

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Владимирский государственный университет

Кафедра информационных систем и информационного менеджмента

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ И РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Методические указания к лабораторным работам

Составители:
Д.И. ЛЕВКОВСКИЙ
Р.И. МАКАРОВ

Владимир 2010

УДК 519.711.2+519.812

ББК 32.988-5

С34

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
кафедры вычислительной техники
Владимирского государственного университета

И.Р. Дубов

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

С34 **Системный** подход к исследованию и разработке информационных систем : метод. указания к лаб. работам / Владим. гос. ун-т; сост.: Д.И. Левковский, Р.И. Макаров. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 56 с.

Системный подход и общесистемные закономерности позволяют анализировать, понимать основные процессы, происходящие в сложных системах, и использовать научный подход к решению управленческих задач в сложных системах различных классов и природы. Информационный подход в научном познании можно рассматривать как развитие системного подхода, органически дополняющего его, создавая при этом новые возможности для исследования разнообразных явлений в природе и обществе.

Предназначены для специализированной подготовки магистров по направлению 230200 – Информационные системы по программе 230218 – Анализ и синтез информационных систем.

Ил. 15. Библиогр. : 5 назв.

УДК 519.711.2+519.812

ББК 32.988-5

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания содержат лабораторные работы по курсу "Системный подход к исследованию и разработке информационных систем" с целью подготовить студентов по темам: «Расчетное определение структурных характеристик сложных систем», «Графовое моделирование сложных процессов», «Свободное и вынужденное движение системы. Формула Коши», «Моделирование потоков событий. Исследование характеристик случайного доступа к мультимедиа на имитационной модели локальной сети связи».

Готовясь к лабораторным работам, магистрант должен прочесть рекомендованную литературу и конспект лекций, самостоятельно проверить, как он усвоил вопросы той темы, по которой будет выполнять работу.

Методические указания значительно упростят процесс изучения материала, так как в них систематизированы темы разделов, которыми необходимо пользоваться. В конце каждой темы приведены контрольные вопросы.

Перед выполнением каждой лабораторной работы требуется внимательно изучить приведенные общие сведения к работе.

Лабораторная работа 1

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

1. Цель работы

Получить навыки определения структурных характеристик сложных систем на примере анализа систем производственного менеджмента промышленного предприятия.

2. Общие сведения

Для современного предприятия наличие интегрированной системы управления является основой обеспечения стабильности его функционирования, так как она позволяет вырабатывать конкурентоспособную продукцию высокого качества при минимальном негативном воздействии производства на окружающую природную среду. В качестве примера рассмотрим систему управления охраной окружающей среды (СУООС), которая позволяет уменьшить экологический, информационный и коммерческий риски загрязнения компонентов окружающей среды, связанные с принимаемыми управленческими решениями. Практика показывает, что предупреждение является экономически более выгодным, чем ликвидация негативных экологических последствий, влекущих за собой штрафные санкции и административную ответственность.

Для моделирования СУООС выбрана методология *IDEF0*, так как модели *IDEF0* наглядны и просты для понимания, и в то же время они формализуют представление о деятельности производства, помогая находить общий язык между разработчиками систем управления и будущими пользователями этого описания.

Место и связи СУООС с окружающей средой отображены на контекстной диаграмме верхнего уровня А-0 (рис. 1.1).

На диаграмме А0 (рис. 1.2) приведена декомпозиция контекстной диаграммы. На ней отражены основные процессы СУООС: А1 – осуществлять менеджмент ресурсов, А2 – реализовывать ответственность руководства, А3 – управлять документацией, А4 – реализовывать процессы ЖЦ продукции, А5 – измерять, анализировать, улучшать.

Можно описать СУООС, приведенную на рис. 1.2, ориентированным графом

$$G = (X, U).$$

Формально связи (парные отношения) U между процессами X можно отобразить в виде квадратной бинарной матрицы, проиндексированной по обеим осям множеством процессов $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, где k – число процессов (вершин графа):

$$\Gamma = \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \\ \dots \\ x_k \end{array} \begin{array}{c} x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_j \quad \dots \quad x_k \\ \\ \\ u_{ij} \\ \\ \\ \end{array}$$

где дуга $u_{ij} = 1$, если между процессами x_i и x_j связь существует и направлена от x_i процесса к x_j , в противном случае – равна 0; $i, j = 1, 2, \dots, k$, $i \neq j$.

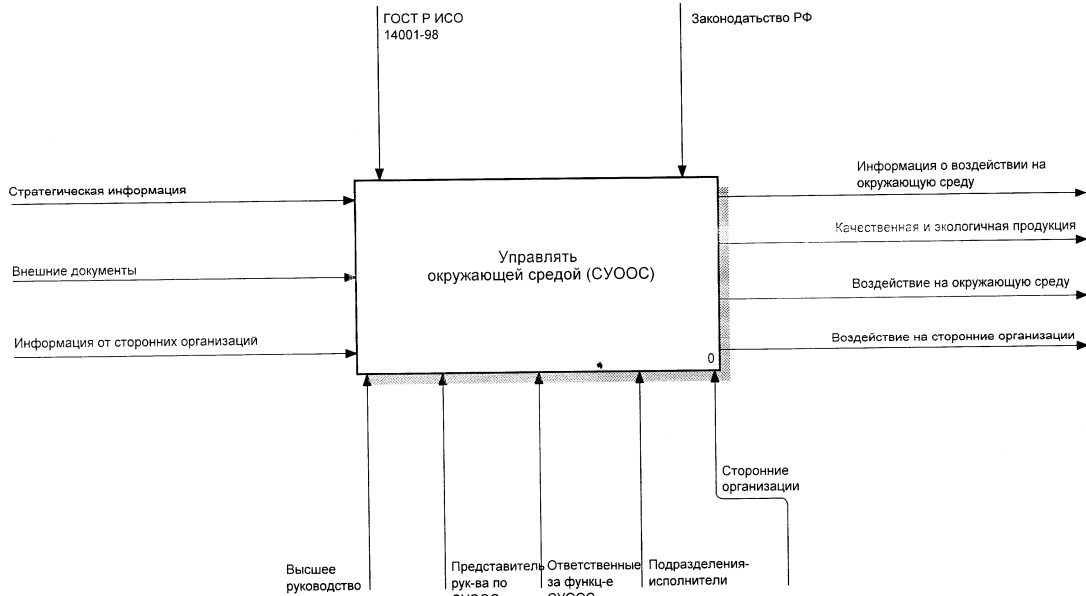


Рис. 1.1. A-0 диаграмма верхнего уровня СУОС

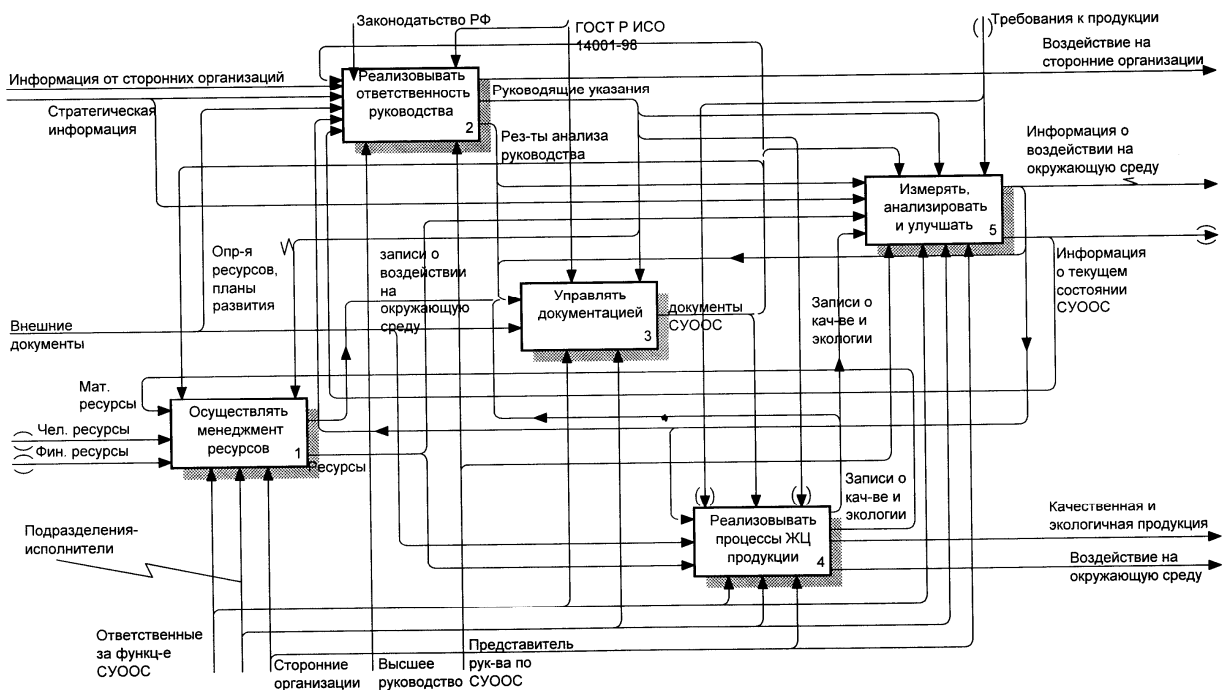


Рис. 1.2. A0. Управлять охраной окружающей среды

Связи между процессами будем устанавливать по выходным-входным данным и выходным данным-управления, которые могут быть информационными и ресурсными (материальные, энергетические, человеческие, финансовые и др.).

Дугам могут приписываться «веса», если между процессами будут связи разного содержания, например, с внешней среды в процесс 2 – «Реализовать ответственность руководства» (см. рис. 1.2) поступают три типа данных с информацией от сторонних организаций, стратегическая информация, внешние документы.

В образовавшиеся ячейки вносим связи процессов системы с внешней средой. В результате получаем матрицу, отображающую макропроцессы СУООС.

Для установления наличия обрывов в структуре и «висящих» процессов проверяем выполнение следующих неравенств:

$$\sum_{i=0}^k u_{ij} \leq 0, \quad j = 0, 1, \dots, k \text{ соответствует обрыву } j\text{-го процесса,} \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=0}^k u_{ij} \leq 0, \quad i = 0, 1, \dots, k \text{ соответствует «висящему» } i\text{-му процессу.}$$

Для оценки взаимодействия процессов и проверки наличия контуров в СУООС матрица Γ возводится в степень $\zeta = 2, 3$. Матрица $(\Gamma)^\zeta$ имеет не нулевые элементы на главной диагонали.

Анализ матрицы позволяет определить длины путей между процессами.

Элементы, стоящие на главной диагонали u_{ii} , определяют число контуров длины 2 и 3, связанных с процессом x_i . Выявленные контуры показывают наличие обратных связей в системе.

Для ориентированного графа связность всех $(k + 1)$ элементов соответствует выполнению условия

$$\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k u_{ji} \geq (k + 1) - 1, \quad i \neq j; \quad (1.2)$$

$$\sum_{i=0}^{21} \sum_{j=0}^{21} u_{ji} = 215 > 21.$$

Превышение общего числа связей между процессами над минимально необходимым $((k + 1) - 1)$ характеризует структурную избыточность, которая вычисляется по формуле

$$R = \left(\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k u_{ji} \right) \frac{1}{(k + 1) - 1} - 1, \quad i \neq j. \quad (1.3)$$

Связность структуры системы характеризуется структурной избыточностью (1.3), расчетное значение которой равно $R = 9$. Полученный результат характеризует систему как надежную.

Неравномерность распределения связей между процессами характеризуется квадратическим отклонением фактического распределения данных ρ_i по процессам от равномерного $\rho_{\text{ср}}$:

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^k (\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2, \quad \text{где } \rho_{\text{ср}} = \frac{l}{k+1}, \quad (1.4)$$

где ρ_i – количество данных, связанных с i -м процессом (суммарное количество входящих и выходящих данных из процесса); $\rho_{\text{ср}}$ – среднее количество данных, связанных с процессами; l – общее количество данных, связанных с процессами.

Показатель $\sigma^2 > 0$ характеризует неравномерность распределения данных в системе. Полученные значения ρ_i позволяют ранжировать процессы по степени убывания связи с другими процессами в системе. Наиболее сильную связь имеют процессы 3 – «Управлять документацией». Качество функционирования этих процессов влияет на эффективность работы СУООС. Эта информация может использоваться при распределении ресурсов для достижения целей при разработке системы.

Структурная компактность системы Q отражает близость процессов в системе, которая оценивается через минимальную длину пути. Общая структурная близость процессов в системе рассчитывается по формуле

$$Q = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k dij = 727, \quad i \neq j. \quad (1.5)$$

Для количественной оценки структурной компактности системы используем относительный показатель $Q_{\text{отн}}$, который рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{min}}} - 1, \quad \text{где } Q_{\text{min}} = (k+1)k \quad (1.6)$$

Полученные данные свидетельствуют о компактности структуры разработанной СУООС.

Для количественной оценки степени централизации процессов в структуре системы используется понятие индекса центральности, который рассчитывается по следующей формуле:

$$\delta = (k(2Z_{\max} - (k + 1)) \frac{1}{Z_{\max} ((k + 1) - 2)}), \quad (1.7)$$

Z_{\max} – максимальное значение величины Z_i ,

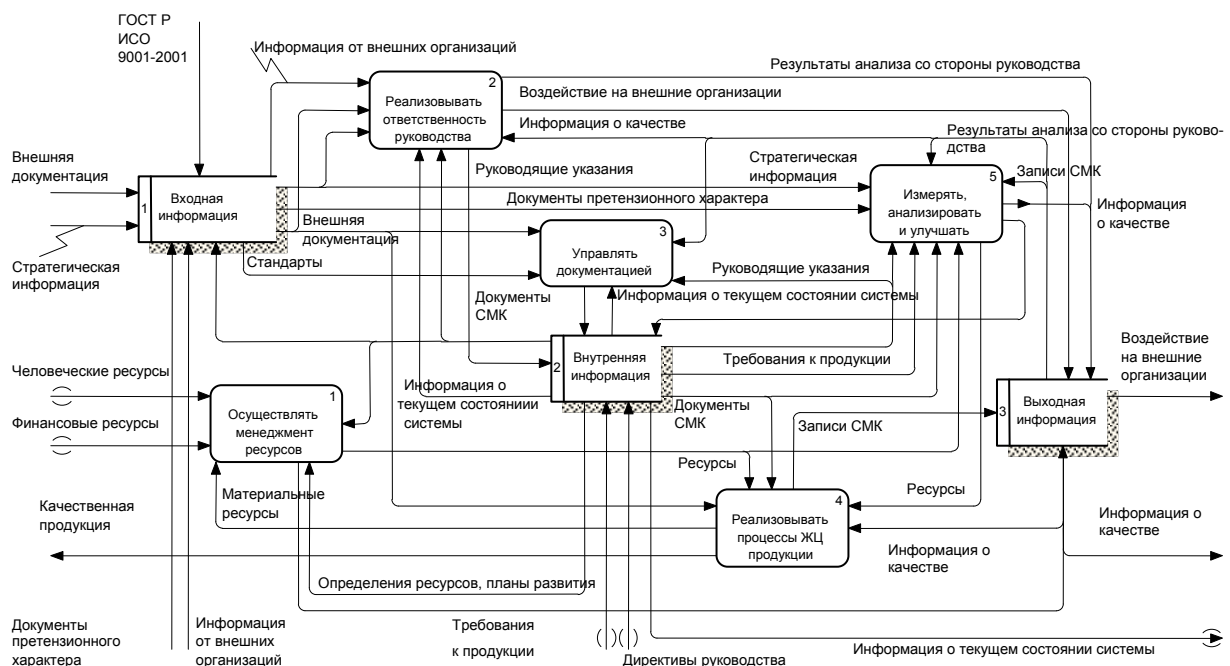
$$Z_i = \frac{Q}{2} \left(\sum_{j=0}^k d_{ij} \right)^{-1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, k, i \neq j.$$

Степень централизации процессов в структуре системы, оцениваемая с помощью индекса центральности (1.7), указывает на степень централизации процессов и использование в системе децентрализованных принципов управления [1].

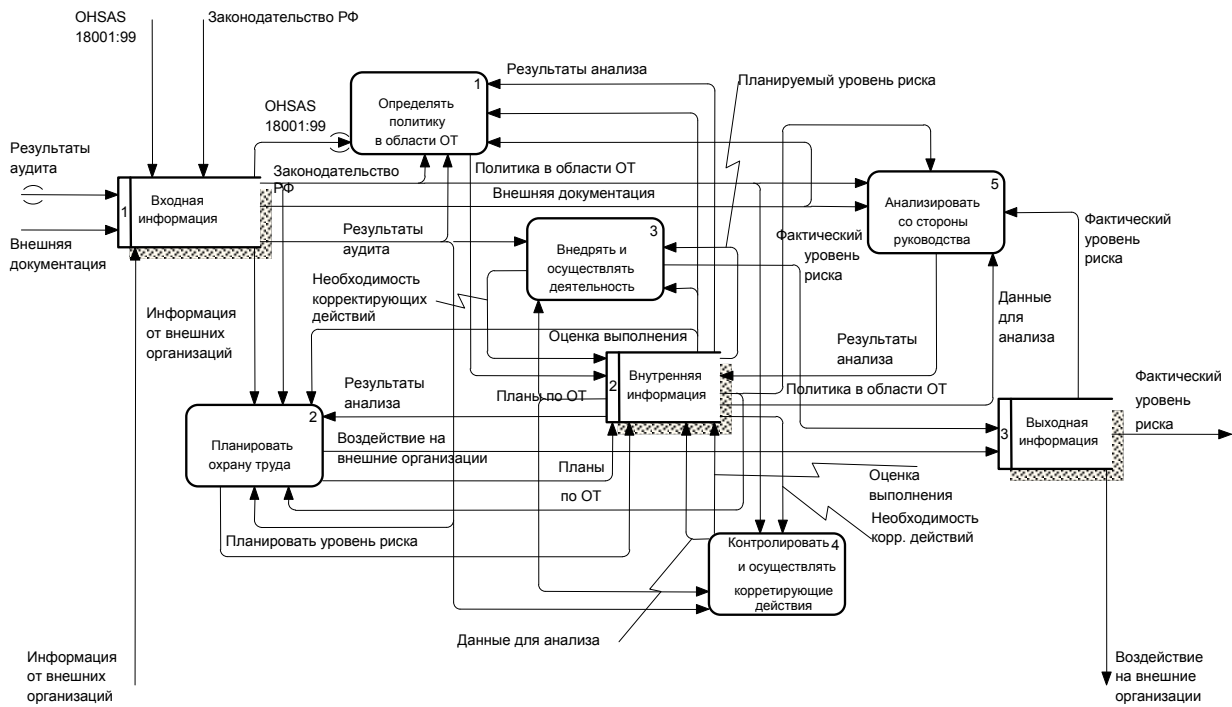
3. Задания к лабораторной работе

Построить контекстную диаграмму анализируемой системы управления. Провести декомпозицию контекстной диаграммы, построить функциональную (процессную) модель системы управления. По описанной выше методике рассчитать основные характеристики анализируемой системы.

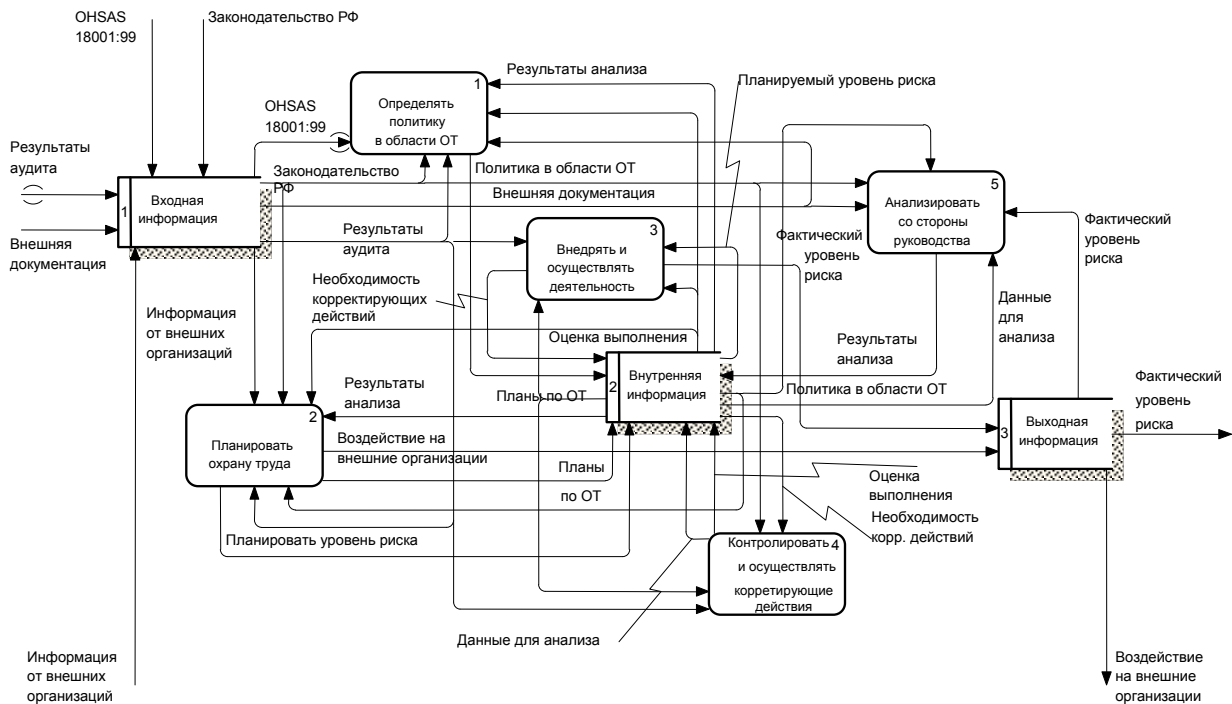
Вариант 1. Система управления качеством продукции



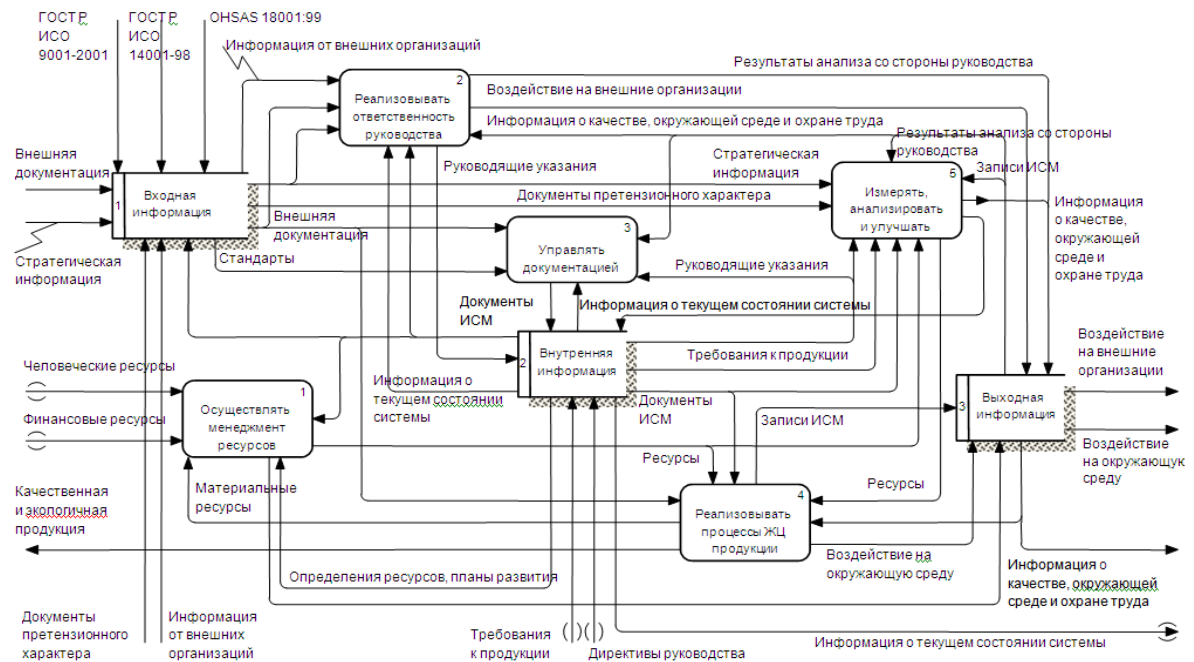
Вариант 2. Система управления охраной окружающей среды



Вариант 3. Система управления профессиональной безопасностью и охраной труда



Вариант 4. Интегрированная система управления предприятием



4. Порядок выполнения лабораторной работы

- 4.1. Подготовиться к лабораторным занятиям, изучив лекционный материал.
- 4.2. Получить индивидуальное задание от преподавателя.
- 4.3. Построить модель системы по индивидуальному заданию.
- 4.4. Провести расчеты структурных характеристик системы, используя программу *EXCEL* или аналог.
- 4.4. Проанализировать полученные результаты.

5. Содержание отчета

- 5.1. Назначение и цель работы.
- 5.2. Содержание индивидуального задания.
- 5.3. Результат выполнения лабораторной работы.
- 5.4. Выводы по работе

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Каким образом можно установить наличие обрывов в структуре и «висящие» процессы?
- 6.2. Что позволяет определить длины путей между процессами?
- 6.3. Что характеризует показатель $\sigma^2 > 0$?
- 6.4. Что такое компактность структуры и как ее найти?

Лабораторная работа 2

ГРАФОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

1. Цель работы

Ознакомить студентов с основными средствами языка *MATHCAD* для моделирования с помощью графов сложных процессов. Получить навыки моделирования сложных систем с помощью графов.

2. Общие сведения

Рассмотрим возможность построения графика, выражающего зависимость матрицы от матрицы [2, 3].

С помощью функций *DrawG()* можно сформировать две матрицы.

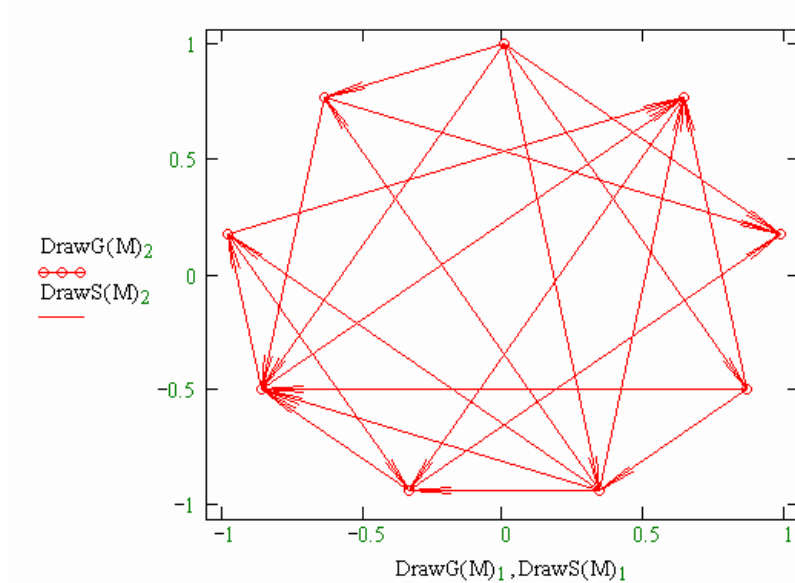
В одной матрице будут записаны координаты начала и конца ребер графа по оси ординат, а в другой – координаты начала и конца ребер графа по оси абсцисс. С помощью функции *DrawS()* можно сформировать две матрицы, содержащие координаты стрелочек. Используя четыре матрицы, можно построить искомый граф. Вершины графа будут обозначены кружочками, а ребра – прямыми. Причем вершины графа будут располагаться по окружности и по порядку (вершина с номером 1 будет находиться посередине графика в его наивысшей, смотря по оси *Y*, точке). Программа предназначена для работы с графами, не содержащими петель и заданными матрицей смежности.

Matrix () – эта функция используется для генерации произвольного ориентированного графа, не содержащего петель, заданного матрицей смежности. Входными данными для функции является количество вершин генерируемого графа.

```
ORIGIN := 1
OrGraph(n) := | for i ∈ 1..n-1
                | for j ∈ i+1..n
                |   xi,j ← if[(rnd(1) - 0.5) > 0, 1, 0]
                |   Mi,j ← if[(rnd(1) - 0.5) > 0, -xi,j, xi,j]
                |   Mj,i ← -Mi,j
                | M
```

Функция *DrawG()* формирует две матрицы, каждая из которых содержит *n* столбцов (где *n* – количество ребер) и две строки. Элементы,

находящиеся в одноименных столбцах, являются координатами двух смежных вершин (в одной матрице содержатся x -координаты, а в другой – y -координаты). Входными данными для функции является матрица смежности. На рисунке представлен результат листинга.



Граф – результат работы программы

```

DrawG(M) :=
  n ← cols(M)
  k ← 1
  for i ∈ 1..n
    / формируем два вектора, один содержит
    /  $x$ -координаты всех вершин, а другой
    /  $y$ -координаты. Это легко сделать, если все
    / вершины расположить по кругу.
     $Cx_i \leftarrow \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1}{n}\right)$ 
     $Cy_i \leftarrow \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1}{n}\right)$ 
    for i ∈ 1..n
      / если вершина изолированная,
      / то координаты начала ребра и его конца
      / должны совпадать.
      if  $\neg \max(M^{(i)})$ 
         $X_{1,k} \leftarrow Cx_i$ 
         $X_{2,k} \leftarrow X_{1,k}$ 
         $Y_{1,k} \leftarrow Cy_i$ 
         $Y_{2,k} \leftarrow Y_{1,k}$ 
         $Num_{1,k} \leftarrow i$ 
         $Num_{2,k} \leftarrow i$ 
         $k \leftarrow k + 1$ 

```

```

for j ∈ 1..n
  if Mi,j
    X1,k ← Cxi
    X2,k ← Cxj
    Y1,k ← Cyi
    Y2,k ← Cyj
    Num1,k ← i
    Num2,k ← j
    k ← k + 1

```

/ если вершина i соединена с вершиной j , записываем их координаты по оси OX в матрицу X , а координаты по оси OY – в матрицу Y .

/ матрица Num в одноименных столбцах содержит номера соединенных вершин. Она понадобится в функции $DrawS()$.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Num \end{pmatrix}$$

Функция $DrawS()$ формирует две матрицы, которые содержат координаты стрелочек, с их помощью выделяется направление дуги в ориентированном графе.

Для реализации задачи в данной функции используется сдвиг начала координат и поворот системы координат на некоторый угол.

```

DrawS(M) :=
  dl ← 0.153
  α ← 5
  k ← 1
  X ← DrawG(M)1
  Y ← DrawG(M)2
  Num ← DrawG(M)3
  n ← cols(X)
  for x ∈ 1..n
    ugo11,x ← atan( $\frac{Y_{1,x} - Y_{2,x}}{X_{1,x} - X_{2,x}}$ )
    for x ∈ 1..n
      continue if Num1,x = Num2,x
      p ← 0
      p ← 2 if M(Num2,x, Num1,x) < 0
      p ← 1 if M(Num1,x, Num2,x) < 0

```

/ находим углы наклона дуг и записываем их в вектор.

/ если вершина изолирована, идем дальше.

/ узнаем, из какой вершины выходит дуга (точнее, где содержится номер этой вершины – в первой или во второй строке матрицы). Если же ребро не имеет выделенного направления, идем дальше.

```

if ¬p
  k ← k + 1
  continue
p1 ← -1
p1 ← 1 if X2,x > Xp,x ∨ X1,x > Xp,x
for h ∈ 1..2
  A1,k ← Xp,x
  B1,k ← Yp,x
  a ← p1 · dl · cos( $\frac{\alpha}{57.3}$ )
  b ← dl · sin( $\frac{\alpha}{57.3}$ ) · (-1)h
  A2,k ← a · cos(ugol1,x) - b · sin(ugol1,x) + Xp,x / смещаем центр
  B2,k ← a · sin(ugol1,x) + b · cos(ugol1,x) + Yp,x координат в вер-
  k ← k + 1 шину и поворачи-
  / смещаем центр координат в вершину и поворачиваем на угол наклона дуги.
  (A)
  (B)

```

M := OrGraph(9).

Рассмотрим некоторые особенности работы с графами в системе *MATHCAD*.

Генерация матрицы смежности $M(G)$ неориентированного помеченного графа G размерами $m \times m$.

```

m := 6
ORIGIN := 1
j := 1,2.. m
i := 1,2.. m
xi,j := rnd(3)
ai,j := if(xi,j > 1.5, 1, 0)
Mi,j := if(i > j, ai,j, 0)
Mj,i := Mi,j
G := M.

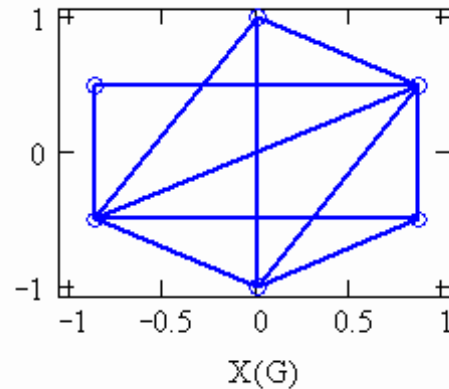
```

Программы визуализации неориентированного графа.

$X(G) := \begin{array}{l} n \leftarrow \text{cols}(G) \\ k \leftarrow 1 \\ \text{for } i \in 1..m \\ \quad Vx_i \leftarrow \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1}{m}\right) \\ \text{for } i \in 1..m \\ \quad \left \begin{array}{l} \text{if } \max(G^{(i)}) = 0 \\ \quad \left \begin{array}{l} X_{1,k} \leftarrow Vx_i \\ X_{2,k} \leftarrow X_{1,k} \\ k \leftarrow k+1 \end{array} \right. \\ \quad \text{for } j \in i..m \\ \quad \quad \text{if } G_{i,j} = 1 \\ \quad \quad \quad \left \begin{array}{l} X_{1,k} \leftarrow Vx_i \\ X_{2,k} \leftarrow Vx_j \\ k \leftarrow k+1 \end{array} \right. \end{array} \right. \\ X \end{array}$	$Y(G) := \begin{array}{l} n \leftarrow \text{cols}(G) \\ k \leftarrow 1 \\ \text{for } i \in 1..m \\ \quad Vy_i \leftarrow \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1}{m}\right) \\ \text{for } i \in 1..m \\ \quad \left \begin{array}{l} \text{if } \max(G^{(i)}) = 0 \\ \quad \left \begin{array}{l} Y_{1,k} \leftarrow Vy_i \\ Y_{2,k} \leftarrow Y_{1,k} \\ k \leftarrow k+1 \end{array} \right. \\ \quad \text{for } j \in i..m \\ \quad \quad \text{if } G_{i,j} = 1 \\ \quad \quad \quad \left \begin{array}{l} Y_{1,k} \leftarrow Vy_i \\ Y_{2,k} \leftarrow Vy_j \\ k \leftarrow k+1 \end{array} \right. \end{array} \right. \\ Y \end{array}$
--	--

$$G = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Y(G)



Нумерация вершин графа на рисунке соответствует направлению движения часовой стрелки.

Определение остова неориентированного графа G

Подпрограмма задания начального значения вектора вершин графа V .

$$A(m) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..m \\ \quad C_{1,i} \leftarrow 0 \\ C \qquad \qquad V := A(m) \end{array} \right.$$

Подпрограмма подсчета эксцентриситета вершины графа G .

$$\text{Exc}(G, V) := \left| \begin{array}{l} k \leftarrow 0 \\ q \leftarrow 0 \\ \text{while } k < m \\ \quad k \leftarrow k + 1 \\ \quad A \leftarrow G^k \\ \quad B \leftarrow V \cdot A \\ \quad K \leftarrow B^T \\ \quad r \leftarrow 0 \\ \quad \text{for } i \in 1, 2..m \\ \quad \quad S_i \leftarrow \text{if}(K_i > 0, 1, 0) \\ \quad \quad r \leftarrow r + S_i \\ \quad \quad q \leftarrow k \text{ if } r = m \\ \quad \text{break if } q \neq 0 \\ q \end{array} \right.$$

Подпрограмма вывода вектора эксцентриситетов вершин графа G .

$$R(G, V) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1, 2..m \\ \quad G_{i,i} \leftarrow 1 \\ \quad V_{1,i} \leftarrow 1 \\ \quad E_i \leftarrow \text{Exc}(G, V) \\ \quad G_{i,i} \leftarrow 0 \\ \quad V_{1,i} \leftarrow 0 \\ E \end{array} \right.$$

$$R(G, V) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Подпрограмма нахождения остова и хорд графа G :

```

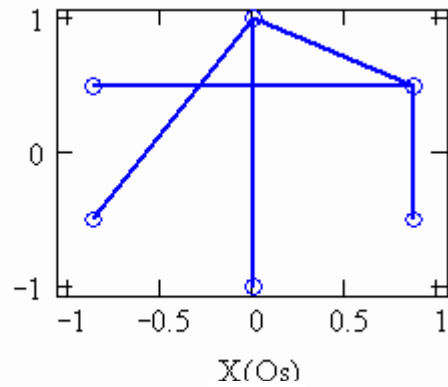
Ost(G) :- E ← R(G, V)
for k ∈ 1, 2.. m
  | V1k ← 1
  | V2k ← 0
  | V3k ← 1
  | Os ← G
  | Os ← 0
S ← 0
while S < m
  | d ← m - 1
  | for i ∈ 1, 2.. m - 1
  | | if (V1i > 0) ∧ (Ei < d)
  | | | d ← Ei
  | | | q ← i
  | | q
  | | V2q ← 1
  | | V3q ← 0
  | | for j ∈ 1, 2.. m
  | | | if (Gq,j > 0) ∧ (V2j < 1)
  | | | | Osq,j ← 1
  | | | | Osj,q ← 1
  | | | | V2j ← 1
  | | | Os
  | | Ss ← 0
  | | for k ∈ 1, 2.. m
  | | | V1k ← V2k · V3k
  | | | Ss ← Ss + V2k
  | | S ← Ss
  | | Os
g ← 1
for i ∈ 1, 2.. m - 1
  | for j ∈ i + 1.. m
  | | if Gi,j > Osi,j
  | | | H1,g ← i
  | | | H2,g ← j
  | | | g ← g + 1
  | | g
  | g
  | ( Os )
  | ( H )

```

Остов графа G :

$Os := Ost(G)_1$

$$Os = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Хорды графа G :

$Hr := Ost(G)_2$

$$Hr = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 3 & 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 4 & 5 & 5 & 6 \end{pmatrix}$$

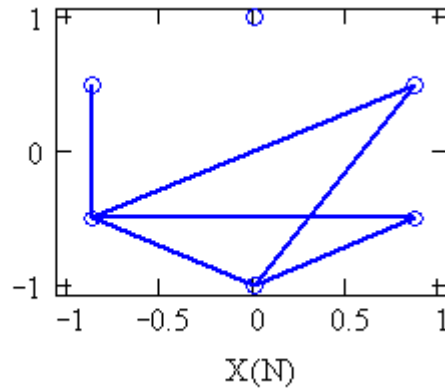
Столбец матрицы Hr соответствует вершинам, которые инцидентны хорде.

$$N_{i,j} := Os_{i,j} \oplus G_{i,j}$$

N – матрица хорд.

$$N = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Y(N)



Нахождение базисных циклов графа G

O_s – матрица смежности остова графа G ; H_r – матрица хорд; n – число базисных циклов; d – количество ребер; i – количество вершин в графе G .

$$d := \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{G_{i,j}}{2}$$

$$n := d - m + 1$$

$$n = 6$$

Подпрограмма вывода матрицы инцидентности.

```

Mi(Y) :=
  for i ∈ 1..m
    for j ∈ 1..m
      Yj,i ← 0 if Yi,j = 1
  r ← ∑i=1m ∑j=1m Yi,j
  t ← 1
  while t < r + 1
    for j ∈ 1..m
      l ← 1
      l ← l + 1 if l = j
      while l < m + 1
        if Yj,l = 1
          Hj,t ← 1
          Hl,t ← 1
          t ← t + 1
          l ← l + 1
  H
  
```

Подпрограмма поиска базисных циклов графа G .

Цикломатическая матрица графа G .

$$\text{Baz}(\text{Os}, \text{Hr}) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0

Определение линейно зависимых циклов графа G

n – число базисных (линейно независимых) циклов (см. п. 3).

Формула вычисления количества линейно зависимых циклов

$$2^n - n - 1 = 57.$$

Линейно зависимые циклы получаются путем сложения базисных циклов по модулю 2. Эти циклы здесь не представлены в связи с большим объемом вычислений.

Построение матрицы разрезов графа G

Os - матрица смежности остова графа G ; Hr – матрица хорд; n – число базисных циклов.

$$\text{Os} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{Hr} = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 3 & 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 4 & 5 & 5 & 6 \end{pmatrix} \quad n = 6$$

Подпрограмма вычисления достижимости вершины i остова графа G .

```

Dost( $O_s, V, i$ ) :=
   $V_{1,i} \leftarrow 1$ 
   $O_{s_{1,i}} \leftarrow 1$ 
  for  $n \in 1..m$ 
     $d \leftarrow 1$ 
    while  $d \leq m$ 
       $C \leftarrow O_s^d$ 
       $B \leftarrow V \cdot C$ 
       $K \leftarrow B^T$ 
      if  $K_n > 0$ 
         $S_n \leftarrow 1$ 
        break
       $d \leftarrow d + 1$ 
      if  $d = m$ 
         $d \leftarrow 0$ 
         $S_n \leftarrow 0$ 
        break
  S

```

Подпрограмма вычисления матрицы разрезов графа G .

```

Raz(Os, Hr) :=
  Z ← Os
  d ← ∑i=1m ∑j=1m Osi,j
  f ← d/2
  g ← 1
  for i ∈ 1..m
    j ← i + 1
    while j ≤ m
      if Osi,j = 1
        Rg,g ← 1
        Osj,i ← 0
        Osi,j ← 0
        D ← Dost(Os, V, i)
        c ← 1
        while c < n + 1
          Rg,f+c ← 1 if DHr1,c = 1 ∧ DHr2,c = 0
          Rg,f+c ← 1 if DHr1,c = 0 ∧ DHr2,c = 1
          c ← c + 1
        g ← g + 1
      Os ← Z
      j ← j + 1
  R
  
```

$R(G) := \text{Raz}(Os, Hr)$

Матрица разрезов графа G :

$$R(G) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
2	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
3	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
4	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

3. Задания к лабораторной работе

По заданию преподавателя в системе *MATHCAD* составить программы для моделирования сложной системы по описанной выше методике.

$$\begin{array}{c} \text{Вариант 1} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right| \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{Вариант 2} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right| \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{Вариант 3} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{Вариант 4} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right| \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{Вариант 5} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right| \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{Вариант 6} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right| \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{Вариант 7} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right| \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{Вариант 8} \\ G = \left| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{Вариант 9} \\
 \mathbf{G} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{Вариант 10} \\
 \mathbf{G} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}
 \end{array}$$

4. Порядок выполнения лабораторной работы

- 4.1. Получить от преподавателя индивидуальное задание на выполняемую работу.
- 4.2. Запустить программный комплекс *MATHCAD*.
- 4.3. Разработать по выданному заданию программу.
- 4.4. Смоделировать по разработанной программе граф.

5. Содержание отчета

- 5.1. Назначение и цель работы.
- 5.2. Содержание индивидуального задания.
- 5.3. Программный листинг.
- 5.4. Смоделированный граф.
- 5.5. Выводы по работе.

6. Контрольные задания

- 6.1. Назовите основные команды системы *MATHCAD* для графового моделирования.
- 6.2. Объясните, что такое матрица смежности неориентированного помеченного графа.
- 6.3. Расскажите, каким образом определяется остов неориентированного графа.
- 6.4. Объясните построение базисных циклов графа.
- 6.5. Объясните нахождение линейно зависимых циклов графа.
- 6.6. Объясните построение матрицы разрезов графа.

Лабораторная работа 3

СВОБОДНОЕ И ВЫНУЖДЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ СИСТЕМЫ. ФОРМУЛА КОШИ

1. Цель работы

Ознакомить студентов с основными приемами моделирования колебательных движений системы в программном комплексе *MATH-CAD*. Работа предусматривает построение моделей, а также расчет их параметров.

2. Общие сведения

При исследовании динамических систем рассматривают свободные и вынужденные колебания. В данной работе будут описаны модели с вертикальными колебаниями с двумя степенями свободы, в которых две массы связаны упругими и диссипативными связями (рис. 3.1). Такие модели описывают вертикальные колебания рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием технических средств информационных систем подвижных объектов, магистральных локомотивов (электровозов и тепловозов), пассажирских вагонов и т.п.

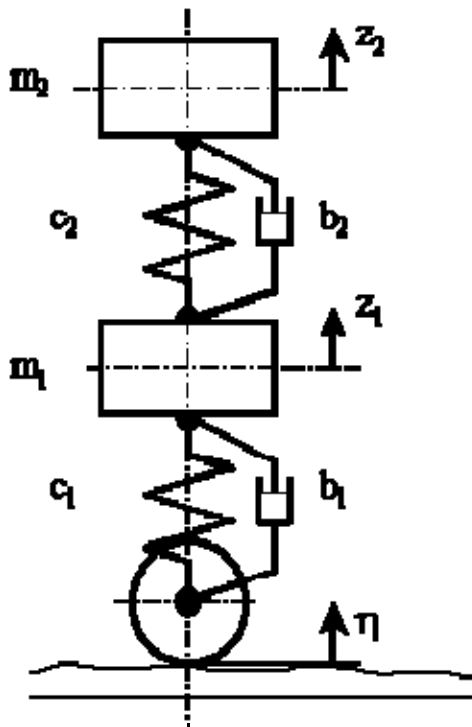


Рис. 3.1. Расчетная схема

Уравнения движения

Уравнения движения рассматриваемой системы описываются следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} m_1 z''_1 + b_1 z'_1 + b_2 (z'_1 - z'_2) + c_1 z_1 + c_2 (z_1 - z_2) &= b_1 \eta' + b_1 \eta; \\ m_2 z''_2 + b_2 (z'_2 - z'_1) + c_2 (z_2 - z_1) &= 0, \end{aligned} \quad (3.1)$$

где m_1 – обрессоренная масса тележки; m_2 – масса кузова, приведенная к одной тележке; c_1, b_1 – жесткость и демпфирование в первом ярусе подвешивания; c_2, b_2 – жесткость и демпфирование во втором ярусе подвешивания; $\eta(t)$ – возмущение со стороны пути; z_i, z'_i, z''_i – обобщенные координаты и их производные по времени: $z'_i = \frac{d}{dt} z_i$,

$$z''_i = \frac{d^2}{dt^2} z_i.$$

Математическая модель свободных колебаний

Рассмотрим свободные колебания системы при заданном начальном отклонении от положения равновесия. Свободные колебания показывают собственные частоты системы и степень ее демпфирования.

Уравнения свободных колебаний получим из (3.1), приравняв правые части уравнений к нулю:

$$\begin{aligned} m_1 z''_1 + b_1 z'_1 + b_2 (z'_1 - z'_2) + c_1 z_1 + c_2 (z_1 - z_2) &= 0; \\ m_2 z''_2 + b_2 (z'_2 - z'_1) + c_2 (z_2 - z_1) &= 0. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Для численного решения системы дифференциальных уравнений приведем исходную систему (3.2) к форме Коши, получим:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} z_1 &= z'_1; \quad \frac{d}{dt} z_2 = z'_2; \\ \frac{d}{dt} z'_1 &= -\frac{1}{m_1} [b_1 z'_1 + b_2 (z'_1 - z'_2) + c_1 z_1 + c_2 (z_1 - z_2)]; \\ \frac{d}{dt} z'_2 &= -\frac{1}{m_2} [b_2 (z'_2 - z'_1) + c_2 (z_2 - z_1)]. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Начальные условия зададим в виде

$$z_1 = z_{10}; \quad z_2 = z_{20}; \quad z'_1 = z_{10}; \quad z'_2 = z_{20}.$$

Решение в системе *MATHCAD* задачи о свободных колебаниях

Решим полученную систему уравнений (3.3) в системе *MATHCAD*.

Заменим обобщенные переменные системы (математические переменные) переменными *MATHCAD* (часто называемые машинными

переменными), учитывая, что индексы в *MATHCAD* изменяются от нулевого значения:

$$x_0 = z_1; \quad x_1 = z_2; \quad x_2 = z'_1; \quad x_3 = z'_2;$$

Для новых переменных уравнения движения в форме Коши имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x_0 &= x_2; & \frac{d}{dt} x_1 &= x_3; \\ \frac{d}{dt} x_3 &= -\frac{1}{m_1} [b_1 x_2 + b_2 (x_2 - x_3) + c_1 x_0 + c_2 (x_0 - x_1)]; \\ \frac{d}{dt} x_4 &= -\frac{1}{m_2} [b_2 (x_3 - x_2) + c_2 (x_1 - x_0)]. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Для решения в пакете *MATHCAD* дифференциальные уравнения в форме Коши (3.4) должны быть записаны в символьную функцию. В приведенной ниже формуле это функция $D(t, x)$, правая часть – вектор, имеющий размерность решаемой системы.

$$D(t, x) := \begin{bmatrix} x_2 \\ x_3 \\ -\frac{1}{m_1} [b_1 x_2 + b_2 (x_2 - x_3) + c_1 x_0 + c_2 (x_0 - x_1)] \\ -\frac{1}{m_2} [b_2 (x_3 - x_2) + c_2 (x_1 - x_0)] \end{bmatrix}$$

Константы, входящие в функцию $D(t, x)$, должны быть определены до их использования. Исходные данные в примере соответствуют экипажу электровоза ВЛ80с.

Для численного решения в пакете *MATHCAD* версии 7.0 *pro* используются функции:

rkfixed – метод Рунге – Кутта с фиксированным шагом,

Rkadapt – адаптивный метод с автоматическим выбором шага.

В пакете *MATHCAD 2000 pro* список функций для численного решения систем дифференциальных уравнений расширен. Особенности этой версии будут рассмотрены ниже.

Рассмотрим построение вычислительной схемы на примере использования метода Рунге – Кутта с фиксированным шагом.

Метод Рунге – Кутта устойчив для решения многих задач динамики и обычно решение многих задач начинают с него. В задачах дина-

мики шаг интегрирования выбирают исходя из наибольшей парциальной частоты в системе. Для контроля точности решения рекомендуют уменьшить шаг интегрирования.

Для нашей задачи выбран интервал интегрирования $t = 0 \dots 2$ (переменные t_0, t_1). Количество точек на интервале $N = 400$. При этом шаг интегрирования $h = 0,005$.

Начальные условия задаются в виде вектора x .

Решение формируется в виде матрицы R , содержащей в столбцах независимую переменную (время), далее – выбранные обобщенные переменные.

Решение системы дифференциальных уравнений $R := \text{rkfixed}(x, t_0, t_1, N, D)$.

Для вывода результатов введены новые переменные (векторы T, Z_1, Z_2, V_1, V_2), которым присвоено значение столбцов матрицы результатов решения.

Результаты представлены в графическом виде:

- перемещения в зависимости от времени (пример на рис. 3.4);
- скорости в зависимости от времени;
- фазовые диаграммы.

Как видно из рис. 3.2, система имеет две собственные частоты колебаний. Колебания с более высокой частотой затухают быстрее (для принятых исходных данных). Особенностью подвешивания железнодорожных экипажей является большое демпфирование.

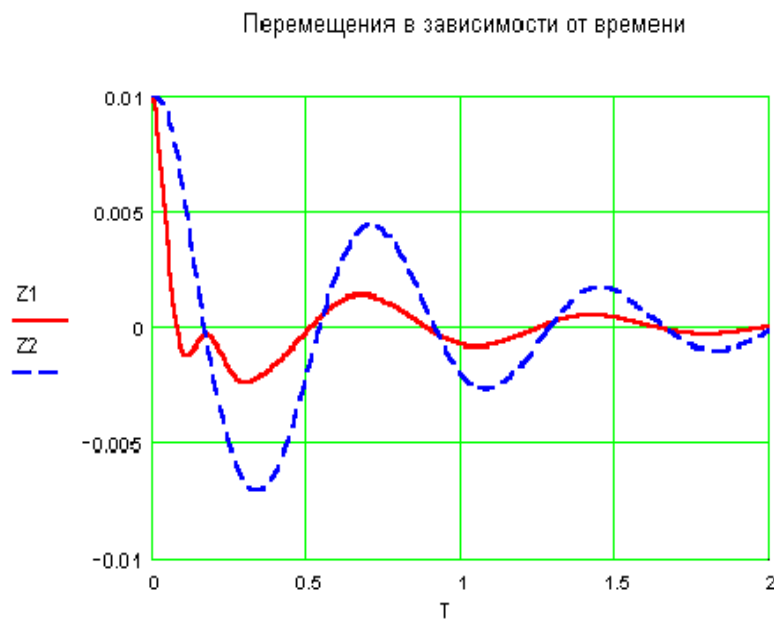


Рис. 3.2. Фрагмент документа MATHCAD

На полученной модели в пакете *MATHCAD* можно исследовать влияние параметров подвешивания на собственные колебания. При изменении исходных данных система пересчитывает связанные с ними формулы.

Реализация в системе *MATHCAD*

Двухмассовая система. Свободные колебания

Исходные данные:

Масса, т

$$m_1 := 8,82 \quad m_2 := 25,823.$$

Жесткость, кН/м

$$c_1 := 7000, \quad c_2 := 2600.$$

Демпфирование, кН·с/м

$$b_1 := 60, \quad b_2 := 125.$$

Система дифференциальных уравнений

$$D(t, x) := \begin{bmatrix} x_2 \\ x_3 \\ -\frac{1}{m_1} [b_1 x_2 + b_2 (x_2 - x_3) + c_1 x_0 + c_2 (x_0 - x_1)] \\ -\frac{1}{m_2} [b_2 (x_3 - x_2) + c_2 (x_1 - x_0)] \end{bmatrix}$$

Параметры интегрирования

$$t_0 := 0$$

$$t_1 := 2$$

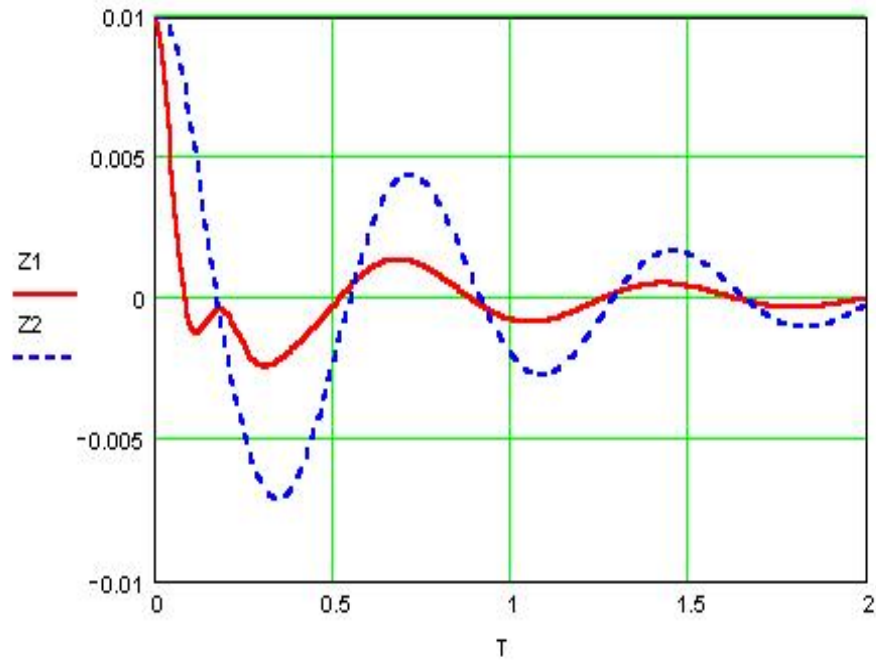
$$N := 400$$

$$h := \frac{t_1 - t_0}{N}, \quad h = 5 \cdot 10^{-3}$$

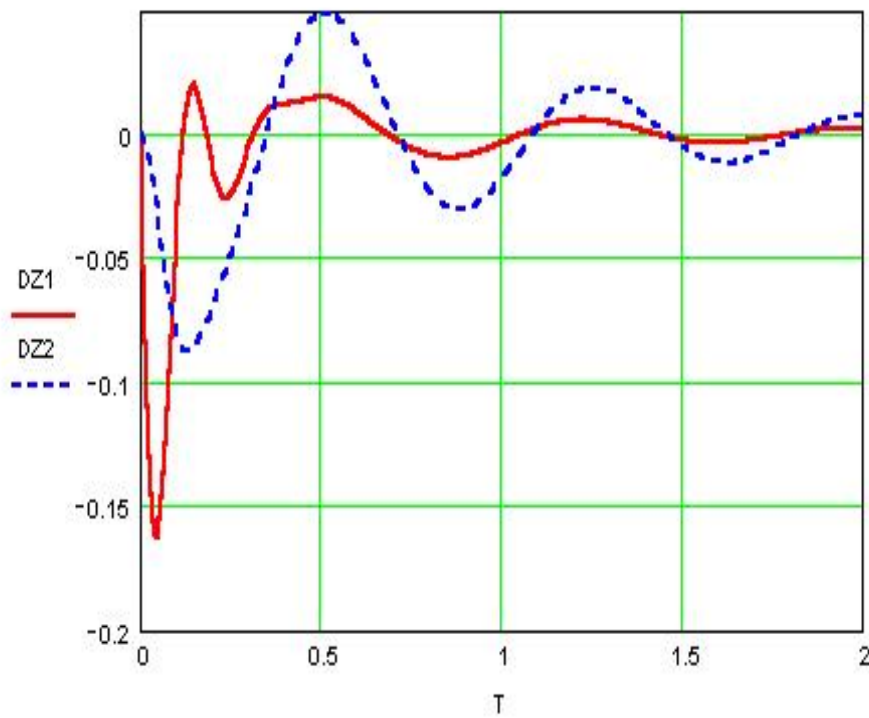
Начальные условия $x := \begin{pmatrix} 0,01 \\ 0,01 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Решение системы дифференциальных уравнений $R := \text{rkfixed}(x, t_0, t_1, N, D)$.

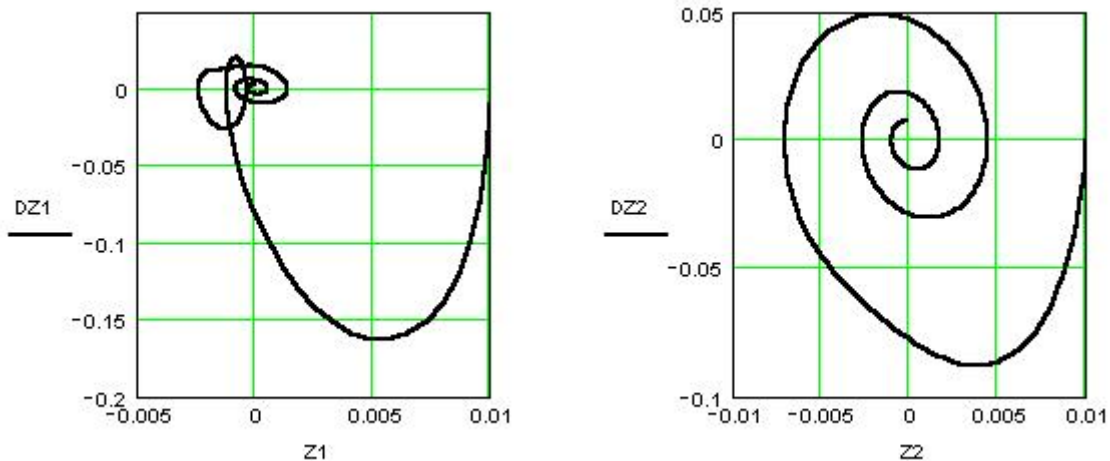
Формирование выходных данных
 $T:=R^{(0)}$, $Z1:=R^{(1)}$, $Z2:=R^{(2)}$, $DZ1:=R^{(3)}$, $DZ2:=R^{(4)}$.
Перемещения в зависимости от времени



Скорости в зависимости от времени



Фазовые диаграммы



Решение в системе *MATHCAD* задачи о вынужденных колебаниях

Для решения системы уравнений вынужденных колебаний системы (3.1) проведем замену переменных:

$$x_0 = z_1; \quad x_1 = z_2; \quad x_2 = z_1'; \quad x_3 = z_2'.$$

Уравнения вынужденных колебаний системы в форме уравнений Коши с учетом замены переменных запишем в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x_0 &= x_2; & \frac{d}{dt} x_1 &= x_3; \\ \frac{d}{dt} x_3 &= -\frac{1}{m_1} [b_1(x_2 - \eta'(t)) + b_2(x_2 - x_3) + c_1(x_0 - \eta(t)) + c_2(x_0 - x_1)]; & (3.5) \\ \frac{d}{dt} x_4 &= -\frac{1}{m_2} [b_2(x_3 - x_2) + c_2(x_1 - x_0)]. \end{aligned}$$

Начальные условия:

$$z_1 = z_{10}; \quad z_2 = z_{20}; \quad z_1' = z_{10}'; \quad z_2' = z_{20}'.$$

Полученная система (3.5) отличается от рассмотренной выше системы (3.4) наличием переменных, описывающих возмущение от неровностей пути под колесом.

Для исследования вынужденных колебаний используются различные виды возмущений со стороны пути: дискретные, детерминированные, стохастические.

Кинематическое возмущение со стороны пути может быть задано функцией $\eta(t)$ и ее производной.

Рассмотрим решение задачи о вынужденных колебаниях при гармоническом возмущении.

Структура документа *MATHCAD* в этом случае подобна документу, описывающему свободные колебания. Для описания гармонического возмущения введена функция $\eta(t)$. Производная $\eta'(t)$ обозначена как функция $d\eta(t)$. При сложном виде функции возмущения ее производная может быть вычислена с помощью символьных преобразований *MATHCAD*.

Решение проведено при нулевых начальных условиях. Для решения использован адаптивный метод – функция *Rkadapt*. Для гладких функций этот метод затрачивает меньше времени для получения решения по сравнению с методом Рунге-Кутты с фиксированным шагом:

$$R:=Rkadapt(x, t0, t1, N, D)$$

Результаты решения удобно представлять в виде фазовой диаграммы, показывающей зависимость скорости парциальной массы от ее линейного перемещения (рис. 3.3). Полученное решение показывает, что после переходного процесса устанавливаются колебания постоянной амплитуды с частотой возмущения.

Анализ решения показывает, что амплитуда колебаний зависит от частоты возмущения, следовательно, от скорости движения.

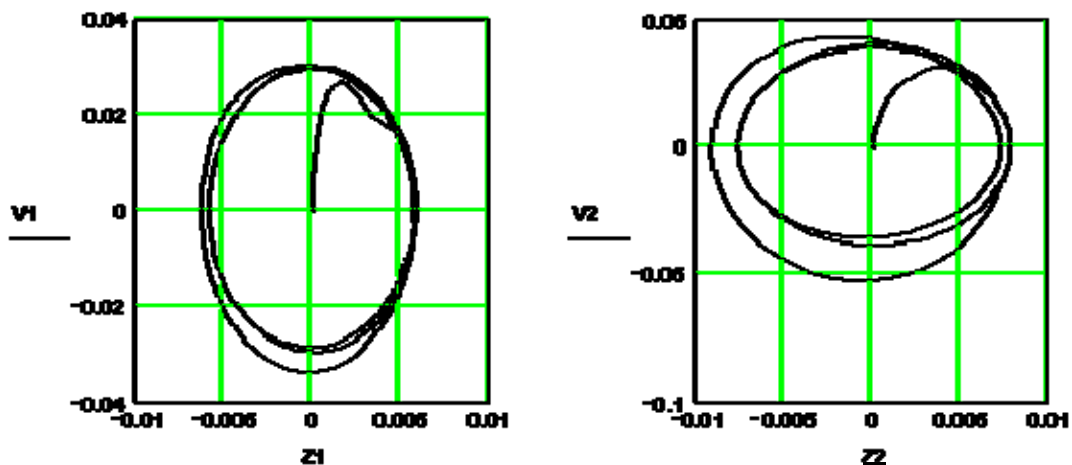


Рис. 3.3. Фрагмент документа *MATHCAD* (фазовые диаграммы)

Изменяя скорость движения, можно определить критические скорости и соответствующие им максимальные перемещения в системе

подвешивания. Изменяя параметры подвешивания, можно наметить пути уменьшения негативных явлений.

Описанный выше подход иногда называют прямым моделированием, иногда – решением «в лоб». Решение задачи методом прямого численного интегрирования дифференциальных уравнений движения позволяет оценить основные процессы, протекающие в системе при различном внешнем воздействии. Преимуществом такого подхода (в первую очередь перед аналитическим) является то, что в систему легко вводятся нелинейные функции. Структура модели при этом не меняется. Упрощенная модель в дальнейшем развивается и дополняется, а результаты моделирования служат начальной оценкой для более сложных моделей.

Реализация в системе *MATHCAD*

Двухмассовая система. Возмущенное движение по синусоидальной неровности

Исходные данные

Масса, т

$$m_1 := 8,82, \quad m_2 := 25,823.$$

Жесткость, кН/м

$$c_1 := 7000, \quad c_2 := 2600.$$

Демпфирование, кН·с/м

$$b_1 := 60, \quad b_2 := 125.$$

Скорость, м/с

$$V := 20.$$

Длина неровности, м

$$L := 25.$$

Амплитуда неровности, м

$$A := 0,005.$$

Частота возмущения

$$\omega := \frac{2\pi}{L} V.$$

$$\omega := 5,027.$$

Функции возмущения со стороны пути

$$\eta(t) := A \sin(\omega t)$$

$$d\eta(t) := A \omega \cos(\omega t).$$

Параметры интегрирования

$$t0 := 0, \quad t1 := \frac{80}{V}, \quad t1 := 4, \quad N := 200, \quad h := \frac{t1 - t0}{N}, \quad h := 0,02.$$

Начальные условия $x := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Система дифференциальных уравнений

$$D(t, x) := \begin{bmatrix} x_2 \\ x_3 \\ -\frac{1}{m_1} [b_1(x_2 - d\eta(t)) + b_2(x_2 - x_3) + c_1(x_0 - \eta(t)) + c_2(x_0 - x_1)] \\ -\frac{1}{m_2} [b_2(x_3 - x_2) + c_2(x_1 - x_0)] \end{bmatrix}$$

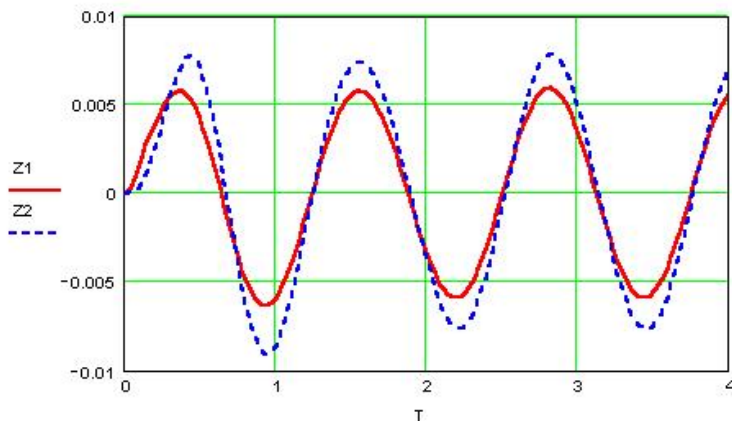
Решение системы дифференциальных уравнений

$R := R_{\text{kadap}}(x, t_0, t_1, N, D)$.

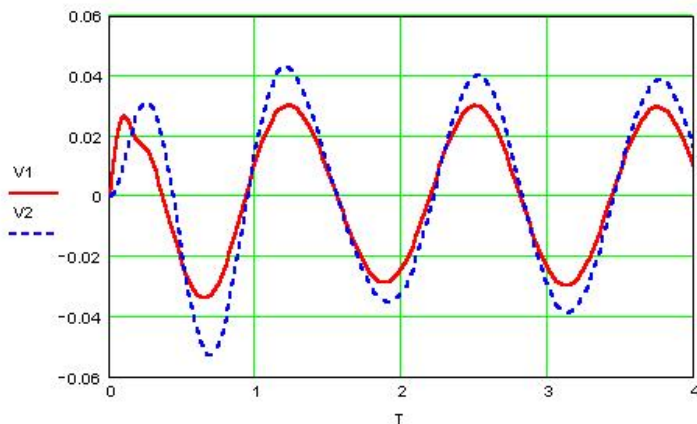
Формирование выходных данных

$T := R^{(0)}$, $Z1 := R^{(1)}$, $Z2 := R^{(2)}$, $V1 := R^{(3)}$, $V2 := R^{(4)}$.

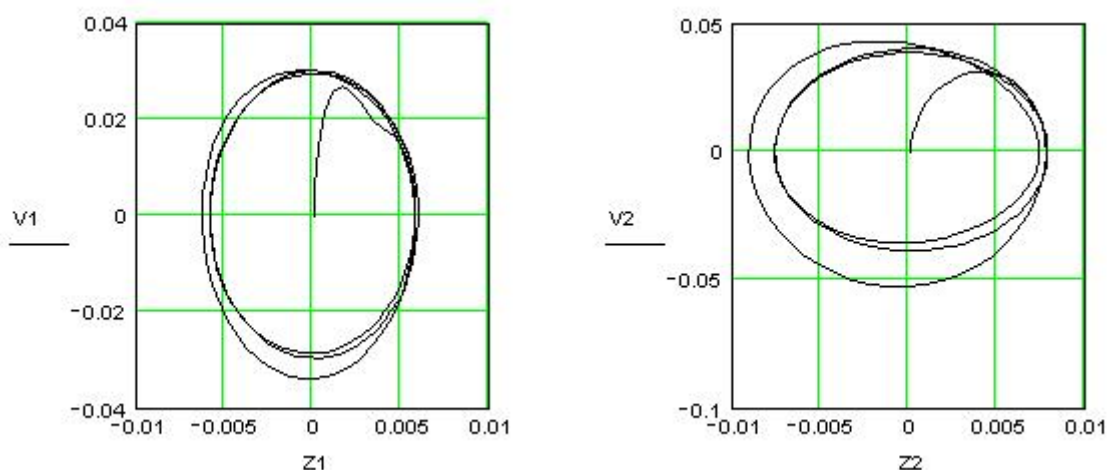
Перемещения в зависимости от времени



Скорости в зависимости от времени



Фазовые диаграммы



3. Задания к лабораторной работе

В системе *MATHCAD* составить описанные выше программы для свободных и вынужденных колебаний, убедиться, что модели строят аналогичные графики.

По заданию преподавателя каждый студент должен изменить параметры моделей на те, которые указаны в таблицах для своего варианта. Построить новые графики, проанализировать их отличие от исходных.

Варианты заданий для свободных колебаний:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_1	9,05	9,5	8,4	7,9	8,5	8,85	9,0	9,86	8,535	9,362
m_2	25,0	20,56	23,6	22,1	19,345	20,45	21,42	22,0	23,45	21,0
c_1	6000	6100	6200	6300	6400	6500	7500	7800	9000	9100
c_2	2500	2600	2700	2800	3000	3500	3200	3400	3300	3000
b_1	40	45	50	55	60	65	70	75	80	75
b_2	100	110	120	125	130	135	140	142	145	147

Дополнительно, варианты заданий для вынужденных колебаний

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	11	12	15	17	16	18	22	25	24	23
L	20	21,5	22	22,5	25	25,5	24	24,5	30	27
A	0,005	0,009	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,007	0,01	0,006

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Получить от преподавателя индивидуальное задание на выполняемую работу.

- 4.2. Запустить программный комплекс *MATHCAD*, прочитать описание функций *rkfixed*, *rkadapt*.
- 4.3. Описать заданные переменные.
- 4.4. Построить систему дифференциальных уравнений.
- 4.5. Описать параметры интегрирования и начальные условия.
- 4.6. Решить систему дифференциальных уравнений описанным выше способом.
- 4.7. Изменить переменные согласно индивидуальному заданию.
- 4.8. Пересчитать модели и вывести их графики на экран.
- 4.9. Подготовить отчет по выполненной работе.

5. Содержание отчета

- 5.1. Назначение и цель работы.
- 5.2. Содержание индивидуального задания.
- 5.3. Описание индивидуальной модели. Должны быть приведены все переменные, параметры интегрирования и система дифференциальных уравнений.
- 5.4. Результаты моделирования в графической форме и схемы.
- 5.5. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы и задания

- 6.1. Понятие свободного и вынужденного движения системы.
- 6.2. Какие функции в системе *MATHCAD* отвечают за моделирование движения системы?
- 6.3. Дать описание этих функций.
- 6.4. Объясните параметры интегрирования.
- 6.5. Объясните пределы изменения исходных показателей.

Лабораторная работа 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ СОБЫТИЙ. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА К МОНОКАНАЛУ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

1. Цель работы

Освоение приемов моделирования информационных процессов реального времени в распределенных системах, исследование характеристик способов случайного доступа к моноканалу на базе машин-

ной модели процесса функционирования локальной сети связи, реализованной с использованием языка *GPSS/PC*; проведение имитационных экспериментов по оценке характеристик доставки информации пользователю информационной сети.

2. Общие сведения

Потребности автоматизации управления различными объектами, построение корпоративных информационных систем обусловили необходимость создания распределенных вычислительных систем и сетей, объединяющих при помощи каналов связи от десятков до нескольких сотен абонентов (ЭВМ, терминалов, устройств памяти, отображения и других устройств ввода-вывода информации), отстоящих друг от друга на сравнительно небольших расстояниях.

До появления локальных сетей связи использовались вычислительные комплексы звездообразной конфигурации. Благодаря экономичности и распространенности микропроцессоров каждому УВВ может быть придан отдельный микропроцессор, а вычислительный комплекс может быть построен на базе регулярной многодоступной сети связи – *локальной сети связи* (ЛСС), обеспечивающей простую структуру связи абонентов вычислительного комплекса при минимальной общей длине соединений.

Характер каналов ЛСС может быть различным, но наибольшее развитие получили локальные сети с общим каналом или моноканалом, в которых передача между абонентами сети осуществляется либо через пару дешевых электропроводов, либо через высокоскоростные, но более дорогие коаксиальные кабели, либо через еще более высокоскоростные и еще более дорогие волоконно-оптические кабели, либо через широкоэмиттерный радиоканал. К общему каналу абоненты подсоединяются с помощью различной аппаратуры (адаптеров). Абоненты могут посылать сигналы с разными скоростями, а скорость передачи сигналов в моноканал одинаковая и определяется особенностями используемого канала. Для согласования этих скоростей в адаптерах используется буферная память необходимой емкости. Упрощенная структурная схема ЛСС с n абонентами представлена на рис. 4.1. Каждый абонент имеет свой уникальный адрес (на рисунке адрес совпадает с номером абонента). Обмен данными в сети осуществляется блоками определенного формата – кадрами, со-

держащими в себе как информацию абонента (информационный пакет), так и служебную информацию (адрес получателя, отправителя, проверочную последовательность и пр.). Структура кадра приведена на рис. 4.2. Кадр может передаваться в моноканале адаптером любого абонента, при этом адаптеры всех остальных абонентов осуществляют его прием. При совпадении содержащегося в поле «Адрес получателя» адреса кадра с адресом абонента осуществляются анализ кадра на наличие в нем ошибок и выдача пакета абоненту, при несовпадении адресов полученный кадр уничтожается.

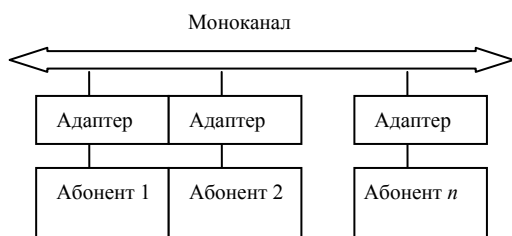


Рис. 4.1. Структурная схема локальной сети



Рис. 4.2. Структура кадра обмена данными

Особенностью общего канала является то, что в заданный промежуток времени через него может передавать информацию только один абонент ЛСС. Поэтому возникает проблема разделения ресурсов канала передачи данных. *Методы разделения ресурсов* или, как их называют, *методы управления ЛСС*, подразделяются на детерминированные и случайные. Реализуются управляющие алгоритмы в адаптерах абонентов.

В сетях с детерминированным доступом к общему каналу между абонентами канал распределяется в детерминированные моменты времени по некоторым алгоритмам централизованным или распределенным образом. Детерминированный доступ используется при больших, регулярных потоках информации. Минимум служебной информации и максимальную скорость доступа к моноканалу при малых потоках информации обеспечивают методы случайного доступа к моноканалу. Поэтому методы случайного доступа абонентов в канал

находят наиболее широкое применение на практике. В сетях со случайным доступом все абоненты равноправны и могут выходить на передачу в любое время. Такая свобода выхода абонента в канал приводит к возможности появления конфликтов между абонентами за захват общего канала, когда несколько абонентов одновременно обращаются к каналу. Поэтому метод случайного доступа иногда называют *методом состязаний*. При нем возможно наложение в канале двух и более передач. На практике разработан ряд способов и алгоритмов минимизации конфликтных ситуаций. Некоторые из них исследуются в настоящей лабораторной работе на имитационной модели ЛСС. В сетях со случайным доступом не гарантируется временная доставка информационных пакетов. С увеличением интенсивности потока информации в канале возникают конфликтные ситуации, что создает трудности реализации приоритетного доступа абонентов. Простым способом доступа к моноканалу является *базовый асинхронный способ*. Обобщенный алгоритм передачи и приема информации при использовании этого способа изображен на рис. 4.3. При базовом способе канал работает в асинхронном режиме, и как только у какого-либо абонента возникает необходимость в передаче данных, его адаптер начинает передавать кадр сразу после его формирования. В процессе передачи могут возникнуть искажения кадров и появиться ошибки из-за помех в канале или из-за столкновения кадров при одновременной передаче в канал кадров от двух и более адаптеров. Поэтому адаптер-приемник проверяет правильность каждого принятого кадра с помощью проверочной последовательности, записанной в конце кадра (см. рис. 4.3), и посылает адаптеру-передатчику подтверждение (квитанцию) того, что принятый пакет не искажен, т. е. не содержит ошибок. Если подтверждение правильного приема кадра (или кадров) через фиксированное (администрацией сети) время от адаптера-приемника к адаптеру-передатчику не поступает, то кадр может передаваться повторно. Интервалы времени ожидания перед повторной выдачей кадра для каждого адаптера определяются индивидуально либо с помощью таблиц, либо по определенным алгоритмам. В нормальных условиях подтверждение приема неискаженного кадра осуществляется сразу после первой или (в крайнем случае) после нескольких попыток. Если после проведения определенного числа попыток подтверждение отсутствует, то кадр считается не переданным.

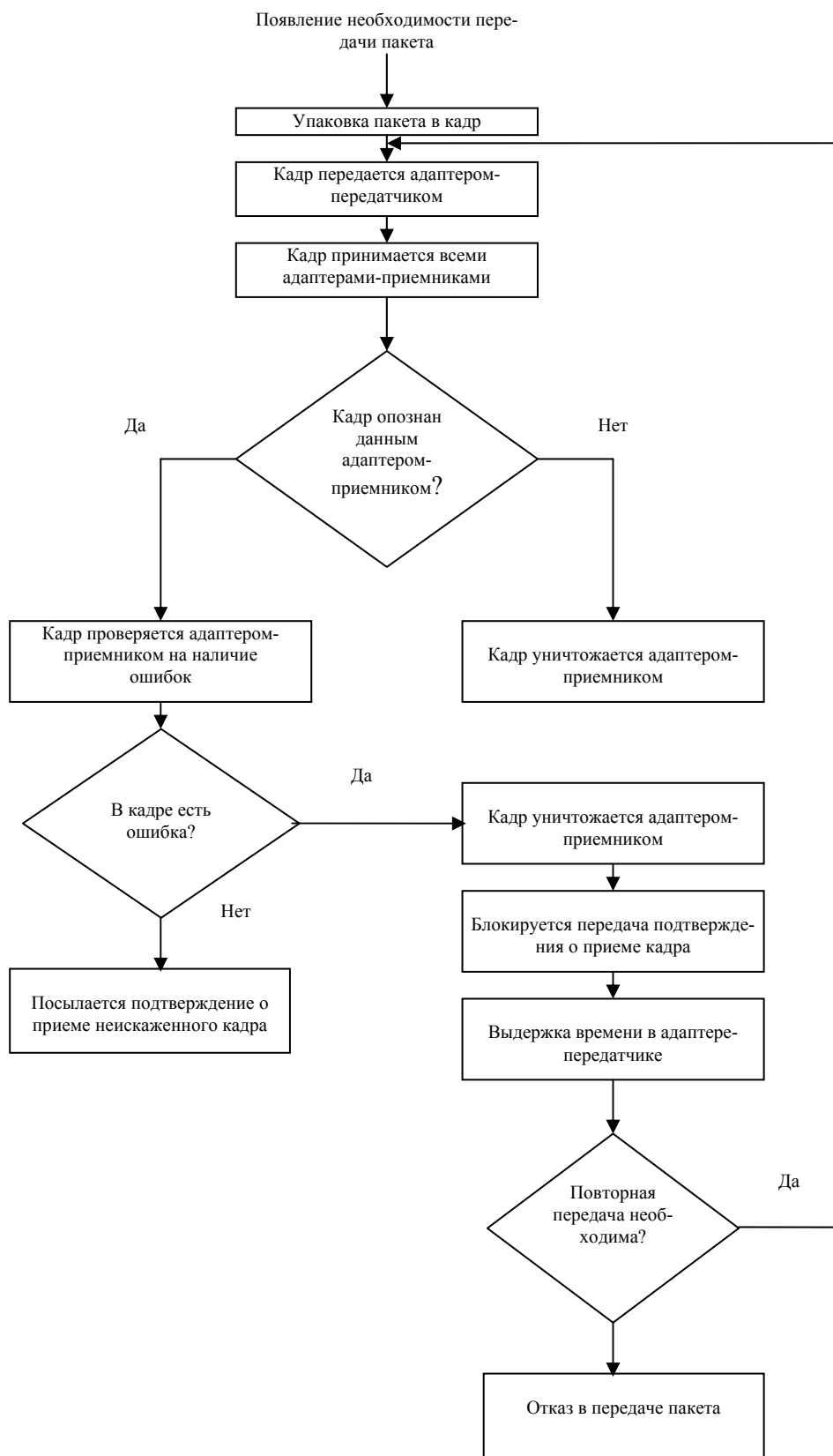


Рис. 4.3. Обобщенный алгоритм базового асинхронного способа доступа

Базовый асинхронный способ обеспечивает невысокий коэффициент использования общего канала. Одним из способов повышения эффективности использования среды передачи является способ передачи с тактированием моментов передачи кадров, основанный на том, что абонент может начать передачу кадра в моноканал только в единые для всех ЛСС моменты времени – *такты*.

Другим способом повышения эффективности среды передачи является способ доступа, основанный на правиле «слушай, прежде чем говорить», при котором абонент передает кадр в моноканал только тогда, когда канал свободен. Однако при этом не исключается столкновение из-за одновременной передачи кадров в моноканал несколькими абонентами и задержки распространения.

Управление доступом по правилу «слушай, когда говоришь», т.е. прослушивание моноканала не только перед передачей, но и во время передачи позволяет обнаружить столкновение кадра с кадром абонента-источника. В этом случае при хороших корректирующих свойствах используемого кода можно отказаться от механизма передач подтверждений.

Первой важнейшей характеристикой для ЛСС с точки зрения абонентов является время доставки пакетов от абонента-источника к абоненту-приемнику. В общем случае это время будет

$$T = t_1 + t_2 + t_3, \quad (4.1)$$

где t_1 – время, необходимое для обработки (формирования адреса, проверочной последовательности) пакета адаптером передающего абонента; t_2 – время доступа и передачи информации по моноканалу, зависящее от способа доступа, режима работы, числа абонентов и пр.; t_3 – время, необходимое для обработки пакета приемным адаптером.

В лабораторной работе основное внимание уделяется исследованию способов доступа к моноканалу и для упрощения имитационной модели функционирование адаптера не рассматривается, время задержки в нем, обусловленное действием различных преобразователей (формирование проверочной последовательности, обработка адресной информации и т. д.), не учитывается. Поэтому время доставки T определяется только временем t_2 , а время обработки t_1 и t_3 считается равным нулю. Это упрощение позволяет пакет отождествить с кадром и рассматривать абоненты как источники и получатели кадров. При подсчете учитывается время доступа и передачи только тех кадров, которые были

переданы без ошибок и если абонентом-источником получен кадр-подтверждение успешной передачи.

Очевидно, что из-за ограниченности допустимого времени пребывания кадров в ЛСС возможно только ограниченное число попыток его передачи. Если все попытки исчерпаны, то кадр считается потерянным. Поэтому второй важной характеристикой ЛСС является доля потерь, вычисляемая как отношение числа поступивших в ЛСС пакетов к числу переданных пакетов.

Третьей характеристикой, используемой для оценки эффективности того или иного способа доступа, является коэффициент использования моноканала $KOEFF$, вычисляемый как отношение числа удачно переданных кадров N к числу кадров, которые могли бы быть переданы за рассматриваемый интервал времени T :

$$KOEFF = \frac{N}{nT}, \quad (4.2)$$

где n – пропускная способность канала, кадр/с.

В реальных ЛСС число абонентов, подключаемых к моноканалу, измеряется сотнями и даже тысячами, но для исследования способов доступа можно использовать модель с гораздо меньшим числом абонентов. Интенсивность обмена информацией между абонентами в модели подбирается такой, чтобы можно было выявить особенности того или иного способа.

Обобщенная схема имитационной модели (ИМ) ЛСС приведена на рис. 4.4. Кадр, поступивший от абонента-источника, передается одновременно в обе стороны от точки подключения абонента к моноканалу. Поэтому для простоты модели каждый отрезок моноканала между двумя соседними абонентами, называемый далее *звеном моноканала* или просто *каналом*, моделируется двумя блоками соответственно по двум возможным направлениям передачи по каналу – слева направо и справа налево. Модель абонента также состоит из двух относительно независимых частей: моделей, имитирующих поступление кадров, и обработки кадра при его получении.

Моделирование передачи между соседними абонентами осуществляется задержкой транзактов (кадров). Она состоит из задержки распространения сигнала по звену моноканала, определяемой длиной этого звена и скоростью распространения сигнала, и задержки выдачи кадра абоненту, определяемой длиной кадра и скоростью передачи информации в моноканале. Схема модели по-

следовательности задержек приведена на рис. 4.5. В выделенной на рисунке точке происходит копирование транзакта, одна из копий предназначена для имитации дальнейшего распространения сигнала по моноканалу, а другая (после задержки соответствующей выдачи кадра) – для имитации процесса получения кадра абонентом.

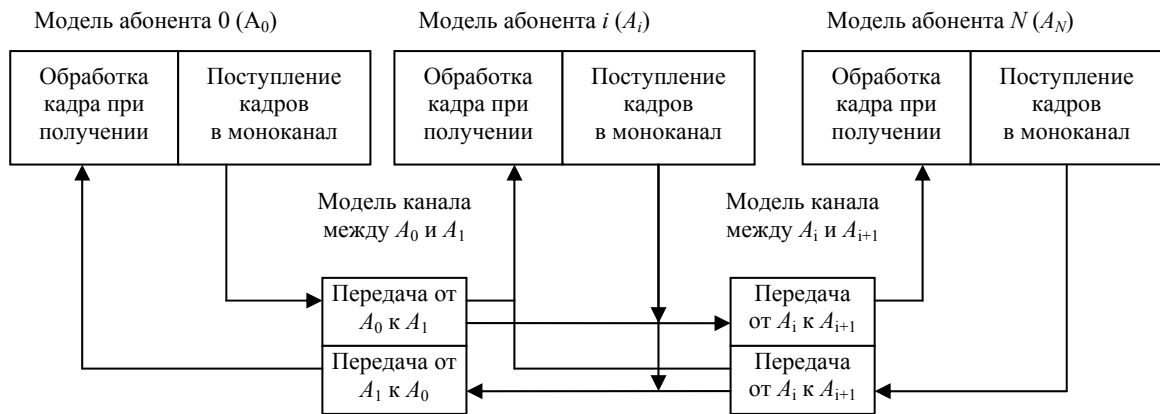


Рис. 4.4. Обобщенная схема имитационной модели локальной сети



Рис. 4.5. Схема модели последовательности задержек

Наличие двух возможных траекторий транзактов определяет наличие двух выходов в моделях, имитирующих передачу кадров. Как видно из рис. 4.4, модели крайних сегментов моноканала отличаются по количеству выходов, что объясняется отсутствием необходимости имитации дальнейшего распространения сигнала по моноканалу.

В имитационной модели приняты следующие допущения:

- ошибки в кадрах могут возникать только из-за столкновения кадров, т. е. из-за одновременной передачи в звене моноканала более одного кадра, причем не имеет значения, в каком направлении кадры передаются по звену;

- столкновение кадра-подтверждения с любым другим кадром, т. е. появление ошибки в кадре-подтверждении, эквивалентно его утере;

- допустимое время ожидания подтверждения на переданный информационный кадр одинаково для всех абонентов ЛСС, он складывается из времени распространения сигнала по всей длине моноканала, приема информационного кадра абонентом-получателем, распространения и приема кадра-подтверждения и некоторого условного запаса времени;

- следующий кадр от каждого абонента не может быть передан в моноканал до тех пор, пока не придет подтверждение на ранее переданный кадр или пока не истечет допустимое время ожидания получения подтверждения.

В соответствии с принятыми допущениями исходные тексты программ имитации поступления кадров в моноканал, обработки кадров при получении, передачи кадров приведены в листинге 4.1. Как следует из комментариев в программах, они предназначены для моделирования работы конкретного абонента (абонента 1) и передачи кадров от абонента 1 к абоненту 2. Модель поступления кадров в моноканал предполагает использование в ЛСС базового асинхронного способа доступа.

Модель обработки кадра при его получении абонентом X

0001	OBR1	TEST E P2,1,UNICH	Проверка номера абонента-получателя
0005		TEST E P4,0,OSHI B	Проверка на наличие ошибки в кадре
0010		TEST E P3,5,POD1	Проверка типа кадра
0015		LOGIC S ACKN1	Получен кадр-подтверждение
0020		LOGIC R VID1	Можно передавать следующий кадр
0025		TRANSFER, PERED	
0030	POD1	ASSIGN 2,P1	Формирование
0035		ASSIGN 1,1	кадра-
0040		ASSIGN 3,5	подтверждения
0045		PRIORITY 1	
0050		TRANSFER ,TRN1	
* Модель поступления кадров от абонента 1			
0055	ABON1	GENERATE 833,FN\$EXPON 600	пакетов/с от абонента 1
0060		ASSIGN 1,1	В P1- номер абонента источника
0065		ASSIGN 2,FN\$ADR1	В P2 - номер абонента получателя
0070		ASSIGN 3,50	В P3 - время передачи в звене
0075	TRN1	GATE LR VID1	Ожидание передачи предыдущего кадра
0080		SPLIT 1,MET2	Копирование для запуска тайм-аута
0085		LOGIC S VID1	Кадр выдан в моноканал
0090		ADVANCE 60	Ожидание получения кадра-подтверждения
0095		GATE LR ACKN1,TAB1	Проверка получения подтверждения
0100		LOGIC R VID1	Можно передавать следующий кадр
0105	TAB1	LOGIC R ACKN1	
ОНО		TERMINATE	
0115	MET2	SPLIT 1, PER10	Передача в канал между абонентами 2 и 1

* Модель передачи кадра по каналу между абонентами 1 и 2

0120	PER12	TEST NE X\$KAN12,0,SVB11 SVB01	Передаются ли другие кадры в канале
0125		ASSIGN 4+,1	Фиксация появления в кадре ошибки
0130	SVB11	SAVEVALUE KAN12+,1	Индикация занятия канала 12
0135		ADVANCE 1	Распространение сигнала по каналу
0140		SPLIT 1,PER22	
0145		ADVANCE P3	Выдача кадра из канала
0150		SAVEVALUE KAN12-,1	Индикация освобождения канала 01
0155		TEST NE X\$KAN12,0,SVB12	Передаются ли другие кадры в канал
0160		ASSIGN 4+,1	Фиксация появления в кадре ошибки
0165	SVB12	TRANSFER, OBR2	
0170	PER22	TERMINATE	Сигнал достиг окончания моноканала

Листинг 4.1. Текст GPSS-программы имитации поступления кадров в моноканал

В программе используются следующие обозначения: первый параметр транзактов – номер абонента источника информационного кадра или подтверждения; второй – номер абонента получателя информационного кадра или подтверждения; третий – время передачи кадра в канал; четвертый – признак ошибочности кадра (0 – кадр без ошибок, больше 0 – кадр с ошибками); *EXPON* – функция для определения интервалов между поступлениями кадров; *ADR1* – функция выбора абонентом 1 номера абонента получателя информационного кадра; *VID1* – переключатель, установка которого в 1 показывает, что кадр выдан в моноканал и абонент ожидает подтверждения; *ACKM1* – переключатель для определения того, что ключ *VID1* сброшен поступившим подтверждением или сброшен по истечении таймаута (допустимого времени ожидания подтверждения); *VREM* – таблица для сбора статистики о времени передачи кадров; *KAN12* – сохраняемая величина для индикации занятости канала между абонентом 1 и абонентом 2 (при незанятом канале значение этой сохраняемой величины равно 0).

Программы моделирования работы других абонентов и передачи кадров в других звеньях моноканала получаются из приведенных программ путем соответствующего изменения переменных и меток. Рекомендуется придерживаться принятой в программе системы обозначений. Это облегчит настройку, позволит провести ее с минимальным числом изменений в программе. Изменяемые части меток и переменных для удобства их выявления обведены. Прямоугольником обведены метки и идентификаторы, которые не используются в моделях других абонентов и каналов, а окружностью – которые используются.

Пусть требуется исследовать характеристики ЛСС при использовании в ней базового асинхронного способа доступа к моноканалу. Структура и параметры моделируемой сети указаны в задании.

За единицу модельного времени примем 2 мкс, тогда время распространения по звену моноканала будет равно 1 ед. вр., а время передачи кадра — 50 ед. вр.

Из условий задания известно, что нагрузка от каждого абонента одинакова и равна 600 кадр/с. Отсюда средний интервал между поступлениями кадров от абонента около 1666 мкс или 833 ед. вр. Предполагается, что интервалы между кадрами имеют экспоненциальное распределение.

Длительность ожидания получения подтверждения на переданный информационный кадр, как уже было сказано, складывается из времени распространения и передачи информационного кадра и из времени распространения и передачи подтверждения. Сумма этих времен для наиболее удаленных абонентов равна 59 ед. вр. Учитывая некоторый запас, в программе время ожидания получения подтверждения равно 60 ед. вр.

Допустим, что при моделировании передачи через моноканал 300 кадров можно получить устойчивые характеристики работы сети, т. е. от каждого абонента должно быть передано около 100 кадров. Зная средний интервал между поступлениями кадров, можно определить необходимое время моделирования. В программе моделирование осуществляется в течение 100 000 ед. вр. При пропускной способности моноканала 10 Мбит/с и длине информационного кадра 100 бит за интервал моделирования может быть передано максимум 2000 кадров. Это число используется для расчета коэффициента использования моноканала по формуле (4.1). В задании сказано, что нагрузка от каждого абонента равномерно распределяется между остальными абонентами, поэтому при выборе номера абонента-получателя функция выбора адреса принимает одно из двух (число абонентов-получателей) значений с вероятностью 0,5.

Блок-диаграмма *GPSS-модели* процесса функционирования ЛСС приведена на рис. 4.6, а текст *GPSS-программы* приведен в листинге 4.2. Обозначения совпадают с ранее введенными при описании исходных программ. Получение подтверждения на переданный информационный кадр означает его удачную передачу и соответствующие подтверждению транзакты из моделей всех абонентов направляются в

блок **PERED**. В блок **OSHIB** направляются все транзакты, моделирующие кадры, в которых обнаружена ошибка при анализе кадров у абонентов-получателей.

В блоке **PERED**-программы происходит сбор статистики о времени передачи кадра. Суммарное число транзактов, прошедших через этот блок, определяет число безошибочно переданных через моноканал кадров. Суммарное число транзактов, прошедших через блоки **ABONO**, **ABON1**, **ABON2**, определяет общее число кадров, поступивших от всех трех абонентов. Эти сведения используются для определения таких характеристик работы ЛСС, как коэффициент использования моноканала и доля переданных кадров. Значения этих характеристик находятся соответственно в сохраняемых величинах **KOEFF** и **DOLIA** [4, 5].

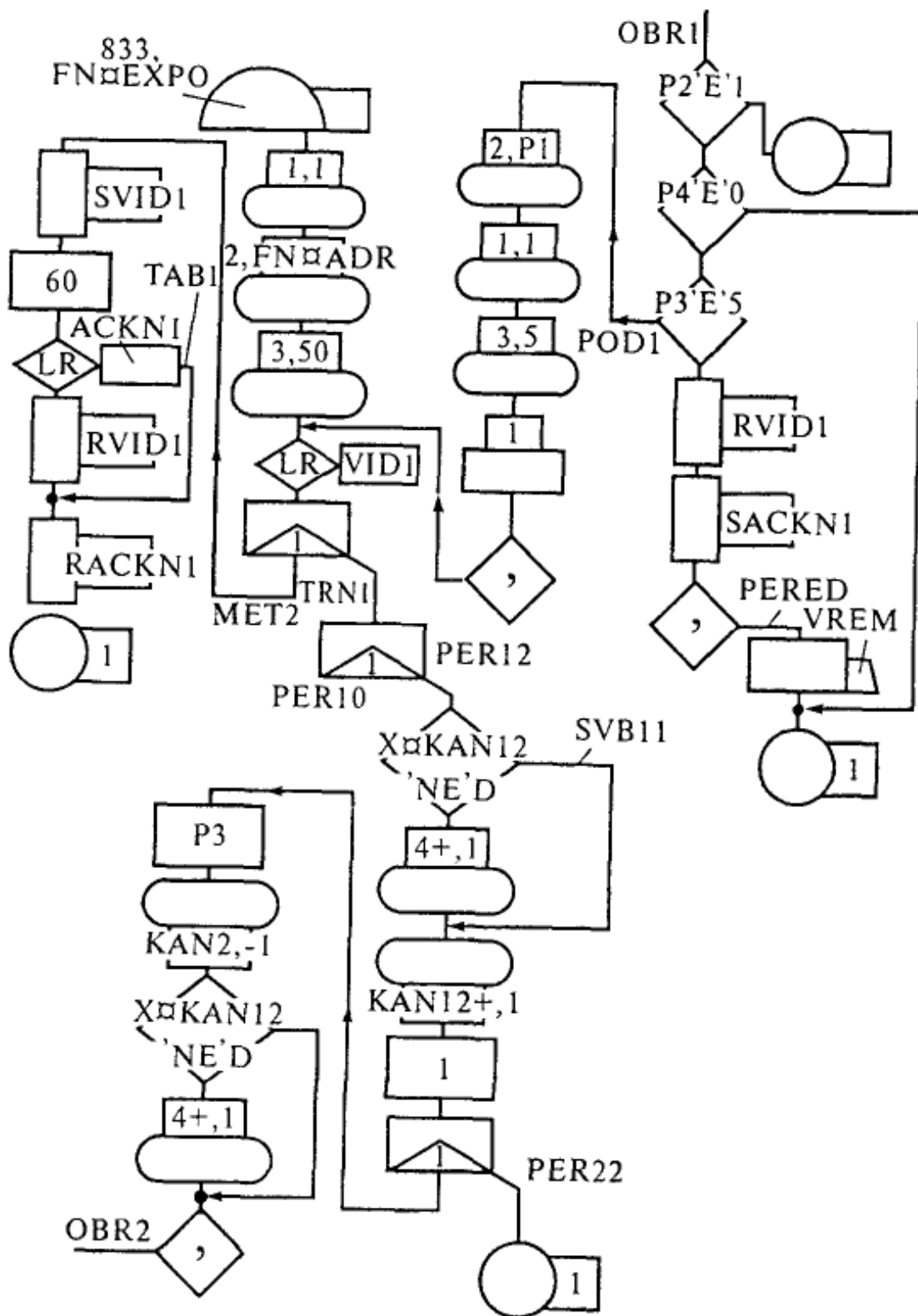


Рис. 4.6. Блок-диаграмма GPSS-модели процесса функционирования локальной сети

SIMULATE

*Лабораторная работа. Тестовый пример «Модель ЛСС с 3 абонентами, базовый способ доступа»

```

* ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ, ТАБЛИЦ, СОХРАНЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН
0002 EXPON FUNCTION RN1, C24 Распределение интервалов между кадрами
0,0/1,104/2,222/3.355/4,509/5,69/6,915/7,1.2/75,1.38/8,1.6/84,1.83/88,2.12/9,2.3/92,2.52/94,2.81/9
5,2.99/96,3.2/97,3.5/98,3.9/99,4.6/995,5.3/998,6.2/999,7.0/9997,8.0
0009 ADR0 FUNCION RN1,D2 Выбор адреса получателя в источнике 0
.5,1/1,2
0010 ADR1 FUNCION RN2,D2 Выбор адреса получателя в источнике 1
.5,0/1,2
0015 ADR2 FUNCION RN3,D2 Выбор адреса получателя в источнике 2
.5,0/1,1
0020 VREM TABLE M1,56,2,5
0025 PER1 FVARIABLE N$PERED/2000 Коэффициент использования моноканала
0030 PER2 FVARIABLE N$PERED/N$ABONO+N$ABON1+N$ABON2 Доля переданных кадров
* БЛОКИ ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕЙ МОДЕЛИ
0035 PERED TABULATE VREM Табуляция времени передачи кадра
0040 UNICH TERMINATE Кадр адресован не этому абоненту
0045 OSHIB TERMINATE В кадре обнаружена ошибка
* МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ КАДРА ПРИ ЕГО ПОЛУЧЕНИИ АБОНЕНТОМ 0
0050 OBR0 TEST E P2,0,UNICH Проверка номера абонента-получателя
0055 TEST E P4 ,0,OSHIB Проверка на наличие ошибки в кадре
0060 TEST E P3 ,5,POD0 Проверка типа кадра
0065 LOGIC R VID0 Можно передавать следующий кадр
0070 LOGIC S ACKN0 Получен кадр-подтверждение
0075 TRANSFER ,PERED
0080 POD0 ASSIGN 2,P1 Формирование
0085 ASSIGN 1,0 кадра-
0090 ASSIGN 3,5 подтверждения
0095 PRIORITY 1
0100 TRANSFER ,TRN0
* МОДЕЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ КАДРОВ ОТ АБОНЕНТА 0
0105 ABON0 GENERATE 833,FN$EXPON 600 пакетов/с от абонента 0
0110 ASSIGN 1,0 В P1 - номер абонента источника
0115 ASSIGN 2,FN$ADR0 В P2 - номер абонента получателя
0120 ASSIGN 3,50 В P3 - время передачи в звене
0125 TRN0 GATE LRVIDO Ожидание передачи предыдущего кадра
0130 SPLIT 1,PER01 Копирование для запуска тайм-аута
0135 LOGIC S VID0 Кадр выдан в моноканал
0140 ADVANCE 60 Ожидание получения подтверждения
0145 GATE LR ACKN0,TAB0 Проверка получения подтверждения
0150 LOGIC R VID0 Можно передавать следующий кадр
0155 TAB0 LOGIC R ACKN0
0160 TERMINATE
* МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ КАДРА ПО КАНАЛУ МЕЖДУ АБОНЕНТАМИ 0 И 1
0165 PER01 TEST NE X$KAN01,0,SVB01 Передаются ли другие кадры в канале
0170 ASSIGN 4+,1 Фиксация появления в кадре ошибки
0175 SVB01 SAVEVALUE KAN01+,1 Индикация занятия канала 01
0180 ADVANCE 1 Распространение сигнала по каналу
0185 SPLIT 1,PER1,2
0190 ADVANCE P3 Выдача кадра из канала
0195 SAVEVALUE KAN01-,1 Индикация освобождения канала 01
0200 TEST NE X$KAN01,0,SVB02 Передадутся ли другие кадры в канале
0205 ASSIGN 4+,1 Фиксация появления в кадре ошибки
0210 SVB02 TRANSFER,OBR1

```

Листинг 4.2. Начало

**Текст программы моделирования процесса функционирования
локальной сети**

Результаты моделирования показаны в листинге 4.3. В данном примере получено $KOEFF = 0,13149$, $DOLIA = 0,75358$.

```

* МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ КАДРА ПО КАНАЛУ МЕЖДУ АБОНЕНТАМИ 1 И 0
0215 PER10 TEST NE X$KAN01,0,SVB03      Передаются ли другие кадры в канале
0220     ASSIGN      4+,1              Фиксация появления в кадре ошибки
0225 SVB03 SAVEVALUE KAN01+,1          Индикация занятия канала 01
0230     ADVANCE     1                  Распространение сигнала по каналу
0235     SPLIT 1,PER00
0240     ADVANCE     P3                  Выдача кадра из канала
0245     SAVEVALUE      KAN01-,1       Индикация освобождения канала 01
0250     TEST NE     X$KAN01,0,SVB04   Передаются ли другие кадры в канале
0255     ASSIGN      4+, 1             Фиксация появления в кадре ошибки
0260 SVB04 TRANSFER ,OBR0
0265 PER00 TERMINATE                    Сигнал достиг окончания моноканала

* МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ КАДРА ПРИ ЕГО ПОЛУЧЕНИИ АБОНЕНТОМ 1
0270 OBR1 TEST E      P2,1,UNICH        Проверка номера абонента-получателя
0275     TEST E      P4,0,0SHIB        Проверка на наличие ошибки в кадре
0280     TEST E      P3, 5,POD1        Проверка типа кадра (инф. или подтв.)
0285     LOGIC S     ACKN1              Получен кадр-подтверждение
0290     LOGIC R     VID1              Можно передавать следующий кадр
0295     TRANSFER   ,PERED              Табуляция времени передачи кадра
0300 POD1 ASSIGN     2,P1              Формирование
0305     ASSIGN     1,1                 кадра-
0310     ASSIGN     3,5                 подтверждения
0315     PRIORITY   1
0320     TRANSFER   ,TRN1

* МОДЕЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ КАДРОВ ОТ АБОНЕНТА 1
0325 ABON1 GENERATE 833, FN$EXPON 600 пакетов/с от абонента 1
0330     ASSIGN     1,1                 В P1 - номер абонента источника
0335     ASSIGN     2, FN$ADR1          В P2 - номер абонента получателя
0340     ASSIGN     3,50                В P3 - время передачи в звене
0345 TRN1 GATE LR    VID1              Ожидание передачи предыдущего кадра
0350     SPLIT 1, MET2                 Копирование для запуска тайм-аута
0355     LOGIC S     VID1              Кадр выдан в моноканал
0360     ADVANCE     60                 Ожидание получения подтверждения
0365     GATE LR     ACKN1, TAB1        Проверка получения подтверждения
0370     LOGIC R     VID1              Можно передавать следующий кадр
0375 TAB1 LOGIC R     ACKN1
0380     TERMINATE
0385 MET2 SPLIT 1,PER10                 Передача в канал между абонентами 2 и 1

* МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ КАДРА ПО КАНАЛУ АБОНЕНТАМИ 1 И 2
0390 PER12 TEST NE     X$KAN12,0,SVB11 Передаются ли другие кадры в канале
0395     ASSIGN     4+, 1              Фиксация появления в кадре ошибки
0400 SVB11 SAVEVALUE      KAN12+,1     Индикация занятия какала 12
0405     ADVANCE     1                  Распространение сигнала по каналу

```

0410	SPLIT 1,PER22		
0415	ADVANCE P3		Выдача кадра из канала
0420	SAVEVALUE KAN12-,1		Индикация освобождения канала 12
0425	TEST NE X\$KAN12,0,SVB12		Передаются ли другие кадры в канале
0430	ASSIGN 4+, 1		Фиксация появления в кадре ошибки
0435	SVB12TRANSFER , OBR2		
0440	PER22 TERMINATE		Сигнал достиг окончания моноканала
	* МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ КАДРА ПО КАНАЛУ АБОНЕНТАМИ 2 И 1		
0445	PER21 TEST NE X\$KAN12,0,SVB12		Передаются ли другие кадры в канале
0450	ASSIGN 4+,1		Фиксация появления в кадре ошибки
0455	SVB13SAVEVALUE KAN12+,1		Индикация занятия канала 12
0460	ADVANCE 1		Распространение сигнала по каналу
0465	SPLIT 1,PER10		
0470	ADVANCE P3		Выдача кадра из канала

Листинг 4.2. Продолжение

**Текст программы моделирования процесса функционирования
локальной сети**

0475	SAVEVALUE KAN12-,1		Индикация освобождение канала 12
0480	TEST NE X\$KAN12,0,SVB14		Передаются ли другие кадры в канале
0485	ASSIGN 4+,1		Фиксация появления в кадре ошибки
0490	SVB14 TRANSFER ,OBR1		
	* МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ КАДРА ПРИ ЕГО ПОЛУЧЕНИИ АБОНЕНТОМ 2		
0495	OBR2 TEST E P2,2, UNICH		Проверка номера абонента-получателя
0500	TEST E P4,0,OSHIB		Проверка на наличие ошибки в кадре
0505	TEST E P3,5,POD2		Проверка типа кадра
0510	LOGIC R VID2		Можно передавать следующий кадр
0515	LOGIC S ACKN2		Получен кадр-подтверждение
0520	TRANSFER ,PERED		Табуляция времени передачи кадра
0525	POD2 ASSIGN 2, P1		Формирование
0530	ASSIGN 1,2		кадра-
0535	ASSIGN 3,5		подтверждения
0540	PRIORITY 1		
0545	TRANSFER , TRN1		
	* МОДЕЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ КАДРОВ ОТ АБОНЕНТА 2		
0550	ABON2 GENERATE 833, FN\$EXPON 600		пакетов/с от абонента 2
0555	ASSIGN 1,2		В P1 - номер абонента источника
0560	ASSIGN 2, FN\$ADR2		В P2 - номер абонента получателя
0565	ASSIGN 3,50		В P3 - время передачи в звене
0570	TRN2 GATE LR VID2		Ожидание передачи предыдущего кадра
0575	SPLIT 1,PER21		Копирование для запуска тайм-аута
0580	LOGIC S VID2		Кадр выдан в моноканал
0585	ADVANCE 60		Ожидание получения подтверждения
0590	GATE LR ACKN2, TAB2		Проверка получения подтверждения
0595	LOGIC R VID2		Можно передавать следующий кадр
0600	TAB2 LOGIC R ACKN2		
0605	TERMINATE		
	* МОДЕЛЬ "ЧАСОВ"		

```

0610      GENERATE 1000001      Передача по моноканалу около 350 кадров
0615      SAVEVALUE KOEFF,V1,XL  Коэффициент использования моноканала
0620      SAVEVALUE DOLIA,V2,XL  Доля переданных пакетов
0625      TERMINATE 1
0630      START      1
0635      END

```

Листинг 4.2. Окончание

**Текст программы моделирования процесса функционирования
локальной сети**

Анализ результатов моделирования показывает, что моноканал используется только на 13 % из-за столкновений кадров, только 75 % из них были переданы успешно, о чем получены подтверждения. Поэтому необходимо предусмотреть меры, позволяющие повысить коэффициент использования моноканала. По данным таблицы *VREM*, в которой приведены сведения о времени передачи кадров, можно сделать вывод, что часть кадров не выдавались в моноканал сразу после их генерации, а ожидали результатов передачи предыдущего кадра. Это следует из того, что при мгновенной выдаче кадра в моноканал даже для наиболее удаленного адресата суммарное время передачи информационного кадра и кадра подтверждения равно 59 единицам модельного времени, а в таблице зарегистрировано 12,92 % транзактов, время передачи которых превышает этот порог.

TABLE	MEAN	STD DEV	RETRY	RANGE	FREQUENCY	CUM %
VREM	62 334	13 226	0			
			-	56	0	.0
			56 -	58	0	.0
			58 -	60	151	57.4
			60 -	62	78	87.0
			62 -	64	0	87.0
			64 -		34	100.0
SAVEVALUE		VALUE	RETRY			
KOEFF		0 13149	0			
DOLIA		0.75358	0			

*Листинг 4.3. Результаты моделирования процесса функционирования
локальной сети*

3. Задания к лабораторной работе

При выполнении данной лабораторной работы требуется исследовать характеристики ЛСС. Исходные данные для моделирования:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина моноканала, км	1,0	0,9	0,75	1,2	1,1	1,0	0,8	0,95	0,5	1,3
Скорость передачи сигналов в моноканале, Мбит/с	10	12	10	9	9,5	11	11,5	12	10	11
Нагрузка от каждого абонента, кадр/с	600	650	500	550	700	650	500	800	750	1000
Длина информационного кадра, бит	500	1000	900	750	800	850	900	1000	1100	900

- скорость распространения сигнала в моноканале для всех вариантов – 250 м/мкс (250 000 км/ч);
 - длина участка между подключениями соседних абонентов постоянна и равна 500 м, т. е. к сети подключено три абонента;
 - кадр подтверждения, посылаемый абонентом-приемником, имеет длину 100 бит и относительный приоритет при выдаче в моноканал перед информационными кадрами;
 - имеется всего одна попытка передачи каждого кадра.
- Необходимо исследовать с помощью моделирующей *GPSS*-программы ЛСС:
- характеристики работы ЛСС с заданной структурой при условии, что нагрузка, создаваемая каждым абонентом, равномерно распределяется между остальными абонентами;
 - характеристики работы ЛСС при распределении нагрузки таким образом, что 90 % кадров каждого абонента адресуются более удаленным получателям;
 - базовый способ доступа при условии, что в случае неполучения подтверждения возможно трехкратное повторение выдачи кадра;
 - характеристики работы ЛСС с базовым способом доступа при условии, что число абонентов увеличивается до 6 и соответственно увеличивается длина моноканала, а суммарная нагрузка остается неизменной;
 - способ доступа с тактированием моментов передачи кадров в моноканал, считая, что интервал между тактами постоянен и равен 120 мкс;

- способ доступа с прослушиванием моноканала перед началом передачи кадра.

Абоненты передают данные в канал по истечении некоторого времени после окончания передач других абонентов, время ожидания случайно и распределено равномерно на интервале 0...20 мкс;

- способ доступа с прослушиванием моноканала как перед началом передачи кадра, так и во время передачи. Учсть, что подтверждения передавать не надо.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Ознакомиться с приведенным примером в разделе «Общие сведения».

4.2. По заданию, выданному преподавателем, построить блок-диаграмму *GPSS*-программы.

4.3. Написать программу на языке *GPSS* по заданию, выданному преподавателем.

4.4. Провести моделирование случайного доступа к моноканалу.

4.5. Проанализировать результаты моделирования, выданные программой.

5. Содержание отчета

5.1. Задание и исходные данные по моделируемому варианту ЛСС.

5.2. Блок-диаграмму *GPSS*-модели работы одного участка ЛСС, расположенного в середине сети и состоящего из моделей работы одного абонента и смежного с ним звена моноканала.

5.3. Текст *GPSS*-программы с внесенными изменениями по исследуемому варианту ЛСС.

5.4. Результаты моделирования на ПЭВМ сети с заданным способом случайного доступа к моноканалу.

5.5. Выводы по работе.

6. Контрольные задания

6.1. Принципы организации ЛСС с общим каналом (моноканалом).

6.2. Особенности модели ЛСС с базовым асинхронным способом доступа.

6.3. Основные операторы языка *GPSS/PC*, необходимые для выполнения лабораторной работы.

6.4. Принцип взаимодействия моноканала ЛСС с абонентами.

6.5. Поясните закон изменения доли потерь кадров при увеличении интенсивности поступления кадров в моноканал.

6.6. Объясните изменение характеристик работы ЛСС с базовым способом доступа при увеличении допустимого числа повторных передач кадров, не получивших подтверждения.

6.7. Перечислите блоки *GPSS/PC*, которые используются при разработке модели ЛСС, и назовите их основные функции в модели.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев, А. Визуальное проектирование / А. Николаев, С. Зыль. – URL : <http://www.osp.ru/os/2006/05/2449867> (дата обращения: 20.06.2009).
2. Лобеев А.С. Визуализация ориентированных графов в пакете MATHCAD. – URL : <http://rrc.dgu.ru/res/exponenta/soft/Mathcad/studgraf2/main.asp.htm> (дата обращения: 20.06.2009).
3. Шумилкина, Е.А. Анализ циклов и разрезов в неориентированных графах / Е.А. Шумилкина, О.В. Смирнова. – URL : <http://rrc.dgu.ru/res/exponenta/soft/Mathcad/studgraf/main.asp.htm> (дата обращения: 20.06.2009).
4. Рубан, В. Г. Проект «Виртуальная лаборатория» / В. Г. Рубан, И. В. Волков, А. М. Матва. – URL : <http://mathmod.narod.ru/> (дата обращения: 20.06.2009).
5. Советов, Б.Я. Моделирование систем : учеб. пособие для вузов/ Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2003. – 295 с. – ISBN 5-06-004087-9.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа 1. Расчетное определение структурных характеристик сложных систем	3
Лабораторная работа 2. Графовое моделирование сложных процессов	11
Лабораторная работа 3. Свободное и вынужденное движение системы. Формула Коши	24
Лабораторная работа 4. Моделирование потоков событий. Исследование характеристик случайного доступа к моноканалу на имитационной модели локальной сети связи	35
Рекомендательный библиографический список	54

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ
И РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Методические указания к лабораторным работам

Составители:

ЛЕВКОВСКИЙ Дмитрий Иванович

МАКАРОВ Руслан Ильич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор А.В. Костров

Подписано в печать 14.09.10.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 3,25. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.