1,n}$, где n – число узлов в сети, $g_{ij}=1$,если i-й узел сети имеет каналы связи с j-м узлом сети, $g_{ij}=0$, если i-й узел сети не имеет связи с j-м узлом. Связность узлов характеризуется также числом каналов между узлами коммутации и пропускной способностью каналов.

Описание сети связи задается матрицей $R=\|r_{ij}\|$, $i,j=\overline{1,n}$, где r_{ij} – скорость модуляции в канале связи, который соединяет i-й и j-й узлы сети.

Однако между узлами может существовать не один канал связи, а пучок из m каналов. Некоторые узлы могут быть не связаны друг с другом. Поэтому если между i-м и j-м узлами сети существует пучок из m каналов, то элемент r_{ij} следует умножить на величину m. Если же нет каналов связи между i-м и j-м узлами сети, то элемент $r_{ij}=0$. При условии, что канал связи является полудуплексным, следует величину r_{ij} уменьшить вдвое.

Число каналов связи между i-м и j-м узлами сети задано матрицей $M=\|m_{ij}\|$, $i,j=\overline{1,n}$.

Заметим, что структура сети не является постоянной во времени из-за возможностей отказов линейного оборудования, выхода из строя оборудования узла, а также возможности наращивания сети. Следовательно, для отображения подобных изменений сети следует ввести модель отказов сети.

Модель отказов сети зададим в виде двух матриц:

- матрицы $P_K=\| P_{ij}^{K} \|$, $i,j=\overline{1,n}$, где P_{ij}^{K} - вероятность выхода из строя каналов связи между i-м и j-м узлами сети;

- матрицы $P_У=\| P_i^{У} \|$, $i=\overline{1,n}$, где $P_i^{У}$ - вероятность отказа i-го узла.

Дополнение сети новыми каналами связи и узлами вызовет необходимость проведения расчетов по алгоритму поиска k кратчайших путей.

Нагрузку на каналы связи и узлы сети опишем в виде двух матриц:

- матрицы интенсивности адресных связей $\Lambda=\|\alpha_{ij}(t)\|$, $i,j=\overline{1,n}$, где $\alpha_{ij}(t)$ – интенсивность адресации сообщений от i-го узла к j-му узлу сети;

- матрицы $B=\|b_{ij}(t)\|$, $i,j=\overline{1,n}$, где $b_{ij}(t)$ – средняя длительность сообщений, адресуемых от i-го узла к j-му узлу сети.

Введение ограничений на время доставки сообщений определим матрицей $W_Д=\| w_{ij}^{Д} \|$, $i,j=\overline{1,n}$, где $w_{ij}^{Д}$ - предельно допустимое время доставки сообщений от i-го узла к j-му узлу сети.

Алгоритм поиска **k** кратчайших путей можно построить известными способами [1, 2], если предположить, что время задержки сообщений в каждом узле сети суть величина строго определенная и неизменная.

2.2. Выбор k кратчайших путей.

Основным критерием выбора k кратчайших путей для доставки сообщений, адресованного от i-го к j-му узлу сети, является время его доставки, при условии, что его величина будет меньше либо равна величине предельно допустимого времени $w_{ij}^{Д}$.

Формально данное условие запишем в следующем виде:

$$\forall i,j \in N,\ i \neq j,\ I(w_{ij}) \leq w_{ij}^{Д}, \qquad (1)$$

где **N** – число узлов сети, $I(w_{ij})$ – функционал, зависящий от параметров сети – коэффициентов матриц **R, G, M, P_K, $P_У$, Λ, B.**

Задача поиска **k** оптимальных путей на сети связи сводится к поиску k первых наименьших значений функционала $I(w_{ij})$. Причем значения функционала для всех пар **(i,j)** должно соответствовать условию равновесия по Парето [3], т.е. всякое уменьшение численного значения функционала $I(w_{ij})$ пары **(i,j)** (улучшение критерия) вызовет

увеличение численных значений функционалов $I(w_{pk})$ других пар **(pk)** узлов сети (ухудшение других критериев).

Рассмотрим особенности формирования маршрутов передачи сообщений от i-го к j-му узлу сети.

Для каждого i-го узла следует сформировать таблицу соединений (табл. 1).

Таблица соединений содержит **n-1** блоков для каждой **(i,j)**-й адресации. В каждом блоке имеется **k** строк, в которых записан маршрут, причем в первой строке будет записан маршрут с наименьшим временем доставки, а в k-й строке – с наибольшим временем доставки.

Таблица 1

Таблица соединений i-го узла сети

Адрес	№ маршрута	Промежуточные узлы сети							Время доставки сообщения
		1	2	3	4	…	N-1	N	
i,1	1					…			
	2					…			
	…	…	…	…	…	…	…	…	
	K					…			
i,2	1					…			
	2					…			
	…	…	…	…	…	…	…	…	
	K					…			
…	…	…	…	…	…	…	…	…	
i,n	1					…			
	2					…			
	…	…	…	…	…	…			
	K					…			

В таблице соединений маршрут маркируется последовательностью узлов, которые являются транзитными при адресации сообщения от i-го узла к j-му узлу сети.

Пример маршрута приведен в табл.2, являющейся фрагментом табл.1.

Таблица 2

Пример задания маршрута

Адрес	№ маршрута	Промежуточные узлы сети										Время доставки сообщения
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,5	1	N	1	-	2	E	3	-	-	-	-	0,8

В табл.2 символом **N** обозначен узел-исток сообщения, а символом **E** – узел назначения сообщения. Порядок прохождения узлов в маршруте обозначен цифрами, т.е. от первого узла сообщение передается второму, от второго узла – четвертому, от четвертого узда сообщение передается к шестому узлу, а от шестого узла сети сообщением передается пятому узлу назначения сообщения.

Начальная эвристическая процедура алгоритма поиска **k** кратчайших путей состоит в анализе всех существующих путей передачи сообщений из i-го узла в j-й узел сети. Суть анализа состоит в следующем.

Составляются все возможные маршруты на сети (не содержащие петель) и для них определяется время доставки по маршруту исходя из данных матрицы скоростей модуляции **R**, матрицы вероятностей выхода из строя каналов связи $\mathbf{P_K}$, матрицы вероятностей отказов узлов $\mathbf{P_У}$.

Результаты анализа сводятся в табл.3.

Максимальное число маршрутов адресации **(i,j)** для полносвязной сети из n узлов определится величиной **(n-2)!**.

Таблица 3

Данные анализа маршрутов без учета времени задержки

Адресация (i,j)								
Номер маршрута	№ транзитных узлов							Фактор времени
1								
2								
3								
…								
(n-2)!								

Графа "Номера транзитных узлов" табл.3 содержит **n-1** столбцов, в которые записываются последовательно номера транзитных узлов на маршруте от i-го узла сети к j-му узлу сети. Например, если

полносвязная сеть будет состоять из пяти узлов, то перечень маршрутов от первого узла к пятому узлу следующий:

1) 2, 3, 4 3) 3, 4, 2
5) 4, 2, 3
2) 3, 2, 4 4) 2, 4, 3
6) 4, 3, 2

При известной средней величине длительности сообщения $\mathbf{b_{ij}}$, адресуемого от i-го узла сети к j-му узлу (заданного в битах), среднее время передачи в канале, соединяющем l-й и m-й узел, определится произведением $\mathbf{b_{ij}r_{lm}}$.

Учитывать факторы отказов можно следующим образом.

При отказе канала связи на его восстановление требуется время $\mathbf{t_в^к}$, которое является величиной случайной.

Функцию распределения случайной величины $\mathbf{t_в^к}$ всегда можно определить эмпирическим путем, исходя из времени на ремонт и обслуживания действующих каналов. Следовательно, среднее значение времени восстановления канала $\mathbf{\bar{t}_в^к}$ после идентификации считается заданным.

Аналогичные рассуждения справедливы и для стохастического описания случайной величины $\mathbf{t_в^у}$ времени восстановления узла после его отказа, а также задания среднего значения $\mathbf{\bar{t}_в^у}$ времени восстановления узла.

Тогда среднее время передачи сообщений адресации **(i,j)** в канале, соединяющем l–й узел и m–й узел, определится формулой

$$\mathbf{\bar{t}_{lm}^{ij} = b_{ij} r_{lm} + P_{lm}^{k}\, \bar{t}_в^к + P_m^у\, \bar{t}_в^у}\,. \qquad (2)$$

Как видно из этой формулы, происходит учет факторов отказов во времени доставки сообщений.

В формуле (2) используется вероятность отказа принимающего сообщение узла. Это обосновывается тем, что сообщение, записанное в памяти аппаратуры передачи данных (АПД), не будет передано, если либо канал вышел из строя, либо принимающий узел является неработоспособным, т.е. не сможет коммутировать сообщение на другие каналы.

Приняв формулу (2), как допустимую эвристику для оценки времени передачи сообщений на участке конкретного маршрута, можно произвести расчеты времени передачи по всему маршруту. Данные расчетов следует свести в графу «Фактор времени» табл.3.

Требования условия (1) позволяют исключить из табл.3 те маршруты, которые ему не удовлетворяют.

Передачу сообщений в сети следует рассматривать как случайный процесс, поэтому на каждом узле возможна задержка сообщений. Заметим, что задержка сообщений в узле будет складываться из времени обработки сообщения и принятия решения, а также времени ожидания $t_{ож}$, вызванном занятостью каналов связи.

Время обработки сообщения и принятия решения t_0 определится техническими характеристиками узла и считается заданным.

Для определения времени задержки сообщений $t_{ож}$ необходимо построить эвристическую модель функционирования сети.

2.3. Определение времени передачи сообщений по маршруту.

Узел сети можно рассматривать как систему массового обслуживания (СМО), на вход которой подается входной поток заявок (сообщений). Время обслуживания сообщений является либо постоянной величиной (при постоянной длине сообщений), либо случайной величиной (при случайной длине сообщений). Время обслуживания также зависит от скорости модуляции в канале связи.

Структура СМО, адекватно определяющая функционирование узла, показана на рис.1. При этом сделано предположение, что принята структура узла, приведенная на рис.2.

Узел коммутации содержит приемную часть аппаратуры передачи данных **АПД$_{пр}$** на входах из каналов связи.

Сообщение, поступая в **АПД**, анализируется устройством управления, которое дает команду блоку коммутации на выбор исходящего направления передачи.

Сообщение из **АПД$_{пр}$** через блок коммутации поступает в буферный накопитель (**БН**) передающей части **АПД$_{пер}$**.

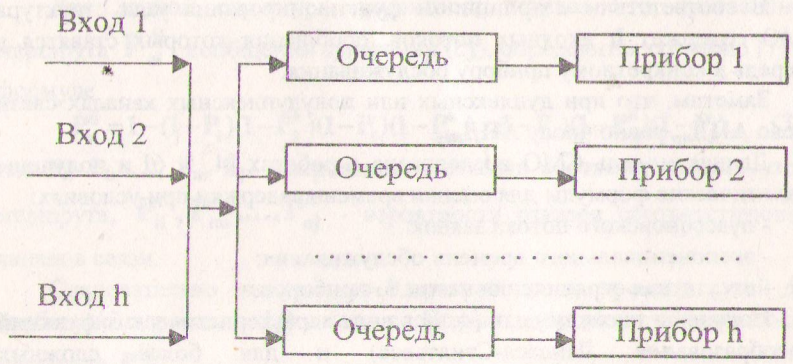


Рис.1

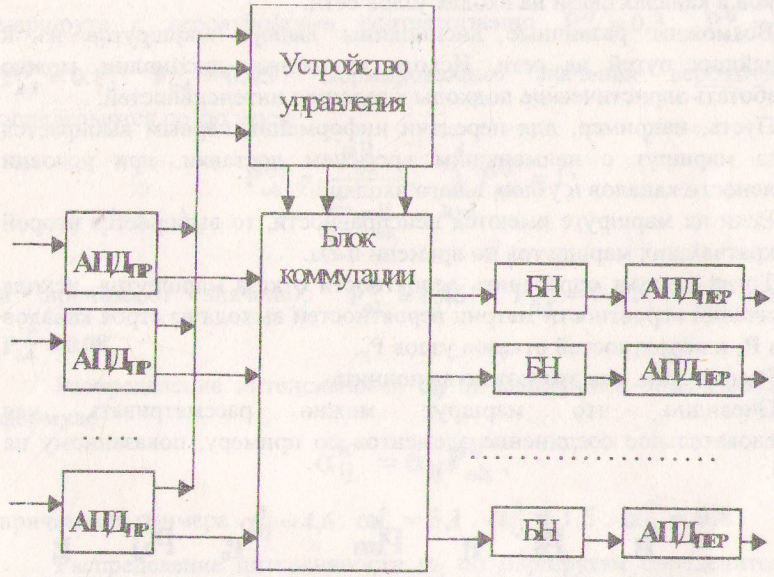


Рис.2

Из **АПД$_{пер}$** сообщение передается далее по маршруту к другим узлам сети.

В соответствии с принципом функционирования узла структура СМО содержит **h** входных потоков, сообщения которых ставятся в очередь к конкретному прибору обслуживания.

Заметим, что при дуплексных или полудуплексных каналах связи число **АПД**$_{пр}$ равно числу **АПД**$_{пер}$.

Данная модель СМО исследована в работах [4, 5, 6] и получены аналитические формулы для оценки времени задержки при условиях:

- пуассоновского потока заявок:
- экспоненциального времени обслуживания;
- отсутствия ограничения на число приборов.

Получены также модели [4, 5] в виде характеристических функций (преобразования Лапласа-Стилтьеса) и для более сложных ограничений.

Для того, чтобы оценить время задержки в соответствии с известными формулами, следует задать величины интенсивностей входных потоков.

Рассмотрим эвристические подходы задания интенсивностей потоков в каналах связи на входах узлов сети.

Возможны различные дисциплины выбора маршрутов из **k** кратчайших путей на сети. Исходя из данных дисциплин, можно разработать эвристические подходы к заданию интенсивностей.

Пусть, например, для передачи информации первым выбирается всегда маршрут с наименьшим временем доставки, при условии исправности каналов и узлов, в него входящих.

Если на маршруте имеются неисправности, то выбирается второй из **k** кратчайших маршрутов по времени и т.д.

Тогда следует определить вероятности отказа маршрутов, исходя из значений вероятности матриц вероятностей выхода из строя каналов связи $P_к$ и вероятностей отказов узлов $P_у$.

Рассмотрим, как это можно выполнить.

Очевидно, что маршрут можно рассматривать как последовательное соединение элементов по примеру, показанному на рис.3.

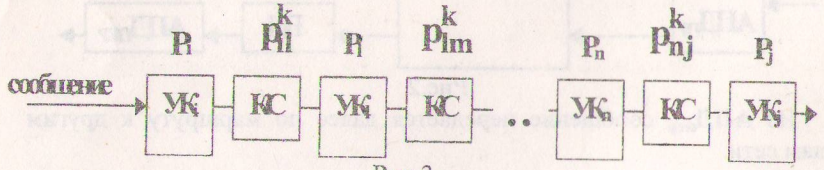


Рис.3.

Для данной структуры вероятность отказа 1-го кратчайшего маршрута P_{o1}^{ij}, сообщений адресации (i,j), определится согласно [7] по формуле

$$P_{o1}^{ij} = 1-(1-P_i)(1-P_{il}^k)(1-P_l)(1-P_{lm}^k)...(1-P_n)(1-P_{nj}^k)(1-P_j), \quad (3)$$

где P_i, P_l, ..., P_n, P_j, - вероятности отказов соответствующих узлов маршрута, $P_{il}^k, P_{lm}^k, ..., P_{nj}^k$ - вероятности отказов соответствующих каналов связи.

Следовательно, каждому из **k** кратчайших по времени путей для сообщений адресации (i,j) можно сопоставить вероятность отказа k-ого маршрута P_{ok}^{ij}.

Если выполнить нормирование значений вероятностей P_{ok}^{ij} для всех **k**, то интенсивность α_{ij} можно распределить между маршрутами пропорционально значениям нормированных вероятностей.

Рассмотрим пример. Пусть для α_{ij} =10 сообщений/сек существует 4 маршрута с вероятностями соответственно $P_{o1}^{ij} = 0.3$; $P_{o2}^{ij} = 0.2$; $P_{o3}^{ij} = 0.1$; $P_{o4}^{ij} = 0.05$. Нормированные значения вероятностей определяются по формуле

$$P_{ok}^{ij*} = \frac{P_{ok}^{ij}}{\sum_{k=1}^{4} P_{ok}^{ij}}, \quad \sum_{k=1}^{4} P_{ok}^{ij*} = 1,$$

и принимают значения: $P_{o1}^{ij*} = 0.46$; $P_{o2}^{ij*} = 0.31$; $P_{o3}^{ij*} = 0.15$; $P_{o4}^{ij*} = 0.08$.

Распределение интенсивности α_{ij} по маршрутам определится по формуле

$$\alpha_{ij}^{k*} = \alpha_{ij} P_{ok}^{ij*},$$

причем для примера $\alpha_{ij}^1 = 4{,}6$; $\alpha_{ij}^2 = 3{,}1$; $\alpha_{ij}^3 = 1{,}5$; $\alpha_{ij}^4 = 0{,}8$.

Распределение интенсивности α_{ij} по маршрутам определится по формуле

$$\alpha_{ij}^{k*} = \alpha_{ij} P_{ok}^{ij*}. \quad (4)$$

Оценки должны осуществляться в единый момент времени. Если учитывать число транзитных узлов k-го маршрута, приведенное в табл. 3, а также узел отправки и узел прибытия сообщения, то величины α_{ij}^{k*} следует разнести по данным узлам маршрута с учетом скоростей модуляции в каналах связи и числом каналов в пучках, связывающих соседние узлы сети.

Для решения данной задачи предлагается следующий эвристический подход.

Исходя из скорости модуляции r_{kp} между k-м и p-м узлами сети, определяется время передачи одного бита информации, как величина $1/r_{kp}$.

Исходя из средней длины b_{ij} сообщения, адресованного от i-го узла к j-му узлу сети, времени передачи одного бита $1/r_{kp}$ и числа каналов m_{kp}, определяется среднее время передачи в канале

$$\bar{t}_{pk}^{ij} = b_{ij} / r_{kp} m_{kp},$$

соединяющем k-й и p-й узлы сети.

Делая предположение о пуассоновском распределении потоков на сети и экспоненциальном распределении времени обслуживания, определяются величины среднего времени ожидания в узлах сети и среднее число сообщений в очереди.

Среднее время ожидания в k-м узле определится по формуле

$$\bar{w}_k^{ij} = \frac{\rho \bar{t}_{pk}^{ij}}{1-\rho}, \qquad \rho = \alpha_{ij}^{(l)k} \bar{t}_{pk}^{ij}, \qquad (5)$$

где $\alpha_{ij}^{(l)k}$ - интенсивность сообщений, поступающих на k-й узел сети, при их адресации (i,j) и принадлежности l-му из k кратчайших по времени маршрутов.

Среднее число сообщений в очереди на k-ом узле определится по формуле

$$\bar{n}_{ok}^{ij} = \frac{\rho^2}{1-\rho}, \qquad \rho = \alpha_{ij}^{(l)k} \bar{t}_{pk}^{ij}, \qquad (6)$$

Из эвристических соображений сделаем предположение, что интенсивность для последующего p-го узла сети следует уменьшить на величину $\bar{n}_{ok}^{ij}$.

2.4. Алгоритм работы имитационной модели.

Проверка эффективности работы подобного алгоритма возможна только с применением имитационной модели сети.

Имитационное моделирование позволяет воспроизвести программным путем все особенности генерации сообщений, выбора направлений коммутации в узлах сети и передачи сообщений по каналам связи.

Цель имитационного моделирования функционирования сети связи состоит в проведении испытаний, результатом которых будет набор статистических данных о времени доставки сообщений.

Результаты имитационного моделирования в сравнении с данными аналитических расчетов, сделанных согласно эвристическим рекомендациям, позволят сделать вывод о достоверности эвристических процедур.

Исследование функционирования сети с помощью имитационной модели предназначено, как сказано выше, для оценки достоверности предложенных итерационных процедур поиска **k** кратчайших по времени путей.

Исходными данными для построения имитационной модели являются:

- структура узлов сети и соединений между ними, которая задается матрицами **G, M, R**;
- данные надежности узлов сети и каналов связи, которые заданы матрицами $P_У$ и $P_К$;
- характеристики потоков сообщений в сети, формально задаваемые матрицами **Λ, B**, и **W**.

На рис.4 приведена структура имитационной модели сети.

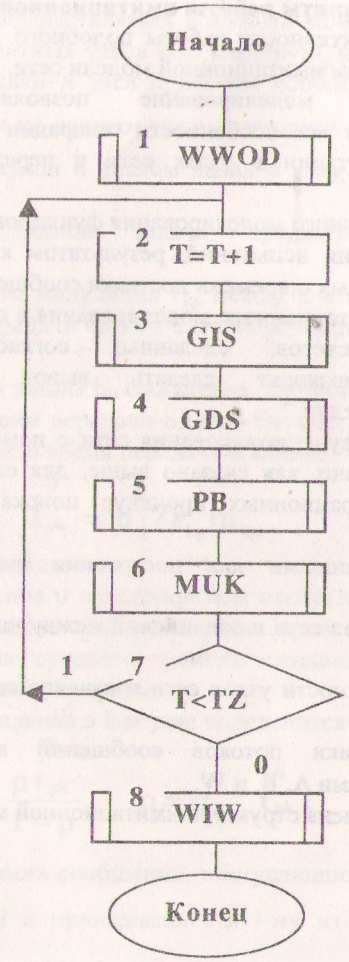


Рис.4

При моделировании применяется **Δt** – способ, который позволяет осуществлять просмотр изменений во всех узлах за время **Δt**.

Если сообщение передается блоками, то величина **Δt** будет рассматриваться как время передачи одного блока сообщения (такт моделирования **T** на рис.4).

Имитационная модель сети содержит следующие основные подпрограммы:

- подпрограммы ввода-вывода данных **WWOD, WIW** (начальная подготовка к моделированию и интерфейс пользователя);
- подпрограмму генерации интервалов времени между сообщениями **GIS**;
- подпрограмму генерации длительности сообщений **GDS**;
- подпрограмму постановки в очередь на передачу сообщений **PB**;
- подпрограмму моделирования функционирования узлов сети **MUK**, которая в свою очередь состоит из совокупности подпрограмм.

В подпрограмме **MUK** решаются следующие задачи:

- организация циклов просмотра всех узлов сети;
- имитация работоспособности узлов сети;
- организация циклов просмотра в узлах сети буферных накопителей всех исходящих направлений коммутации;
- имитация работоспособности каналов связи;
- имитация передачи сообщений по каналу связи к последующему узлу сети.

3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучить теоретические положения, изложенные выше в разделе 2, а также в рекомендуемой литературе.
2. Ознакомиться с вариантом домашнего задания (таблицы 10-12)
3. Рассчитать для данной структуры вероятность отказа l-го кратчайшего маршрута P_{ol}^{ij}, сообщений адресации **(i,j)**, определяемую по формуле (3).
4. Заполнить таблицу 4. Первый столбец таблицы 4 содержит номера маршрутов, второй - наименования каналов, составляющих соответствующий маршрут. Рассчитать для каждого i –го маршрута среднее время передач по каждому каналу связи и заполнить таблицу 4, начиная с третьего столбца.
5. Заполнить таблицы 5, 6 и 7. Первые столбцы таблиц содержат номера маршрутов, вторые - наименования узлов сети, составляющих соответствующий маршрут. В табл.5 приведены расчеты среднего числа сообщений в очереди к соответствующим узлам сети при передаче сообщений адресации **(i,j)** по выбранным маршрутам. В табл.6 приведены расчеты интенсивностей потоков сообщений адресации **(i,j)** к соответствующим узлам сети по выбранным

маршрутам. В табл.7 приведены расчеты значений средних величин времени задержки сообщений в соответствующих узлах сети при передаче сообщений адресации **(i,j)** по выбранным маршрутам.

Таблица 4

Средние значения времени передач

№ марш-рута	Результаты расчета					
1	Канал связи					
	Среднее время передачи					
2	Канал связи					
	Среднее время передачи					
…	Канал связи					
	Среднее время передачи					
N	Канал связи					
	Среднее время передачи					

Таблица 5

Средние число сообщений в очереди

№ марш-рута	Результаты расчета					
1	Узел сети					
	Средняя величина очереди					
2	Узел сети					
	Средняя величина очереди					
…	Узел сети					
	Средняя величина очереди					
N	Узел сети					
	Средняя величина очереди					

Таблица 6

Интенсивность потоков адресации (i,j) к узлам сети

№ марш-рута	Результаты расчета					
1	Узел сети					
	Интенсив-ность					
…	Узел сети					
	Интенсив-ность					
N	Узел сети					
	Интенсив-ность					

Порядок заполнения таблиц следующий.

5.1. По формуле (4) рассчитать значения третьего столбца табл.6 интенсивности потоков адресации (i, j) к узлам сети.

5.2. Согласно формуле (5) рассчитать значения третьего столбца табл.7.

5.3. Время задержки сообщения на соответствующем узле сети находится как сумма строк соответствующего столбца табл.7.

5.4. Заполнить третий столбец табл.5 среднего числа сообщений в очереди по формуле (6).

5.5. Интенсивность для последующего узла сети уменьшим на величину среднего числа сообщений в очереди к предыдущему узлу, т.е. на величину $\bar{n}^{ij}_{ok}$ Значение интенсивности занесем в следующий столбец табл.6.

5.6. По формуле (5) рассчитываем следующий столбец табл. 7.

5.7. По формуле (6) рассчитываем следующий столбец табл. 5.

Повторять шаги 5.5 – 5.7 до тех пор, пока не заполнятся все столбцы табл. 5- 7.

6. Заполнить табл.8 времени задержки сообщения $\bar{w}^{ij}_{(l)}$, $l = \overline{1,k}$ по маршрутам, где среднее время задержки вычисляется как сумма по строкам табл.7.

7. Найденные значения $\bar{w}^{ij}_{(l)}$, $l = \overline{1,k}$ добавляются как слагаемые к суммарному времени передачи по каналам связи по всем маршрутам (см. табл.4). Результаты времени доставки сообщений свести в табл.9.

Найденные значений времени доставки сообщений по каждому из **k** кратчайших путей добавляются в последнюю графу таблицы соединений (см. табл. 1). По значениям времени доставки сообщений могут быть заданы приоритеты выбора маршрутов.

Таблица 7

Средние величины времени задержки в узлах сети

Номер марш-рута	Результаты расчета					
1	Узел сети					
	Время задержки					
2	Узел сети					
	Время задержки					
…	Узел сети					
	Время задержки					
N	Узел сети					
	Время задержки					

Таблица 8

Значения времени задержки по маршрутам

Номера маршрутов	1	2	…	N
Среднее время задержки (сек)				

Таблица 9

Значения времени доставки сообщений по маршрутам

Номера маршрутов	1	2	…	N
Среднее время задержки (сек)				

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Запуск программ осуществляется запуском файла net.exe.

После запуска программы необходимо загрузить уже существующую топологию сети.

Далее на закладке «Основные» ввести следующие данные согласно варианту задания (показанные на рис.5):

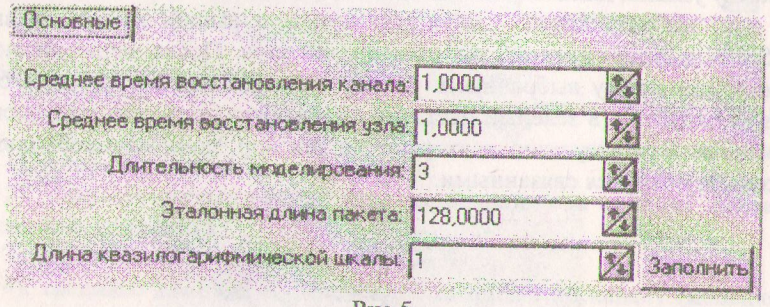


Рис.5

а) ввести время восстановления канала (рекомендуется меньше, чем минимальное предельно допустимое время доставки);

б) среднее время восстановления узла (рекомендуется меньше, чем минимальное предельно допустимое время доставки);

в) рекомендуемое значение длительности моделирования от 1000 до 10000 тактов;

г) ввести эталонную длину передаваемого пакета. (рекомендуется больше, чем максимальная средняя длина пакета);

д) ввести длину нелинейной шкалы (рекомендуемое значение не более максимально ожидаемого времени доставки), после чего, нажав кнопку «Заполнить» и «Применить», ввести поочередно точки на логарифмической шкале (рекомендуется вносить значения, не более максимально ожидаемого времени доставки).

На панели слева нажатием левой кнопки мышки расставить расположение узлов. Узлы отмечаются кругами белого цвета, активный узел отмечается красным цветом.

После ввода необходимого числа узлов следует ввести их параметры. Параметры узлов и каналов вводятся согласно варианту задания. Для изменения параметров узлов нужно:

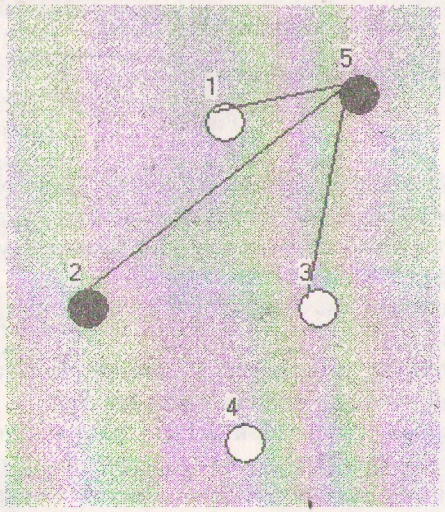
а) выбрать необходимый узел, нажав на круге с необходимым номером левую кнопку мыши, после чего узел окрасится в красный цвет.

б) на закладке «Узел №...» ввести:

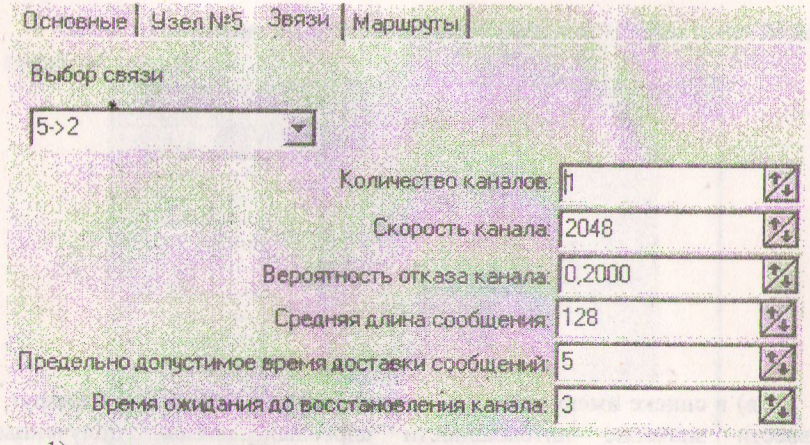
1. Вероятность отказа узла (должна быть меньше 1);
2. Время восстановления узла после отказа (рекомендуется меньше, чем минимальное предельно допустимое время доставки).

После изменения параметров узлов необходимо навести связи между узлами, для этого необходимо:

а) выбрать какой - либо узел (описано выше), нажать клавишу «Shift» и, удерживая ее, выбрать второй узел. После вышеописанной операции между выбранными узлами появится зеленая линия, а сами узлы окрасятся в зеленый цвет, что будет обозначать, что данная связь активна. Эту операцию повторяют до тех пор, пока все необходимые узлы не окажутся связанными.



б) на закладке «Связи» выбрать необходимую связь и изменить ее параметры, введя:



1). количество каналов между узлами;

2). скорость канала между узлами (больше чем средняя длина передаваемого пакета);

3). вероятность отказа канала (меньше 1);

4). среднюю длину сообщения, передаваемого по каналу (меньше чем скорость канала);

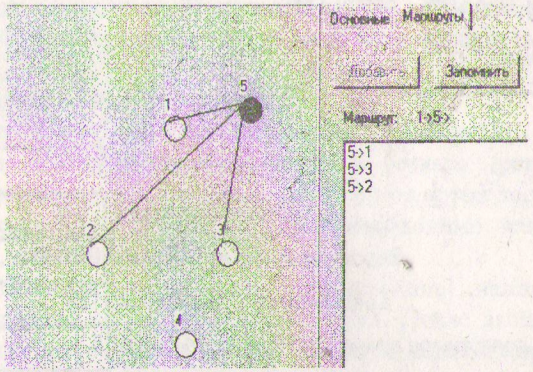
5). предельное допустимое значение времени доставки сообщений по данному каналу;

6). время ожидания до восстановления канала после отказа;

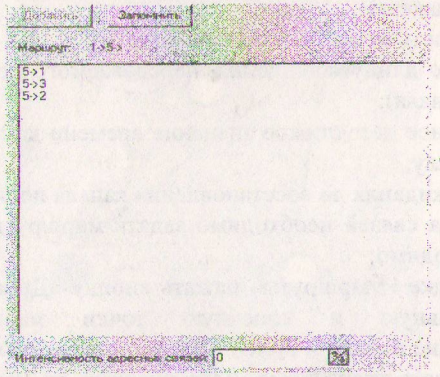
После ввода связей необходимо задать маршруты между узлами, для этого необходимо:

а) на закладке «Маршруты» нажать кнопку «Добавить» и выбрать сначала начальную и конечную точки маршрутов (круги, символизирующие начало и конец маршрута окрасятся в желтый цвет), после чего выбрать транзитные узлы, нажимая на необходимых узлах левой кнопкой мыши, тем самым окрашивая их в синий цвет;

б) по окончании выбора промежуточных узлов нажать кнопку «Запомнить»;



в) в списке имеющихся маршрутов выбрать введенный маршрут и ввести значение интенсивности адресных связей, полученные аналитическим путем в результате выполнения домашнего задания;



г) продолжить эти описанные операции, пока все необходимые маршруты не будут введены;

б) сохранить введенную топологию, нажав кнопку «Сохранить» и выбрав путь, где будет храниться топология.

Для загрузки введенной ранее топологии необходимо:

1) нажать кнопку «Загрузить»;

2) выбрать путь, где хранится топология;

3) нажать кнопку «Открыть».

Для проведения моделирования необходимо:

1) загрузить топологию или ввести новую;

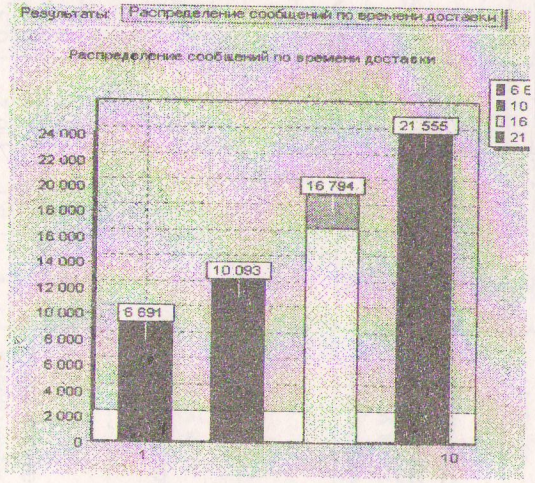
2) нажать кнопку «Моделирование».

После проведения моделирования на закладке «Результаты» будет видна таблица результатов.

Основные | Узел | Связи | Маршруты | Результаты | Распределени

№ Маршрута:	Вр.Дост.	Кол.поступ.	Кол.пер.соо
1->5->4->2	4,8947[illegible]84	1249	342
1->3	2,211582568	1766	1744
1->2->3	4,144670050	516	394
1->2->4	5,228060368	3276	1789
1->5	3,378600823	2160	1944
1->2->5	0	0	0
1->2->4->5	5,153846153	84	13
2->1	2,446201141	2331	2277
2->3	2,361869504	2213	2161
2->4	3,567984570	2281	2074
5->1	2,206988058	2299	2261
5->2	2,490213926	2265	2197
5->3	2,324829157	2251	2195
5->2->3	0	0	0
5->2->3	0	0	0
5->1->3	0	0	0
5->2->1->3	5	23	8
5->4	2,755565862	2269	2156

На закладке «Распределение сообщений по времени доставки» будет виден график распределения количества сообщений по времени доставки.



5. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Номер варианта задания выбирается студентом согласно номеру в списке группы. В табл. 10, 11, 12 приведены варианты для выполнения домашней работы и работы в лаборатории. Топология сети приведена на рис.6.

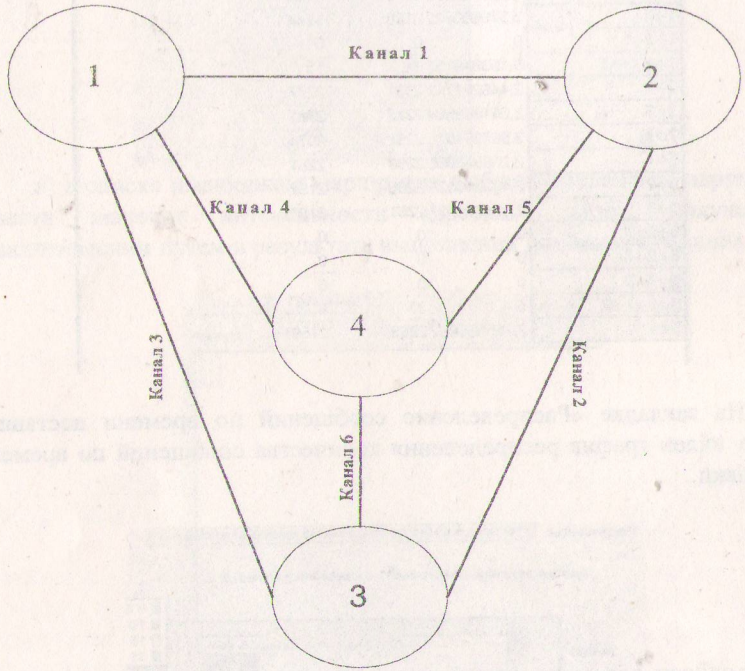


Рис.6

Таблица 10

Варианты характеристик узлов

Характеристики узлов	№ Узла	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вероятность отказа узла	1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1
	2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
	3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3
	4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Время восстановления узла	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
	2	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3
	3	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
	4	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3

Продолжение табл.10

Характеристики узлов	№ Узла	Варианты									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Вероятность отказа узла	1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
	2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2
	3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	4	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Время восстановления узла	1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4

Таблица 11

Варианты характеристик сообщений и маршрутов

Характеристики	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средняя длина Сообщений	1024	512	256	1024	1024	256	1024	512	1024	512
Интенсивность сообщений	15	20	25	30	35	40	45	15	20	25
Минимальное время доставки	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5
Адресация сообщений	1-2	1-3	2-3	4-1	4-2	4-2	1-2	1-3	2-3	4-3

Продолжение табл. 11

Характеристики	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Средняя длина Сообщений	1024	256	512	1024	256	512	1024	512	256	1024
Интенсивность сообщений	30	35	40	45	10	25	15	25	30	40
Минимальное время доставки	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6
Адресация сообщений	4-2	4-1	2-3	1-3	1-2	4-1	4-2	4-3	2-3	4-1

Таблица 12

Варианты характеристик каналов

Характеристика канала	№ Кан.	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Скорость модуляции в канале	1	9600	4800	2400	1200	9600	2400	1200	9600	4800	2400
	2	1200	2400	4800	9600	1200	2400	4800	4800	1200	2400
	3	2400	4800	9600	1200	2400	4800	9600	1200	2400	4800
	4	4800	9600	1200	2400	4800	9600	1200	2400	4800	9600
	5	1200	2400	4800	9600	1200	2400	4800	4800	1200	2400
	6	9600	4800	2400	1200	9600	2400	1200	9600	4800	2400
Число каналов в пучке	1	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
	2	6	5	4	3	2	1	6	5	4	3
	3	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2
	4	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1
	5	6	5	4	3	2	1	6	5	4	3
	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Время ожидания восстановления канала	1	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
	2	6	5	4	3	2	1	6	5	4	3
	3	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2
	4	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1
	5	6	5	4	3	2	1	6	5	4	3
	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Вероятность отказа канала	1	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
	2	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1
	3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	4	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
	5	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1
	6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
Средняя длина пакета	1	2048	4096	2048	1024	8192	2048	1024	8192	4096	2048
	2	1024	2048	4096	8192	1024	2048	4096	4096	1024	2048
	3	2048	4096	8192	1024	2048	4096	8192	1024	2048	4096
	4	4096	8192	1024	2048	4096	8192	1024	2048	4096	8192
	5	1024	2048	4096	8192	1024	2048	4096	4096	1024	2048
	6	8192	4096	2048	1024	8192	2048	1024	8192	4096	2048

Продолжение таблицы 12

Характерис-тика канала	№ Кан.	Вариант									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Скорость модуляции в канале	1	1200	9600	4800	2400	1200	9600	4800	2400	1200	9600
	2	4800	9600	1200	2400	4800	2400	1200	2400	4800	1200
	3	9600	1200	2400	4800	9600	1200	2400	4800	9600	1200
	4	1200	4800	4800	9600	1200	2400	4800	9600	1200	2400
	5	4800	9600	1200	2400	4800	2400	1200	2400	4800	1200
	6	1200	9600	4800	2400	1200	9600	4800	2400	1200	9600
Число каналов в пучке	1	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
	2	2	1	6	5	4	3	2	1	6	5
	3	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4
	4	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3
	5	2	1	6	5	4	3	2	1	6	5
	6	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Время ожидания восстановления канала	1	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
	2	2	1	6	5	4	3	2	1	6	5
	3	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4
	4	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3
	5	2	1	6	5	4	3	2	1	6	5
	6	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Вероятность отказа канала	1	0.05	0.05	0.1	0.15	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.05
	2	0.05	0.25	0.3	0.1	0.05	0.1	0.15	0.2	0.05	0.2
	3	0.25	0.1	0.1	0.2	0.05	0.05	0.05	0.3	0.2	0.1
	4	0.05	0.05	0.1	0.15	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.05
	5	0.05	0.25	0.3	0.1	0.05	0.1	0.15	0.2	0.05	0.2
	6	0.25	0.1	0.1	0.2	0.05	0.05	0.05	0.3	0.2	0.1
Средняя длина пакета	1	1024	8192	4096	2048	1024	8192	4096	2048	1024	8192
	2	4096	8192	1024	2048	4096	2048	1024	2048	4096	1024
	3	8192	1024	2048	4096	8192	1024	2048	4096	8192	1024
	4	1024	4096	4096	8192	1024	2048	4096	8192	1024	2048
	5	4096	8192	1024	2048	4096	2048	1024	2048	4096	1024
	6	1024	8192	4096	2048	1024	8192	4096	2048	1024	8192

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С помощью каких параметров можно построить модель сети передачи информации?
2. Основной критерий выбора кратчайших путей для доставки сообщений.
3. Начальная эвристическая процедура алгоритма поиска k кратчайших путей.
4. Как учитываются факторы отказов сети?
5. Каким образом оценивается время передачи сообщения на участке полного маршрута?
6. Как находится распределение интенсивностей сообщений по маршрутам?
7. В чем недостаток данного метода оценки времени доставки сообщений?
8. Согласно каким правилам выбирается путь для передачи сообщений?
9. Основные процедуры поиска k кратчайших путей?
10. Каким образом подтверждается достоверность эвристических процедур?

ЛИТЕРАТУРА

1. Князева Н.А. Алгоритмы поиска k кратчайших по времени путей в связывающей сети с переменной структурой. В сб. «Синтез управляющих устройств». М.: Наука, 1976.
2. Михалевич В.С. Исследование операций и решение многовариантных задач. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
3. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето – оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, Гл.ред.физ.-мат. Литературы, 1982.
4. Климов Г.П. Стохастические системы обслуживания. –М.: Наука, 1966. –243 с.
5. Бочаров П.П. Коган Я.А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. –М.: Наука. Гл.ред.Физ.-мат.лит., 1989.
6. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М. – Сов.Радио, 1971.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1968.

Глод Ольга Денисовна
Пушнин Алексей Валерьевич

Руководство к лабораторной работе «Исследование функционирования вторичной сети связи» по курсу «Цифровые сети интегрального обслуживания» Для студентов специальности 2202

Ответственный за выпуск Глод О.Д.

Редактор Белова Л.Ф.

Корректор Селезнева Н.И.

ЛР № 020565 от 23.06.1997г. Подписано к печати 24.11.01
Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная
Офсетная печать Усл.п.л. – 2.0 Уч.-изд.л. – 1.8
Заказ № 470 Тираж 200 экз.

Издательство Таганрогского государственного радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1
Типография Таганрогского государственного радиотехнического университета

УДК 621.391.23.019.4(076.5)+621.391.83:621.391.23(076.5)

Финаев В.И., Кавчук А.А.. Руководство к лабораторной работе №3 “Исследование функционирования и помехоустойчивости системы с решающей обратной связью” по курсу “Информационные обмены в сложных системах”. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. 20 с.

Исследуется функционирование системы передачи дискретной информации с решающей обратной связью посредством имитационного моделирования. Имитационная модель позволяет исследовать помехоустойчивость системы.

Табл. 3. **Ил. 5**. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент: Б.Г.Долгопятов, канд. техн. наук, доцент кафедры САУ

© Финаев В.И.
© Кавчук А.А.
© Таганрогский государственный радиотехнический университет.

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение функционирования и помехоустойчивости системы с решающей обратной связью и ожиданием решающего сигнала (РОС-ож) посредством имитационного моделирования и при заданной методике расчета помехоустойчивости.

2 . ЗАДАЧИ РАБОТЫ

По принципу функционирования систем с решающей обратной связью созданы протоколы канального уровня, посредством которых реализуются информационные обмены в сетях передачи дискретной информации. Знание принципов работы канальных протоколов необходимо для студентов специальности 2202 “Автоматизированные системы управления и обработки информации”, т.к. в их инженерной деятельности встречаются задачи, связанные с проектированием автоматизированных информационных систем для распределенных на большой территории объектов, проектированием телекоммуникационных сетей, выбором аппаратуры связи.

При домашней подготовке к работе следует:

- изучить общие принципы организации систем с решающей обратной связью и, в частности, РОС-ож [1];
- ознакомиться с методикой расчета помехоустойчивости системы с РОС [2];
- рассчитать помехоустойчивость системы согласно заданному варианту;
- ознакомиться с алгоритмами имитационных моделей ROCI и ROC2.

При выполнении лабораторной работы:

- изучить принципы управления функционированием имитационных моделей ROCI и ROC2;
- исследовать на имитационной модели ROCI функционирование системы с РОС-ож согласно индивидуальному варианту задания;
- исследовать на имитационной модели ROC2 помехоустойчивость системы с заданными индивидуальным вариантом параметрами, сравнить результаты моделирования с расчетом при домашней подготовке, сделать выводы.

3. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ С РОС-ож

3.1. Алгоритм функционирования

На рис.1 представлена структурная схема системы с РОС-ож.

Функционирует система с РОС-ож следующим образом. Поступающая от источника информация (ИИ) m – элементная комбинация первичного кода через логическую схему ИЛИ записывается в накопитель передатчика ($НК_1$). Одновременно с этим в кодирующем устройстве (КУ) формируются контрольные символы, представляющие собой контрольную последовательность блока (КПБ).

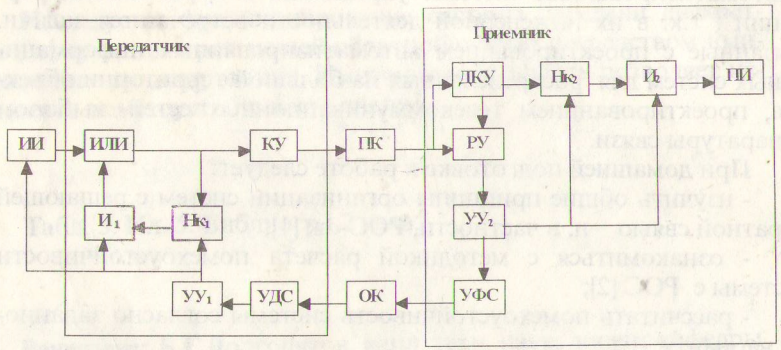


Рис.1

Полученная n – элементная комбинация подается на вход прямого канала (ПК). С выхода ПК комбинация поступает на входы решающего устройства (РУ) и декодирующего устройства (ДКУ). ДКУ на основании m информационных символов, принимаемых из прямого канала, формирует свою контрольную последовательность блока. Решающее устройство сравнивает две КПБ (принимаемую из ПК и выработанную ДКУ) и принимает одно из двух решение: либо информационная часть комбинации (m- элементный первичный код) выдается получателю информации ПИ, либо стирается. Одновременно в ДКУ производится выделение информационной части и запись полученной m – элементной комбинации в накопитель приемника ($НК_2$).

В случае отсутствия ошибок или необнаруженных ошибок принимается решение о выдаче информации ПИ и устройство

управления приемника ($УУ_2$) выдает сигнал, открывающий элемент $И_2$, что обеспечивает выдачу m – элементной комбинации из $НК_2$ к ПИ. Устройством формирования сигнала обратной связи (УФС) вырабатывается сигнал подтверждения приема комбинации, который по обратному каналу (ОК) передается в передатчик. Если приходящий из ОК сигнал дешифрирован устройством декодирования сигнала обратной связи (УДС) как сигнал подтверждения, то на вход устройства управления передатчика ($УУ_1$) подается соответствующий импульс, по которому $УУ_1$ производит запрос от ИИ следующей комбинации. Логическая схема $И_1$ в этом случае закрыта, и комбинация, записанная в $НК_1$, стирается при поступлении новой.

В случае обнаружения ошибок РУ принимает решение о стирании комбинации, записанной в $НК_2$, при этом $УУ_2$ вырабатывает управляющие импульсы, запирающие логическую схему $И_2$ и формирующие в УФС сигнал переспроса. При дешифрировании схемой УДС поступающего на его вход сигнала как сигнала переспроса, блок $УУ_1$ вырабатывает управляющие импульсы, с помощью которых через схемы $И_1$, ИЛИ и КУ в ПК производится повторная передача комбинации, хранящейся в $НК_1$.

3.2. Имитационная модель

Алгоритм работы системы с РОС-ож представлен на рис. 2.

В имитационной модели для передачи информации в прямом канале может быть применен либо корректирующий циклический код с кодовым расстоянием d=3 и образующий полиномом $p(x)=x^4+x^3+1$, либо корректирующий код с d=4, комбинации которого образуются в результате контроля на четность комбинаций кода с d=3. **Тип кода задается вводимым значением величины кодового расстояния.**

Число информационных элементов первичного кода (кода источника информации) может изменяться от m=5 до m=11. Для передачи сигналов обратной связи используется корректирующий код из двух комбинаций, длина которых λ выражается нечетным числом. Этот код имеет кодовое расстояние d= λ и позволяет исправлять все ошибки кратности (λ-1) / 2 включительно

В модели ROCI имитируется прохождение сигналов по прямому и обратному каналам в условиях действия ошибок. Ввод на передачу в систему комбинации первичного кода и требуемого, согласно алгоритму работы, служебного сигнала осуществляется с клавиатуры дисплея студентом, выполняющим работу. Програм-

ма имитационной модели вырабатывает возможные коды решения (относительно исхода однократного цикла) функционирования системы.

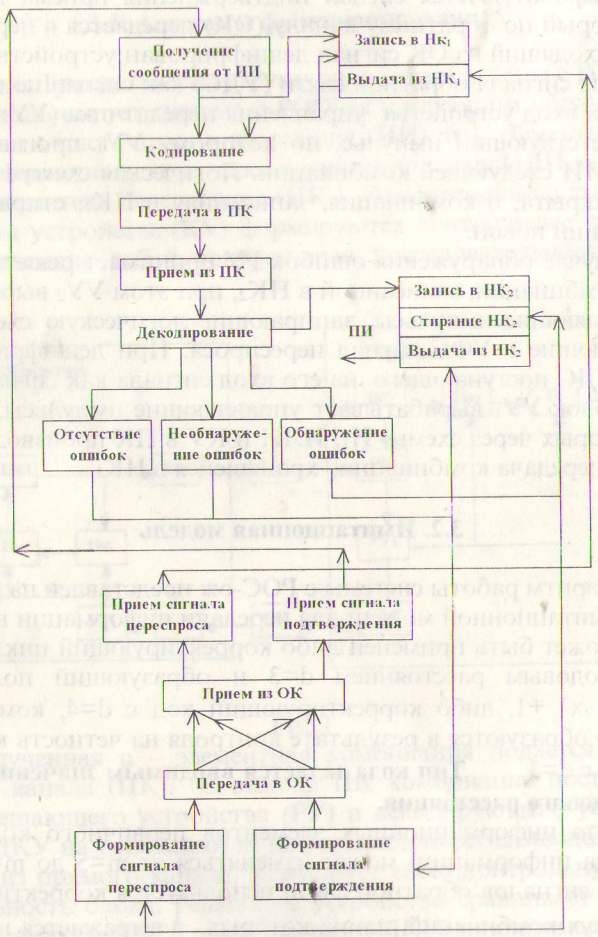


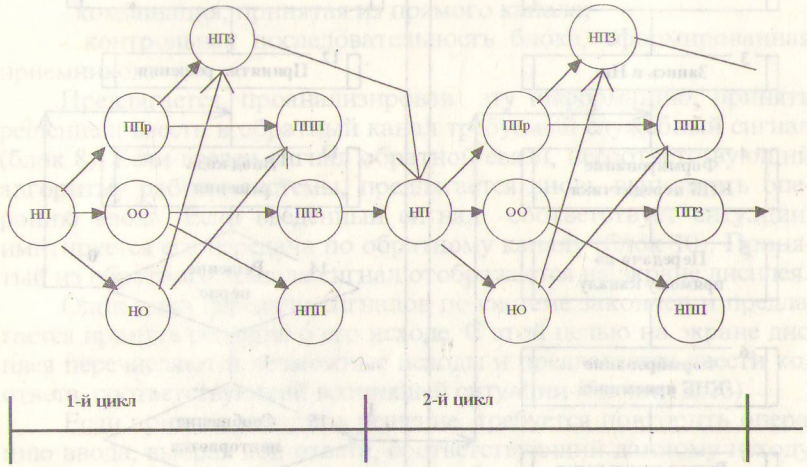
Рис.2

Алгоритм работы имитационной модели иллюстрируется графом состояний, вид которого приведен на рис.3.

Правильный прием кодовой комбинации происходит при неискажении комбинации в прямом канале (переход в состояние Ппр) и правильном приеме сигнала подтверждения в обратном

канале (переход в состояние ППП). При обнаружении ошибки в переданной кодовой комбинации (переход в состояние ОО) и правильном приеме сигнала запроса (переход в состояние ППЗ) система переходит к повторению (второй цикл).

Если в кодовой комбинации присутствует необнаруживаемая ошибка (переход в состояние НО), то по ОК передается сигнал подтверждения и возможен переход в состояние НП следующего цикла (трансформирован сигнал подтверждения в сигнал запроса) либо в состояние ППП (сигнал подтверждения принят верно).



НП - начало передачи; ОО - обнаруженная ошибка; НО - необнаруженная ошибка; Ппр - правильный прием; НПП - неправильный прием подтверждения; ИЗ - искажение запроса; ППП - правильный прием подтверждения; ППЗ - правильный прием запроса

Рис.3

Данный граф следует учитывать при изучении методики расчета помехоустойчивости передачи кодовых комбинаций.

Схема алгоритма имитационной модели ROCI представлена на рис.4. С помощью данной модели изучается “по шагам” работа системы РОС-ож.

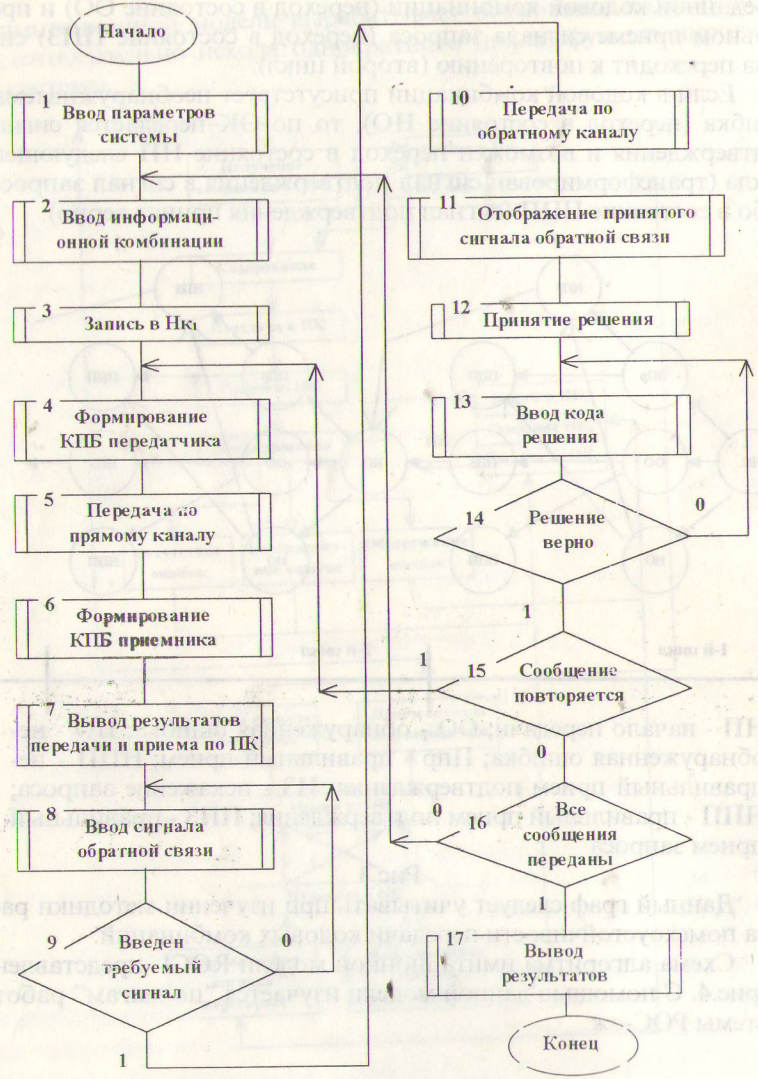


Рис.4

После запуска модели на экране дисплея появляется надпись, предлагающая ввести исходные данные согласно варианту работы. Операция ввода (блок I) подтверждается выводом на экран

дисплея введенных параметров. Если допущена ошибка при вводе, следует остановить решение и произвести ввод заново.

Ввод на передачу информационной комбинации производится с клавиатуры дисплея (блок 2). После завершения операции формирования контрольной последовательности (блок 4), имитации прохождения комбинации корректирующего кода по прямому каналу и формирования контрольной последовательности приемником (блок 6) на экране дисплея отображаются:

- комбинация корректирующего кода, переданная в прямой канал;
- комбинация, принятая из прямого канала;
- контрольная последовательность блока, сформированная приемником.

Предлагается, проанализировав эту информацию, принять решение и ввести в обратный канал требуемый служебный сигнал (блок 8). Если введен сигнал обратной связи, несоответствующий алгоритму работы системы, предлагается вновь выполнить операцию ввода. Если введенный сигнал соответствует ситуации, имитируется его передача по обратному каналу (блок 10). Принятый из обратного канала сигнал отображается на экране дисплея.

Один цикл передачи сигналов по системе закончен и предлагается принять решение о его исходе. С этой целью на экране дисплея перечисляются возможные исходы и предлагается ввести код ответа, соответствующий возникшей ситуации (блоки 12, 13).

Если принято неверное решение, требуется повторить операцию ввода, выбрав код ответа, соответствующий данному исходу. Если код введен правильно, функционирование модели продолжается.

Имитационная модель ROC2 предназначена для анализа помехоустойчивости системы с РОС-ож. Схема алгоритма модели ROC2 представлена на рис.5.

От студента, выполняющего работу, требуется ввести параметры системы и модели ошибок, а также объем испытаний (число передаваемых сообщений).

Ввод осуществляется с клавиатуры дисплея по появлению требования на экране дисплея. После этого модель отрабатывает заданный объем испытаний и выводит на экран дисплея результаты моделирования: число сообщений, выданных источником; число сообщений, выданных получателю без ошибок; число сообщений, выданных получателю с ошибками; число выпадений; число вставок сообщений без ошибок и с ошибками; общее число передач по прямому каналу.

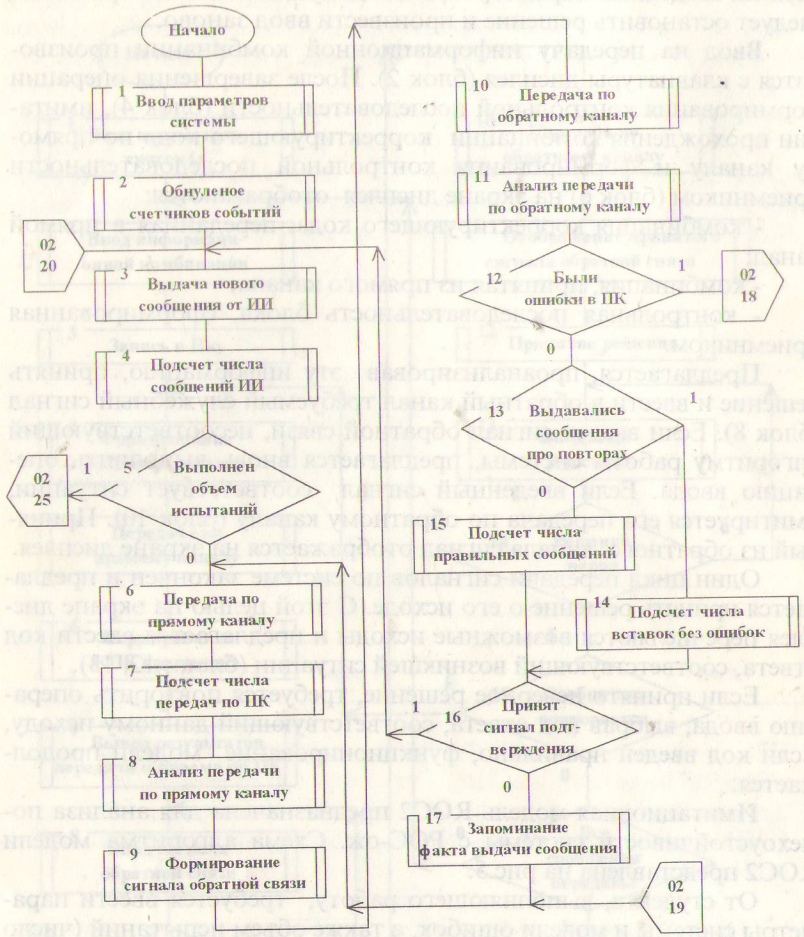


Рис.5

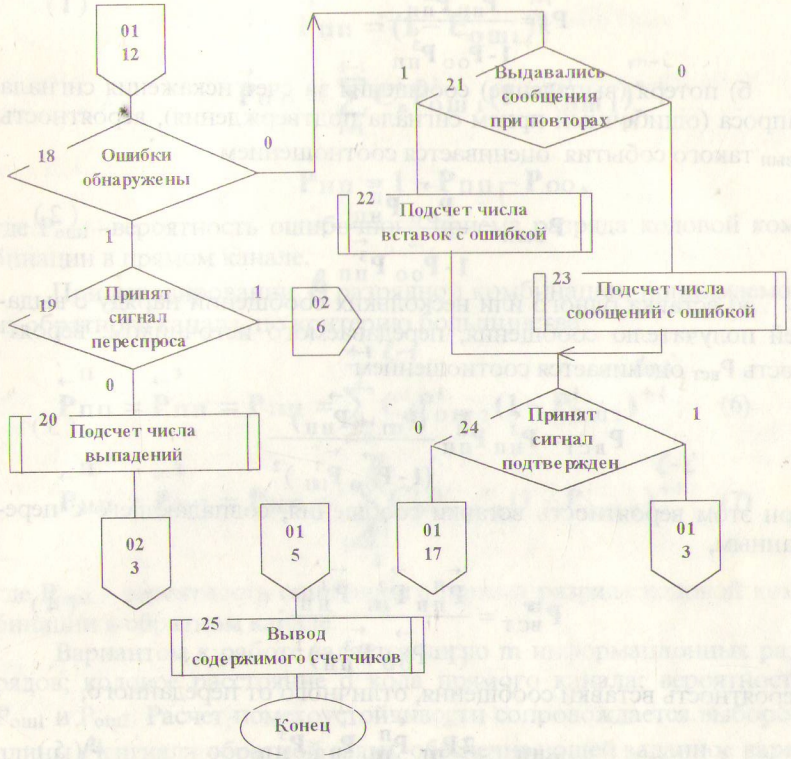


Рис.5. Окончание

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

4.1. Домашняя подготовка

После изучения принципов организации и алгоритма функционирования системы с РОС-ож следует рассчитать помехоустойчивость системы согласно индивидуальному варианту (см. табл. 3).

Помехоустойчивость системы принято оценивать вероятностью возможных ошибочных ситуаций, возникающих вследствие ошибочного приема сигналов. К таким ситуациям относятся:

а) выдача получателю сообщения с ошибкой, вероятность $P_л$ такого события оценивается соотношением

$$P_{л} = \frac{\vec{P}_{нп}\,\overleftarrow{P}^{п}_{пп}}{1-\vec{P}_{оо}\,\overleftarrow{P}^{з}_{пп}}; \qquad (1)$$

б) потеря (выпадение) сообщения за счет искажения сигнала запроса (ошибочный прием сигнала подтверждения), вероятность $P_{вып}$ такого события оценивается соотношением

$$P_{вып} = \frac{\vec{P}_{оо}\,\overleftarrow{P}^{п}_{нп}}{1-\vec{P}_{оо}\,\overleftarrow{P}^{з}_{пп}}; \qquad (2)$$

в) вставка одного или нескольких сообщений наряду с выдачей получателю сообщения, передаваемого источником; вероятность $P_{вст}$ оценивается соотношением

$$P_{вст} = \overleftarrow{P}^{з}_{нп}\,\overleftarrow{P}^{п}_{пп}\,\frac{(\vec{P}_{пп}+\vec{P}_{нп})^2}{(1-\vec{P}_{оо}\,\overleftarrow{P}^{з}_{пп})^2}, \qquad (3)$$

при этом вероятность вставки сообщения, совпадающего с переданным,

$$P^{пр}_{вст} = \frac{\overleftarrow{P}^{п}_{пп}\,\vec{P}^{2}_{пп}\,\overleftarrow{P}^{з}_{нп}}{(1-\vec{P}_{оо}\,\overleftarrow{P}^{з}_{пп})^2}; \qquad (4)$$

вероятность вставки сообщения, отличного от переданного,

$$P^{нп}_{вст} = \frac{2\vec{P}_{пп}\,\overleftarrow{P}^{п}_{пп}\,\vec{P}_{нп}\,\overleftarrow{P}^{з}_{нп}}{(1-\vec{P}_{оо}\,\overleftarrow{P}^{з}_{пп})^2}. \qquad (5)$$

В формулах (1) - (5) приняты следующие обозначения:

- $\hat{P}_{пп}, \hat{P}_{оо}, \hat{P}_{нп}$ - вероятности правильного приема, обнаружения ошибки и необнаружения ошибки в прямом канале;
- $\overset{\vdots}{P}^{п}_{пп}, \overset{\vdots}{P}^{п}_{нп}$ - вероятности правильного и ошибочного приема сигнала подтверждения из обратного канала;
- $\overset{\vdots}{P}^{з}_{пп}, \overset{\vdots}{P}^{з}_{нп}$ - вероятности правильного и ошибочного приема сигнала запроса из обратного канала.

В случае биномиальной модели ошибок в канале и использования в прямом канале n - элементного корректирующего кода с кодовым расстоянием d и числом контрольных элементов k вероятности определятся по формулам:

$$\vec{P}_{пп} = (1-P_{ош1})^{m}$$

$$\vec{P}_{оо} = \sum_{i=1}^{d-1} C^{i}_{n} P^{i}_{ош1}(1-P^{i}_{ош1})^{m-i}$$

$$\vec{P}_{нп} = 1-\vec{P}_{пп}-\vec{P}_{оо},$$

где $P_{ош1}$ –вероятность ошибочного приема разряда кодовой комбинации в прямом канале.

При декодировании ℓ разрядной комбинации, принимаемой из обратного канала, по критерию большинства

$$\overleftarrow{P}^{п}_{пп} = \overleftarrow{P}^{з}_{пп} = P_{пп} = \sum_{i=0}^{\frac{\ell+1}{2}} C^{i}_{\ell} P^{i}_{ош2}(1-P^{i}_{ош2})^{\ell-i}; \qquad (6)$$

$$\overleftarrow{P}^{п}_{нп} = \overleftarrow{P}^{з}_{нп} = P_{нп} = \sum_{i=\frac{\ell+1}{2}}^{\ell} C^{i}_{\ell} P^{i}_{ош2}(1-P^{i}_{ош2})^{\ell-i}, \qquad (7)$$

где $P_{ош2}$ – вероятность ошибочного приема разряда кодовой комбинации в обратном канале.

Вариантом к работе задается число m информационных разрядов; кодовое расстояние d кода прямого канала; вероятности $P_{ош1}$ и $P_{ош2}$. Расчет помехоустойчивости сопровождается выбором длины ℓ сигнала обратной связи, обеспечивающей заданное вариантом соотношение γ между вероятностью сдвига выданных получателю сообщений в результате выпадений и вставок и вероятностью выдачи сообщения с ошибками

$$P_{вып} + P_{вст} \le \gamma P_{л}. \qquad (8)$$

Рекомендуется следующая методика расчета. На основании формулы (I) рассчитывается вероятность $P^{*}_{л}$ при условии отсутствия ошибок в обратном канале

$$P^{*}_{л} = \frac{\vec{P}_{нп}}{1-\vec{P}_{оо}}. \qquad (9)$$

На основании формул (2) и (3), с учетом формул (6) и (7), соотношение (8) принимает вид

$$P_{вып} + P_{вст} = \frac{\vec{P}_{нп}}{(1-\vec{P}_{оо}) - 2\vec{P}_{нп}\vec{P}_{оо}} \le \gamma P^*_{л}. \qquad (10)$$

Решение неравенства (10) определяет допустимое значение вероятности неправильного приема сигнала обратной связи

$$\vec{P}_{нпдоп} = \le \frac{\gamma P^*_{л}(1-\vec{P}_{оо})}{1-2\gamma P^*_{л}\vec{P}_{оо}}. \qquad (11)$$

Согласно (7) выбирается минимальное значение длины кода a, обеспечивающее $\overleftarrow{P}_{нп} \le \overleftarrow{P}_{нпдоп}$, на основании формул (1) - (5) производится окончательный расчет помехоустойчивости системы, проверяется достигнутое значение γ.

Быстродействие системы оценивается временем доставки получателю информационного сообщения, т. е. временем, исчисляемым от момента выдачи сообщения источником информации до момента его выдачи получателю информации. Среднее время доставки одного сообщения в системе с обратной связью оценивается соотношением

$$\bar{\tau}_g = \bar{a}\,\bar{\tau}_ц,$$

где $\bar{a}$ - среднее число передач сообщения по системе до принятия решения о прекращении его повторения; $\tau_ц$ - время однократного прохождения сообщения по системе до выдачи его получателю.

Если время распространения сигналов по каналам связи и время анализа принятых сигналов меньше длительности самих сигналов (что обычно имеет место на практике), то для режима РОС-ож

$$\bar{\tau}_ц = n\tau_п + \tau_о,$$

где $\tau_п$ и $\tau_о$ - длительности двоичных посылок в прямом и обратном каналах соответственно.

Среднее число передач до выявления сообщения в системе при неограниченном числе повторений

$$\bar{a} = \frac{1}{(1-\vec{P}_{оо})\overleftarrow{P}_{пп} + \vec{P}_{оо}\overleftarrow{P}_{нп}}.$$

4. 2. Методика проведения работы

1. Ознакомиться с принципами работы имитационных моделей ROC1 и ROC2.

2. Запустить программу имитационной модели ROC1 и провести передачу по системе пяти произвольных сообщений.

Запись исхода передачи информационной комбинации рекомендуется оформлять в виде табл.1.

Таблица 1

Результаты работы модели ROC1

№ С	КК И	П из Н	КПБ Пер	КК на ВПК	КПБ Пр	ВСС	ПСС	ИП
1	I000 0	-	III0	I0I00III0	000I	000	0II	Вып
2	0000	-	I00I	0000I00I	I00I	III	III	ВбО
3	00I0 0	-	III	00II0III	0I00	000	00I	Ст и П
	-	00I00	III	00I000III	III	000	000	Ст и П
	-	00I00	III	00I00III	III	III	0II	ВбО

В табл.1 приняты следующие сокращения: № С - номер сообщения; КК И - кодовая комбинация источника; П из Н - передача из накопителя; КПБ Пер - контрольная последовательность блока передатчика; КК на ВПК - кодовая комбинация на выходе прямого канала; КПБ Пр - контрольная последовательность блока приемника; ВСС - ввод служебного сигнала; ПСС - принятый служебный сигнал; ИП - исход передачи; Вып - выпадение; ВбО - выдача без ошибок; Ст и П - стирание и повтор.

После окончания моделирования необходимо посчитать число имевших место исходов: выдачи правильных сообщений, выдачи сообщений с ошибками, выпадений, вставок, число повторных передач.

3. Запустить программу имитационной модели ROC2 и провести моделирование с заданными вариантом параметрами. На основании результатов моделирования оценить частоту событий: правильного приема, приёма с ошибками, выпадения, вставок сообщений без ошибок и с ошибками. Оценка производится отношением числа указанных событий к числу сообщений, выданных источником. Среднее число передач одного сообщения по системе определяется отношением числа передач по прямому каналу к числу сообщений, выданных источником. Результаты моделирования следует сравнить с результатами аналитического расчета при домашней подготовке и сделать выводы.

Количество реализаций N - число передаваемых источником сообщений, необходимых для получения в результате статистического моделирования оценки P^* с точностью ε и достоверностью α, определяется по формуле

$$N \geq t_\alpha^2 \frac{P^*(1-P^*)}{\varepsilon^2},$$

при этом величина t_α определяется значением достоверности. Значения t_α в зависимости от α представлены в табл.2.

Таблица 2

Значения t_α

α	0.998	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
t_α	3.09	2.57	2.32	2.17	2.05	1.96

Количество реализаций N моделирования определяется для наименьшего значения вероятностей ошибочных ситуаций, рассчитанных при домашней подготовке. Значение достоверности задается индивидуальным вариантом, величину точности следует выбирать равной от $\varepsilon=0,1p^*$ до $\varepsilon=p^*$, чтобы обеспечить приемлемые значения N при моделировании.

4.3. Требования к отчету по лабораторной работе

Отчет выполняется как при домашней подготовке, так и в процессе выполнения работы и должен содержать:

- номер и данные варианта работы, сведенные в таблицу (см. табл.3);
- расчет помехоустойчивости и обоснование выбора служебных сигналов;
- таблицу, иллюстрирующую работу системы согласно имитационной модели ROCI (см.табл.1), и анализ результатов моделирования;
- расчетное обоснование выбора количества реализаций N моделирования на модели ROC2;
- результаты испытаний на имитационной модели ROC2, обработку результатов моделирования, сравнение с аналитическим расчетом;
- аналитические выводы по проделанной работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая обратная связь в системах передачи информации называется решающей?
2. Какие служебные сигналы используются в системах с РОС, какие функции они выполняют? Укажите возможные способы формирования и передачи этих сигналов обратной связи.
3. Поясните алгоритм использования решающей обратной связи в режимах ожидания сигнала обратной связи, с непрерывной передачей сообщений и с адресным переспросом.
4. Какие отличия в последовательности выданных получателю сообщений относительно переданных источником могут быть в системе с РОС?
5. Какие искажения вызывает ошибочный прием сигнала в обратном канале? Поясните ситуации, приводящие к выпадению и вставке сообщений.
6. Объясните расчетные формулы (I) – (5).
7. Как рассчитывается текущая скорость передачи информации в системах с обратной связью?
8. Можно ли уменьшить вероятность выдачи ложного сообщения в системе с РОС по сравнению с системой без обратной связи, работающей с тем же корректирующим кодом?

6. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

В табл.3 приведены варианты индивидуальных заданий выполнения лабораторной работы. Номер варианта задается преподавателем.

В табл.3 приняты следующие сокращения: ЧР - число разрядов в информационной комбинации; КР - кодовое расстояние; ПК - прямой канал; ОК - обратный канал; Д - достоверность

Таблица 3

№	ЧР	КР	Вероятность ошибки		γ	Д
			ПК	ОК		
1	8	3	0,1	0,05	0,5	0,95
2	9	4	0,08	0,05	0,5	0,99
3	6	4	0,1	0,1	0,5	0,98
4	8	3	0,08	0,08	0,5	0,97
5	6	4	0,08	0,05	0,5	0,96
6	7	3	0,08	0,08	0,5	0,95
7	8	3	0,08	0,04	0,5	0,96
8	5	4	0,08	0,08	0,5	0,96
9	9	3	0,08	0,08	0,5	0,97
10	6	3	0,09	0,09	0,5	0,97
11	7	4	0,01	0,05	0,5	0,97
12	8	4	0,05	0,05	0,5	0,98
13	9	4	0,05	0,05	0,5	0,98
14	5	3	0,05	0,05	0,5	0,99
15	8	3	0,09	0,09	0,5	0,97
16	8	4	0,06	0,06	1,0	0,95
17	9	3	0,1	0,08	0,75	0,95
18	6	4	0,1	0,1	1,0	0,99
19	8	3	0,1	0,1	0,75	0,99
20	6	4	0,08	0,08	1,0	0,98
21	7	3	0,1	0,1	1,0	0,98
22	8	4	0,07	0,07	0,75	0,97
23	5	4	0,09	0,07	0,75	0,97
24	9	4	0,08	0,08	1,0	0,96
25	6	3	0,05	0,05	0,75	0,96
26	8	3	0,05	0,05	1,0	0,96
27	9	3	0,05	0,04	0,75	0,95
28	8	4	0,08	0,08	1,0	0,95
29	9	4	0,05	0,05	0,75	0,95
30	8	4	0,1	0,1	1,0	0,99
31	5	3	0,05	0,05	1,0	0,98
32	9	3	0,05	0,05	1,0	0,96

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварцман В. О., Емельянов Г. А. Теория передачи дискретной информации. – М.: Связь, 1979. – 424с.

2. Элементы теории передачи дискретной информации/ Под ред. Л.П. Прутова. – М.: Связь, 1972. – 232с.

УДК 621.391.23.019.4(076.5)+621.391.83:621.391.23(076.5)

Финаев В.И., Кавчук А.А.. Руководство к лабораторной работе №4 “Исследование функционирования и помехоустойчивости системы с информационной обратной связью” по курсу “Информационные обмены в сложных системах”. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. 20 с.

Исследуется функционирование и помехоустойчивость системы передачи дискретной информации с ретрансляционной обратной связью посредством имитационного моделирования.

Табл. 3. Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент: Б.Г. Долгопятов, канд. техн. наук, доцент кафедры САУ

© Финаев В.И.
© Кавчук А.А.
© Таганрогский государственный радиотехнический университет.

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение алгоритма работы системы с ретрансляционной информационной обратной связью и методики расчета помехоустойчивости системы.

Исследование функционирования и помехоустойчивости системы с ретрансляционной обратной связью на имитационной модели.

2 . ЗАДАЧИ РАБОТЫ

По принципу функционирования систем с информационной обратной связью (ИОС) созданы спутниковые системы связи. В инженерной деятельности студентов специальности 2202 “Автоматизированные системы управления и обработки информации” может встретиться решение задач, связанных с проектированием автоматизированных информационных телекоммуникационных систем, получающих информацию со спутников.

При домашней подготовке к работе следует:

- изучить общие принципы организации информационной обратной связи и, в частности, ретрансляционной связи [1];
- ознакомиться с методикой расчета помехоустойчивости системы с ретрансляционной обратной связью [1,2];
- рассчитать помехоустойчивость системы согласно заданному варианту;
- ознакомиться с алгоритмами имитационных моделей IOC1 и IOC2.

При выполнении лабораторной работы следует:

- ознакомиться с принципами управления функционированием имитационных моделей IOC1 и IOC2;
- исследовать на имитационной модели IOC1 функционирование системы согласно индивидуальному варианту задания, сделать выводы;
- исследовать на имитационной модели IOC2 помехоустойчивость системы с заданными индивидуальным вариантом параметрами, сравнить результаты моделирования с расчетом при домашней подготовке, сделать выводы.

3. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ С ИНФОРМАЦИОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

3.1. Алгоритм функционирования

На рис.1 приведена структурная схема системы с ИОС.

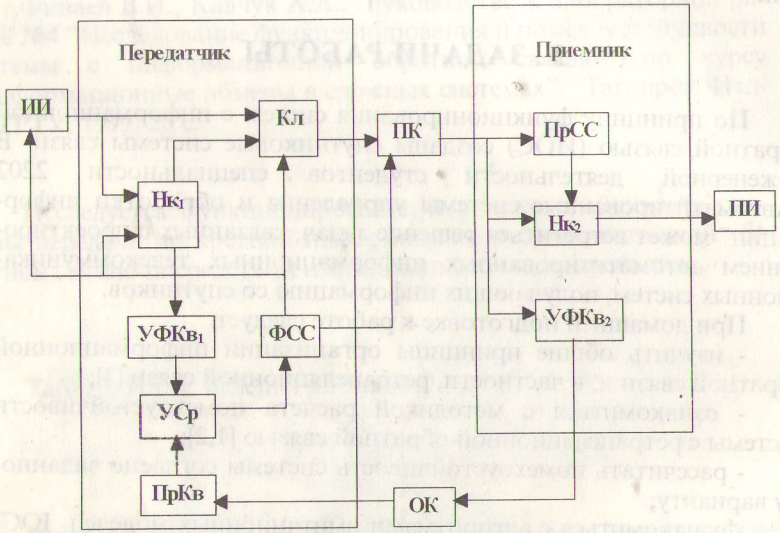


Рис.1

Процесс передачи сообщений в системе с ИОС происходит следующим образом. По запросу передатчика источник информации ИИ выдает m-разрядную комбинацию. Эта комбинация через ключ Кл передается в прямой канал ПК и одновременно записывается в накопитель $Нк_1$ передатчика. В приемнике поступившая из прямого канала комбинация записывается в накопитель $Нк_2$, где хранится до поступления служебного сигнала "Разрешение", и одновременно подается в устройство формирования квитанции $УФКв_2$. В случае ретрансляционной ИОС в качестве квитанции используется принятая из прямого канала комбинация.

С выхода обратного канала ОК квитанция поступает в приемник квитанции ПрКв и из него на устройство сравнения Уср, в котором сравнивается с контрольной квитанцией, вырабатываемой блоком $УФКв_1$ передающей стороны. Если квитанции совпадают, то по команде устройства сравнения формирователь служебных сигналов ФСС вырабатывает следующие сигналы:

- служебный сигнал "Разрешение", подаваемый в прямой канал;
- команду накопителю передатчика на стирание хранящейся в нем комбинации;
- запрос источнику информации на выдачу следующей информационной комбинации.

В случае несовпадения квитанций формирователь служебных сигналов вырабатывает служебный сигнал "Стирание", поступающий в прямой канал, команду накопителю передатчика на выдачу хранящейся в нем комбинации, команду на ключ для отклонения источника и подключения накопителя на вход прямого канала.

Служебные сигналы с выхода прямого канала поступают в приемник (дешифратор) служебных сигналов (ПрСС). При получении сигнала "разрешение" информационная комбинация из накопителя приемника выдается получателю информации (ПИ). При получении сигнала "стирание" информационная комбинация, хранящаяся в накопителе приемника $Нк_2$, стирается, а на ее место записывается комбинация, приходящая вслед за сигналом "стирание".

3.2. Имитационная модель

Алгоритм работы системы с ИОС представлен на рис. 2.

Имитационная модель IOCI предназначена для изучения и анализа функционирования системы с ретрансляционной ИОС. В модели имитируется прохождение сигналов по прямому и обратному каналам в условиях действия независимых ошибок (принята биномиальная модель ошибок). Ввод на передачу по системе информационной комбинации и требуемого согласно алгоритму работы служебного сигнала осуществляется студентом, выполняющим работу. Им же вводится (в закодированной форме) решение об исходе однократного цикла прохождения сигналов по системе.

Схема алгоритма модели IOCI представлена на рис. 3.

После запуска модели на решение на экране дисплея появляется надпись, предлагающая ввести исходные данные системы с ИОС. Операция ввода (блок I) завершается высвечиванием на экране введенных параметров модели.

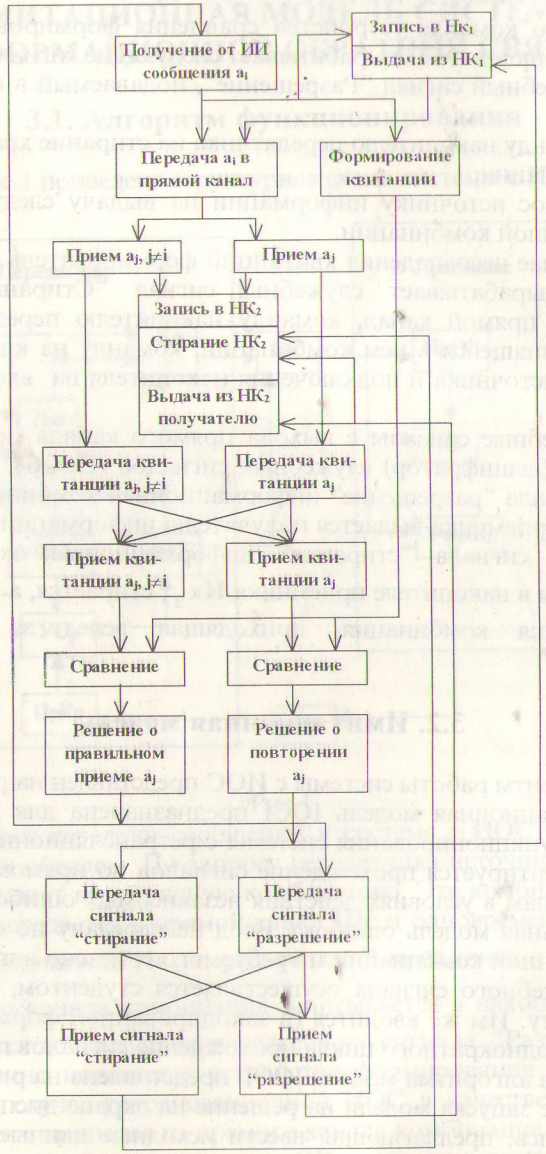


Рис.2

Если введенные параметры не соответствуют заданным, следует остановить решение и запустить модель сначала.

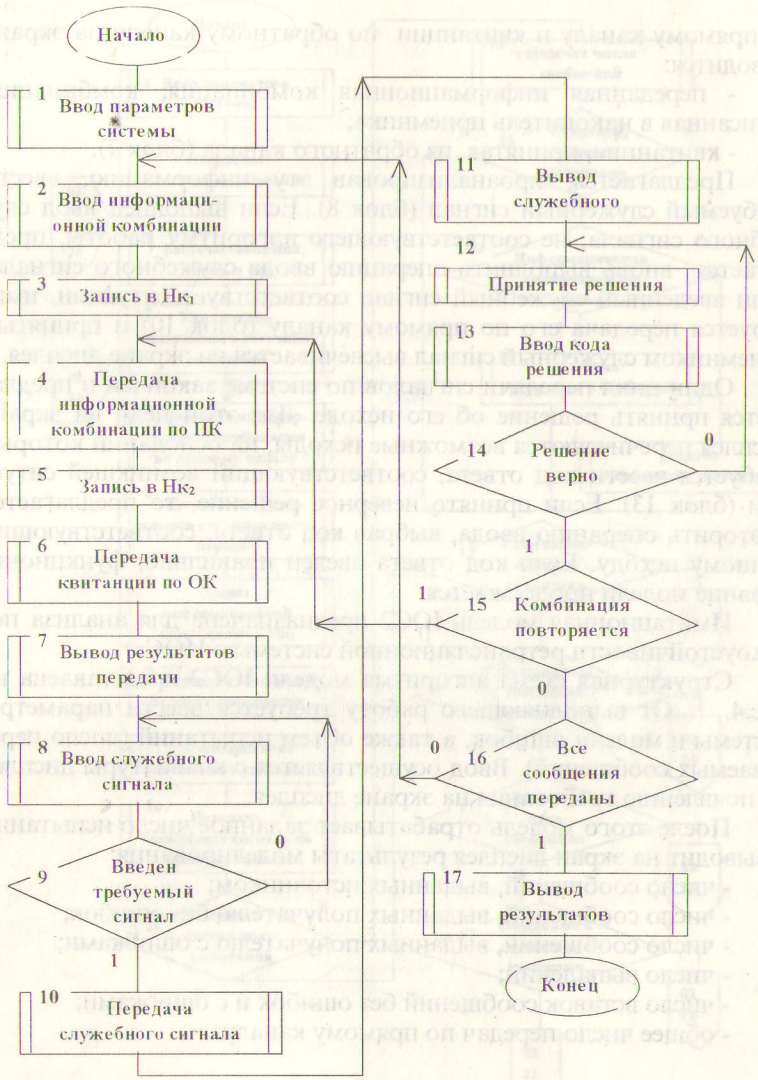


Рис.3

В процессе выполнения работы производится ввод с помощью клавиатуры заданной информационной комбинации (блок 2). После имитации прохождения информационной комбинации

по прямому каналу и квитанции по обратному каналу на экране выводится:

- переданная информационная комбинация; комбинация, записанная в накопитель приемника;
- квитанция, принятая из обратного канала (блок 7).

Предлагается, проанализировав эту информацию, ввести требуемый служебный сигнал (блок 8). Если выполнен ввод служебного сигнала, не соответствующего алгоритму работы, предлагается вновь выполнить операцию ввода служебного сигнала. Если введенный служебный сигнал соответствует ситуации, имитируется передача его по прямому каналу (блок 10) и принятый приемником служебный сигнал высвечивается на экране дисплея.

Один цикл передачи сигналов по системе закончен и предлагается принять решение об его исходе. Для этой цели на экране дисплея перечисляются возможные исходы, на основании которых требуется ввести код ответа, соответствующий возникшей ситуации (блок 13). Если принято неверное решение, то предлагается повторить операцию ввода, выбрав код ответа, соответствующий данному исходу. Если код ответа введен правильно, функционирование модели продолжается.

Имитационная модель ІОС2 предназначена для анализа помехоустойчивости ретрансляционной системы с ИОС.

Структурная схема алгоритма модели ІОС2 представлена на рис.4. От выполняющего работу требуется ввести параметры системы и модели ошибок, а также объем испытаний (число передаваемых сообщений). Ввод осуществляется с клавиатуры дисплея по появлению требования на экране дисплея.

После этого модель отрабатывает заданное число испытаний и выводит на экран дисплея результаты моделирования:

- число сообщений, выданных источником;
- число сообщений, выданных получателю без ошибок;
- число сообщений, выданных получателю с ошибками;
- число выпадений;
- число вставок сообщений без ошибок и с ошибками;
- общее число передач по прямому каналу.

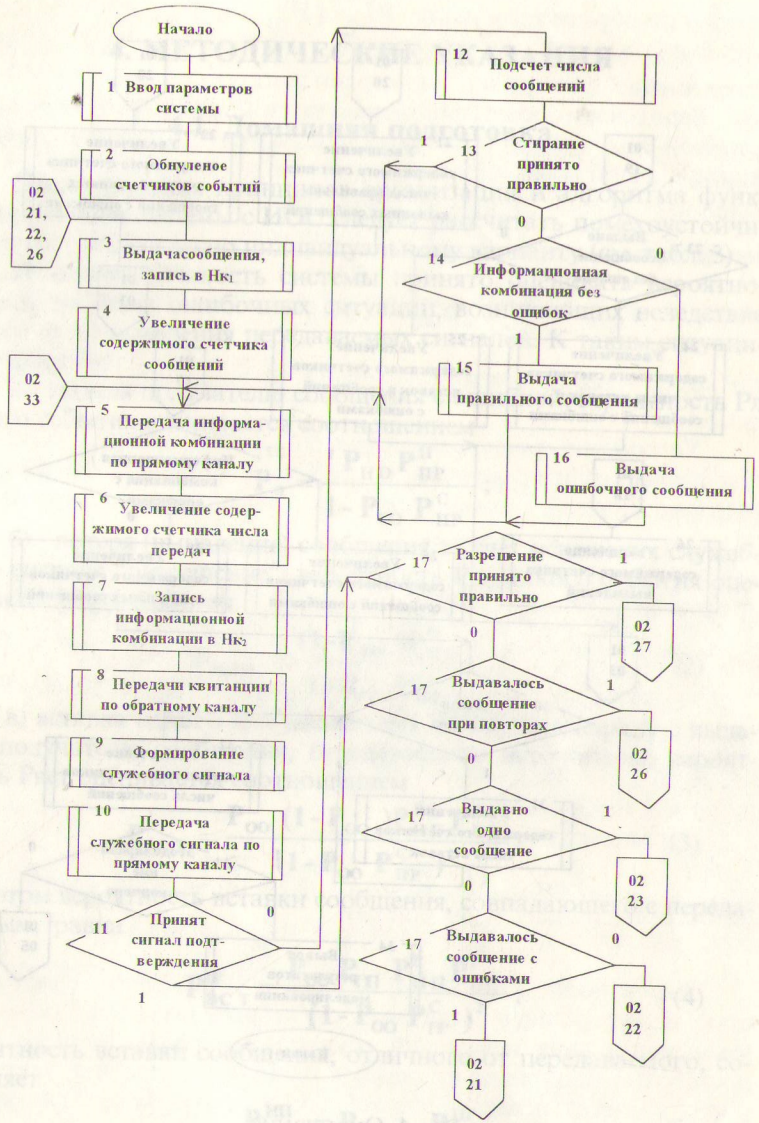


Рис.4

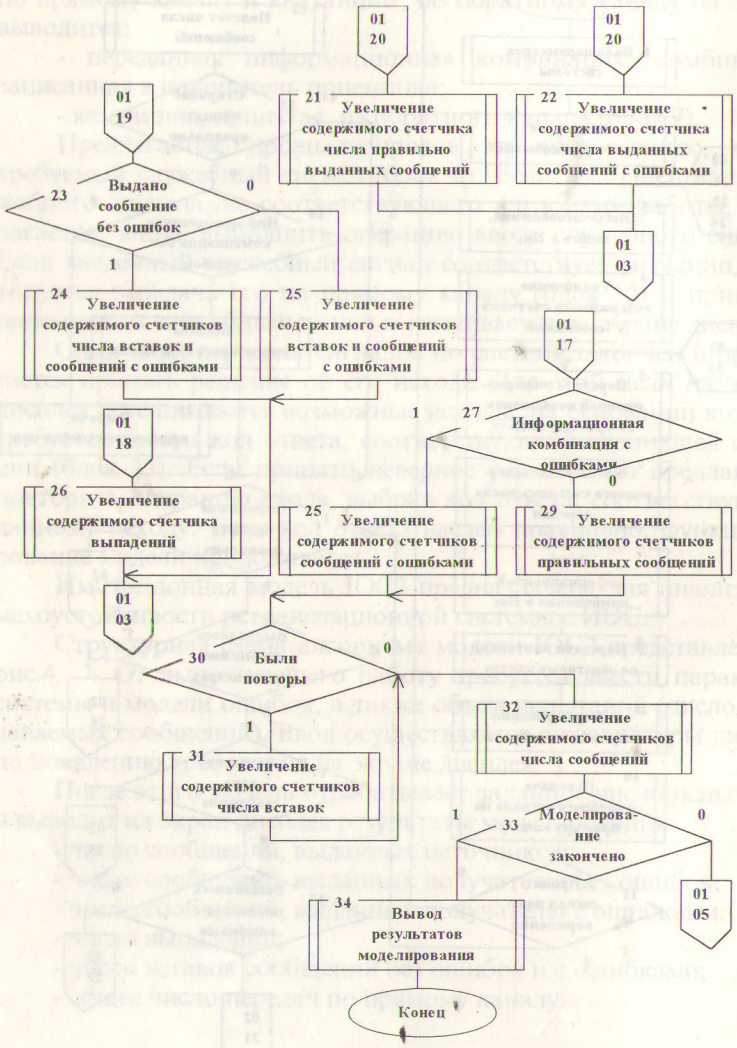


Рис.4. Окончание

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

4.1. Домашняя подготовка

После изучения принципов организации и алгоритма функционирования системы с ИОС следует рассчитать помехоустойчивость системы согласно индивидуальному варианту (см. табл. 3).

Помехоустойчивость системы принято оценивать вероятностью возможных ошибочных ситуаций, возникающих вследствие ошибочного выявления передаваемых сигналов. К таким ситуациям относятся:

а) выдача получателю сообщения с ошибкой; вероятность $P_л$ такого события оценивается соотношением

$$P_л = \frac{P_{но} P^{п}_{пр}}{1 - P_{оо} P^{с}_{пр}}; \qquad (1)$$

б) потеря (выпадение) сообщения за счет искажения служебного сигнала "разрешение"; вероятность $P_{вып}$ такого события оценивается соотношением

$$P_{вып} = \frac{(1 - P_{оо}) P^{с}_{нп}}{1 - P_{оо} P^{с}_{пр}}; \qquad (2)$$

в) вставка одного или нескольких сообщений наряду с выдачей получателю сообщения, передаваемого источником; вероятность $P_{вст}$ оценивается соотношением

$$P_{вст} = \frac{P_{оо} (1 - P_{оо}) P^{р}_{нп} P^{р}_{пр}}{(1 - P_{оо} P^{с}_{пр})^2}, \qquad (3)$$

при этом вероятность вставки сообщения, совпадающего с передаваемым, равна

$$P^{пр}_{вст} = \frac{P_{оо} P_{пп} P^{р}_{нп} P^{р}_{пр}}{(1 - P_{оо} P^{с}_{пр})^2}; \qquad (4)$$

вероятность вставки сообщения, отличного от передаваемого, составляет

$$P^{нп}_{вст} = P_{вст} - P^{пр}_{вст}. \qquad (5)$$

В формулах (I) - (5) приняты следующие обозначения: $P_{но}$, $P_{оо}$ и $P_{пп}$ - соответственно вероятности событий необнаружения ошибок, обнаружения ошибок и правильного приема в случае передачи информационной комбинации по прямому каналу и кви-

танции по обратному каналу; $P^{P}_{ПР}$ ($P^{C}_{ПР}$) и $P^{P}_{НП}$ ($P^{C}_{НП}$) - соответственно вероятности правильного приема служебного сигнала "разрешение" ("стирание") и неправильного их приема.

Вероятность правильного приема m – элементной информационной комбинации (или квитанции) в канале с биноминальной моделью ошибок определится формулой

$$P_{ПР} = (1 - p_{ош})^{m},$$

вероятность приема с ошибками

$$P_{НПР} = \sum_{i=1}^{m} C^{i}_{m} p^{i}_{ош} (1 - p_{ош})^{m-i} = 1 - P_{ПР},$$

где $p_{ош}$ - вероятность ошибочного приема одного двоичного символа.

Устройство сравнения (см. рис. I) не обнаруживает ошибки в том случае, если искажению подверглись одни и те же позиции информационной комбинации и квитанции. Вероятность $P_{но}$ необнаружения ошибки

$$P_{НО} = \sum_{i=1}^{m} C^{i}_{m} p^{i}_{ош1} (1 - p_{ош1})^{m-i} p^{i}_{ош2} (1 - p_{ош2})^{m-i} =$$

$$= \sum_{i=1}^{m} C^{i}_{m} p^{2}_{ош} = (1 - p_{ош})^{2(m-i)},$$

где $p_{ош1}$ и $p_{ош2}$ - соответственно вероятность ошибки в прямом и обратном каналах.

Вероятность правильного приема

$$P_{ПП} = (1 - p_{ош1})^{m} (1 - p_{ош2})^{m},$$

вероятность обнаружения ошибки

$$P_{ОО} = 1 - P_{ПП} - P_{НО}.$$

Вероятности выпадения и вставки определяются вероятностью неправильного выявления служебных сигналов. С целью уменьшения этих искажений служебные сигналы должны быть достаточно защищены от ошибок. Одним из способов такой защиты является передача служебных сигналов корректирующим кодом, исправляющим ошибки.

Код с нечетным числом разрядов λ, одна комбинация которого (например, сигнал "Разрешение") составлена только из "I", вторая (сигнал "Стирание") – только из "0", имеет кодовое расстояние $d = \lambda$ и исправляет все ошибки кратности $(\lambda-1)/2$ включительно. Исправление ошибок осуществляется в результате использования критерия декодирования по большинству "I": если в принимаемой комбинации служебного сигнала число единиц больше или равно $(\lambda-1)/2$, принимается решение о приеме сигнала "Разрешение", в противном случае – сигнала "Стирание".

Для биномиальной модели ошибок в канале в этом случае

$$P^{P}_{ПР} = P^{C}_{ПР} = P^{CC}_{ПР} = \sum_{i=0}^{\frac{\lambda+1}{2}} C^{i}_{\lambda} P^{i}_{ош1} (1 - P_{ош1})^{\lambda-i}, \qquad (6)$$

$$P^{P}_{НР} = P^{C}_{НП} = P^{CC}_{НП} = \sum_{i=\frac{\lambda+1}{2}}^{\lambda} C^{i}_{\lambda} P^{i}_{ош1} (1 - P_{ош1})^{\lambda-i}. \qquad (7)$$

Вариантом к работе задаются: число разрядов m информационной комбинации, вероятность ошибки $P_{ош1}$ в прямом канале, вероятность ошибки $P_{ош2}$ в обратном канале. Расчет помехоустойчивости сопровождается выбором длины λ служебных сигналов, обеспечивающих заданное вариантом соотношение γ между вероятностью искажения информации, вызванного ошибочным выявлением служебных сигналов, и вероятностью выдачи сообщений с ошибками:

$$P_{вып} + P_{вст} \le \gamma P_{л}. \qquad (8)$$

Рекомендуется следующая методика расчета. На основании формулы (I) рассчитывается вероятность $P^{*}_{л}$ при условии, что служебные сигналы принимаются без ошибок:

$$P^{*}_{л} = \frac{P_{НО}}{1 - P_{ОО}}.$$

Так как согласно соотношениям (6) и (7) служебные сигналы искажаются с равными вероятностями, то расчетные соотношения (2) и (3)
принимают следующий вид:

$$P_{вып} = \frac{(P_{ПП} + P_{НО}) P^{CC}_{НП}}{1 - P_{ОО} (1 - P^{CC}_{НП})}; \qquad (9)$$

$$P_{вст} = \frac{P_{оо}\, P^{сс}_{нп}}{1 - P_{оо}\,(1 - P^{сс}_{нп})}. \qquad (10)$$

В формулах (9) и (10) учтено, что $P^{сс}_{пр} = 1 - P^{сс}_{нп}$. С учетом соотношений (9) и (10) неравенство (8) может быть записано как

$$\frac{(1 - P_{оо})P^{сс}_{нп}}{[1 - P_{оо}\,(1 - P^{сс}_{нп})]^2} \le \gamma P^{*}_{л}. \qquad (11)$$

Решение неравенства (11) дает допустимое значение вероятности неправильного приема служебного сигнала:

$$P^{сс}_{нпд} \le \frac{\gamma P^{*}_{л}(1 - P_{оо})}{1 - 2\gamma P^{*}_{л} P_{оо}}.$$

На основании формулы (7) выбирается минимальное значение длины кода n, обеспечивающее $P^{сс}_{нп} \le P^{сс}_{нпд}$.

После выбора величины n производится окончательный расчет помехоустойчивости системы согласно формулам (1 – 5) и быстродействию системы. Проверяется, достигнуто ли заданное значение γ.

Быстродействие системы оценивается временем доставки получателю информационного сообщения, т. е. временем, исчисляемым от момента выдачи сообщения источником до момента регистрации его получателем. Среднее время доставки одного сообщения оценивается соотношением

$$\bar{\tau}_{д} = \bar{a}\,\tau_{ц},$$

где $\bar{a}$ - среднее число передач сообщения до принятия окончательного решения; $\tau_{ц}$ - время однократного прохождения сообщения по системе.

Если время распространения сигналов по каналам связи и время анализа принятых сигналов меньше длительности самых сигналов, то для режима ИОС

$$\tau_{ц} = (m + n)\tau_{п} + m\tau_{о},$$

где $\tau_{п}$ и $\tau_{о}$ - длительности двоичных посылок в прямом и обратном каналах соответственно.

Среднее число передач до выявления сообщений в системе с неограниченным числом повторений

$$\bar{a} = \frac{1}{1 - P_{оо}}.$$

4. 2. Методика проведения работы

1. Ознакомиться с принципами управления функционированием имитационных моделей ІОСІ и ІОС2.

2. Запустить программу имитационной модели ІОСІ и провести передачу по системе 5 произвольных сообщений.

Запись исхода передачи информационной комбинации оформить в виде табл.1, в которой приведен возможный пример.

Таблица 1

Результаты работы модели ІОСІ

№ С	ИКИ	П из Н	ИКвН	КвОК	СС	ПСС	ИП
I	I0II000I	- I0II000I	I0II000I I0III00I	IIII000I I0II000I	000 III	I00 III	ПП ВсО
2	IIIIIII	IIIIIII	IIIIIII	IIIIIII	III	00I	Вып
3	0000I000	-	I000I000	I000I000	000	I0I	ВсО и ПП.
		0000I000	0000I000	0000I000	III	I0I	ВбО

В табл.1 приняты следующие сокращения: № С - номер сообщения; ИКИ - информационная комбинация источника; П из Н - передача из накопителя; ИКвН - информационная комбинация в накопителе; КвОК - квитанция на выходе обратного канала; СС - служебный сигнал; ПСС - принимаемый служебный сигнал; ИП - исход передачи; ПП - повторная передача; Вып - выпадение; ВсО - выдача с ошибкой; ВбО - выдача без ошибок.

После окончания моделирования необходимо посчитать число имевших место исходов: выдачи правильных сообщений, выдачи сообщений с ошибками, выпадений, вставок, число повторных передач.

3. Запустить программу имитационной модели ІОС2 и провести моделирование с заданными вариантом параметрами.

На основании результатов моделирования оценить частоту событий: правильного приема, приёма с ошибками, выпадения, вставок сообщений без ошибок и с ошибками. Оценка производится отношением числа указанных событий к числу сообщений, выданных источником. Среднее число передач одного сообщения

по системе определяется отношением числа передач по прямому каналу к числу сообщений, выданных источником.

Результаты моделирования следует сравнить с результатами аналитического расчета при домашней подготовке и сделать выводы.

Количество испытаний N (число передаваемых источником сообщений), необходимых для получения в результате статистического моделирования оценки P^* с точностью ε и достоверностью α, определяется формулой

$$N \geq t_\alpha^2 \frac{P^*(1-P^*)}{\varepsilon^2},$$

где величина t_α определяется задаваемым значением достоверности. Значения t_α в зависимости от α представлены в табл.2.

Таблица 2

Значения t_α

α	0.998	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
t_α	3.09	2.57	2.32	2.17	2.05	I.96

Количество испытаний определяется для наименьшего значения вероятностей ошибочных ситуаций, рассчитанных при домашней подготовке.

Значение достоверности задается индивидуальным вариантом, величину точности следует выбрать, исходя из приемлемого объема моделирования (от $\varepsilon = 0.1p^*$ до $\varepsilon = p^*$).

4.3. Требования к отчету по лабораторной работе

Отчет выполняется как при домашней подготовке, так и в процессе выполнения работы и должен содержать:

- номер и данные варианта работы, сведенные в таблицу (см. табл.3);
- расчет помехоустойчивости и обоснование выбора служебных сигналов;
- таблицу, иллюстрирующую работу системы (см. табл.1) согласно имитационной модели IOCI, и анализ результатов моделирования;

- расчетное обоснование выбора количества реализаций N моделирования на модели IOC2;
- результаты испытаний на имитационной модели IOC2, обработку результатов моделирования, сравнение с аналитическим расчетом;
- аналитические выводы по проделанной работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

I. Какая обратная связь в системах передачи информации называется информационной?

2. Что такое ретрансляционная информационная обратная связь?

3. Какие служебные сигналы используются в системах с ИОС, какие функции эти сигналы выполняют? Укажите возможные способы формирования и передачи этих сигналов.

4. Поясните алгоритм работы системы с ИОС, представленной на рис. 2.

5. Возможен ли прием ложного сообщения в системе с ИОС? Поясните свои соображения по этому поводу.

6. Какие искажения вызывает ошибочный прием служебных сигналов?

7. Объясните расчет вероятностей выдачи ложного сообщения, вставки и выпадения.

8. Поясните разницу в алгоритмах работы системы с ожиданием решения и непрерывной передачей информации.

9. Как рассчитывается текущая скорость передачи информации в системах с обратной связью?

6. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

В табл.3 приведены варианты выполнения лабораторной работы. Номер варианта задается преподавателем.

В табл.3 приняты следующие сокращения: ЧР - число разрядов в информационной комбинации; ПК - прямой канал; ОК - обратный канал; Д - достоверность

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварцман В. О., Емельянов Г. А. Теория передачи дискретной информации. – М.: Связь, 1979. – 424с.
2. Элементы теории передачи дискретной информации/ Под ред. Л. П. Прутова. – М.: Связь, 1972. – 232с.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 356с.

Таблица 3

Варианты заданий

№	ЧР	Вероятность ошибки		γ	Д
		ПК	ОК		
1	8	0,1	0,05	0,5	0,95
2	9	0,08	0,06	0,5	0,99
3	6	0,1	0,1	0,5	0,98
4	8	0,08	0,08	0,5	0,97
5	6	0,08	0,05	0,5	0,95
6	7	0,08	0,08	0,5	0,96
7	8	0,08	0,04	0,5	0,96
8	5	0,08	0,08	0,5	0,96
9	9	0,09	0,05	0,5	0,97
10	6	0,09	0,09	0,5	0,97
11	7	0,1	0,05	0,5	0,97
12	8	0,05	0,05	0,5	0,98
13	9	0,05	0,05	0,5	0,98
14	5	0,05	0,05	0,5	0,99
15	8	0,09	0,09	0,5	0,95
16	8	0,06	0,06	1,0	0,95
17	9	0,1	0,08	0,75	0,95
18	6	0,1	0,1	1,0	0,99
19	8	0,1	0,1	0,75	0,99
20	6	0,08	0,08	1,0	0,98
21	7	0,1	0,1	1,0	0,98
22	8	0,07	0,07	0,75	0,97
23	5	0,09	0,07	0,75	0,97
24	9	0,08	0,08	1,0	0,96
25	6	0,05	0,05	0,75	0,96
26	8	0,05	0,05	1,0	0,96
27	9	0,05	0,04	0,75	0,95
28	8	0,08	0,08	1,0	0,95
29	9	0,05	0,05	0,75	0,95
30	8	0,1	0,1	1,0	0,99
31	5	0,05	0,05	1,0	0,98
32	9	0,05	0,05	1,0	0,96