

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
“Оренбургский государственный университет”

Кафедра систем автоматизации производства

**Ю.Р. ВЛАДОВ**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛОГИКО-  
ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ  
НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
Государственного образовательного учреждения  
Высшего профессионального образования  
“Оренбургский государственный университет”

Оренбург 2005

УДК 681.5:519.718(075.8)  
ББК 32.965 + 30.1497  
В 57

Рецензент  
д.т.н., профессор В.Д. Шевеленко

**Владов Ю.Р.**  
**В57 Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности технических систем [Текст]: лабораторный практикум / Ю.Р. Владов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 42 с.**

Лабораторный практикум предназначен для студентов специальностей 210200, 220300, 270100, 270300, 170600 по дисциплинам "Надежность систем управления", "Модели и методы анализа проектных решений", "Интеллектуальные подсистемы", "Системы управления технологическими процессами и информационные технологии", "Управление техническими системами". Содержит методические указания к выполнению лабораторных, практических и самостоятельных работ на основе приведенного алгоритмического, методического и программного обеспечений логико - вероятностного метода анализа надежности технических систем.

ББК 32.965 + 30.1497

© Владов Ю.Р., 2005  
© ОГУ, 2005

## Введение

Проблема надежности является ключевой в развитии техники. Особенно велика ее роль в связи с широким использованием автоматических и автоматизированных систем управления и контроля. Последние требуют тщательной проработки вопросов надежности, начиная от проектирования и производства и кончая их испытаниями и эксплуатацией.

Показатели надежности систем можно количественно оценивать, используя информацию о надежности отдельных элементов. Для этого необходимо знать показатели надежности элементов и структурную схему расчета надежности, которая за исключением редких случаев не совпадает с другими схемами автоматизации. Одним из перспективных методов анализа надежности сложных систем является логико-вероятностный, который основан на математическом аппарате алгебры логики и предполагает определенные связи между отказами системы и событиями, от которых они зависят - отказами элементов системы. Цель проведения анализа надежности заключается в существенном повышении эффективности управления и контроля технологическими системами. Для достижения цели решены следующие основные задачи:

1 Предложена классификация структурных моделей надежности технических систем, предусматривающая 4 класса структур: параллельно-последовательные, мостиковые, типовые и комбинированные;

2 Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для каждого класса структур с возможностью получения количественных параметров безотказности при заданной структурной схеме системы.

По каждой работе составляется индивидуальный отчет. Содержание отчета: название и цель работы; основные теоретические положения; постановка задачи и алгоритм ее решения; структурная схема расчета надежности и исходные данные по надежности входящих в систему элементов, результаты расчета на ЭВМ результирующей надежности и эквивалентные структурные схемы; выводы по работе.

Перечень используемых сокращений:

СУ- система управления

ЛВР - логико-вероятностный расчет;

ППС - параллельно-последовательные структуры;

вбр - вероятность безотказной работы;

ТС - техническая система.

# 1 Автоматизированный логико - вероятностный расчет надежности параллельно последовательных структур технических систем

## 1.1 Цель работы

Изучить методику автоматизированного логико-вероятностного расчета (ЛВР) надежности для различных параллельно-последовательных структур (ППС). Определить результирующую вбр и другие показатели безотказности по заданной структурной схеме.

## 1.2 Основные теоретические положения

### 1.2.1 Показатели надежности систем управления

Способность ТС сохранять свои наиболее существенные свойства (безотказность, ремонтпригодность и др.) на заданном уровне в течение фиксированного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации называют надежностью. Под структурной надежностью ТС понимают надежность системы в целом при заданной ее структуре и известных значениях надежности всех входящих в нее элементов. Степень надежности ТС определяется показателями, связанными с явлением отказа - случайным событием, заключающимся в нарушении работоспособности системы.

Вероятностью безотказной работы (вбр)  $P(t)$  системы называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа:  $P(t) = P(T > t)$ . Здесь  $t$  - время, в течение которого определяется вбр;  $T$  – время работы ТС от ее включения до первого отказа.

Вероятностью отказа (во)  $Q(t)$  называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникнет хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными. Поэтому

$$Q(t) = P(T \leq t), \quad Q(t) = 1 - P(t). \quad (1.1)$$

Частота отказов  $a(t)$  есть плотность вероятности времени работы системы до первого отказа.

$$a(t) = -P'(t) = Q'(t), \quad Q(t) = \int_0^t a(t)dt;$$
$$P(t) = 1 - \int_0^t a(t)dt. \quad (1.2)$$

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  - плотность вероятности отказа ТС к моменту времени  $t$  при условии, что до этого момента отказ не произошел:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (1.3)$$

Интенсивность отказов и вбр связаны между собой зависимостью:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1.4)$$

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы ТС до отказа:

$$T_{\text{ср.}} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (1.5)$$

Особенностью показателей является то, что зная, например, вбр системы, можно найти остальные количественные показатели надежности. На этапе нормальной эксплуатации системы при экспоненциальном законе распределения  $\lambda(t) = \lambda$  и приведенные выражения упрощаются:

$$\lambda = \frac{-\ln P(t)}{t}; \quad T_{\text{ср.}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.6)$$

### 1.2.2 Алгоритм ЛВР надежности ППС

Расчеты надежности занимают ведущее место в проектировании и практике использования ТС. Для определения надежности систему разделяют на отдельные части, в отношении которых имеются или определяются количественные характеристики надежности. Декомпозицию производят так, чтобы отдельные части представляли собой конструктивно самостоятельные элементы, независимые в отношении отказов от других элементов. Если отказы соседних элементов зависят друг от друга, то их объединяют в один общий блок, для которого находят расчетным путем (или экспериментально, или по справочным данным) общую количественную характеристику надежности. Части ТС, имеющие самостоятельные количественные характеристики надежности, называются элементами расчета надежности или просто элементами.

Наиболее распространенными, как показывает инженерная практика, структурными схемами различных ТС являются ППС, содержащие ветви с параллельно соединенными элементами расчета надежности, совместный отказ которых приводит к отказу всей системы и ветви с последовательно соединенными элементами, отказ каждого из которых приводит к отказу ТС. ЛВР надежности таких ТС можно провести: путем последовательного упрощения структуры в соответствии с приведенным ниже алгоритмом. Алгоритм ЛВР надежности представим в алгебраической форме в виде структурного произведения:

$$A = A1 \wedge A2 \wedge A3 \wedge A4 \wedge A5 \wedge A6 \wedge A7 \wedge A8 \quad (1.7)$$

и включает в себя 8 функциональных операторов, связанных между собой операцией "конъюнкция" (логическим произведением). Содержание функциональных операторов следующее:

A1 – составить по функциональной схеме ТС, с учетом приведенных выше соображений о независимости отказов структурную схему расчета надежности. Причем, в соответствии с принятым предварительно соглашением об отказе в ТС, элементы расчета надежности соединяются или последовательно, или параллельно;

A2 – сформулировать условие работоспособности данной ТС;

A3 – составить логическую функцию работоспособности ТС ( $F_{\text{л}}$ );

A4 – минимизировать  $F_{\text{л}}$  и привести ее к виду, при котором она содержит минимальное число неповторяющихся членов. При этом используются известные из алгебры логики законы и тождества,

A5 – арифметизировать логическую функцию  $F_{\text{л}}$  заменой логических операции арифметическими по следующим правилам:

$$a \vee b = a + b - a \cdot b; a \wedge b = a \cdot b; \bar{a} = 1 - a \quad (1.8)$$

A6 – заменить события их вероятностями,

A7 – вычислить вероятность безотказной работы ТС;

A8 – проанализировать полученные результаты.

Некоторые из перечисленных операторов данного алгоритма в конкретной задаче могут отсутствовать в зависимости от степени полноты исходных данных.

Пример: Рассчитать надежность гибкого автоматизированного участка (ГАУ) для обработки корпусных деталей. Согласно функциональной схеме ГАУ. (рисунок 1.1) в его состав входят следующие элементы расчета надежности:

- специальный сверлильно - фрезерный станок - 2 шт.;

- промышленный робот - 1 шт.;

- кантователь - 1 шт.;

- автоматизированный склад-накопитель;

- управляющий вычислительный комплекс на базе ЭВМ.

A1: Т.к. работа на станках производится одновременно и независимо друг от друга, то данное соединение с точки зрения надежности является параллельным. Выход из строя (отказ) любого другого элемента ГАУ может быть представлена ППС следующего вида (рисунок 1.2).

A2: ГАУ отказывает только при отказе УВК и станка № 1 или станка № 2 и робота и кантователя и склада.

A3:  $F_{\text{л}} = 1 \wedge (2 \vee 3) \wedge 4 \wedge 5 \wedge 6$ .

A4:  $F_{\text{л}}$  не минимизируется, т.к. отсутствуют повторяющиеся члены.

A5:  $F_{\text{ар.}} = 1 \cdot (2+3 - 2 \cdot 3) \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6$ .

A6:  $P = P_1 \cdot (P_2 + P_3 - P_2 \cdot P_3) \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6$ .

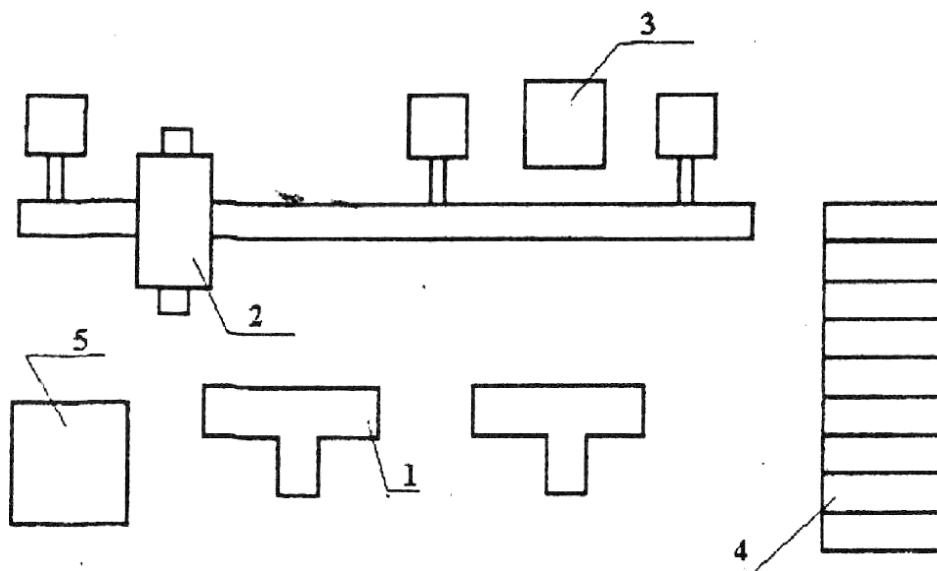


Рисунок 1.1 – Функциональная схема ГАУ

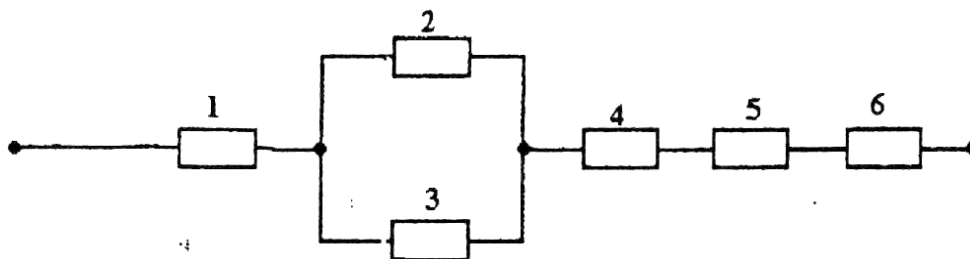


Рисунок 1.2 – Структурная схема надёжности ГАУ

А7 и А8: Вычисление вбр ГАУ осуществить с использованием ЭВМ. Для анализа полученного результата предусмотреть возможность изменения вбр составляющих элементов с определенным шагом.

### 1.2.3 Постановка задачи автоматизированного ЛВР надёжности ППС

Дана или составлена структурная схема надёжности ГАУ, отражающая его конструктивную или техническую сторону и систему управления. Структурная схема надёжности состоит из ряда элементов с известными значениями вбр и соединёнными между собой только последовательно или параллельно.

Требуется формализовать с использованием ЭВМ нахождение результирующей структурной надёжности такой ТС, т.е. обеспечить ее нахождение в автоматизированном режиме. Такой ЛВР надёжности ТС назовем автоматизированным. Для решения задачи необходимо составить алгоритм и программу автоматизированного ЛВР надёжности.

### 1.2.4 Описание алгоритма решения задачи

Составим семейство элементарных ППС, состоящее из 10 вариантов, в достаточной степени отражающие все многообразие структур. Каждое из элементарных ППС состоит не более чем из 5 элементов с известными вбр  $P_1, P_2, \dots, P_5$ . Соответствующие варианты элементарных ППС приведены на рисунке 1.3. Согласно алгоритму ЛВР надежности найдены расчетные выражения результирующей вбр ППС для каждого варианта, которые приведены на этом же рисунке. Теперь можем сформулировать следующий алгоритм автоматизированного ЛВР надежности ППС.

1 Разбить общую структурную схему ТС на ряд элементарных ППС и их пронумеровать.

2 Последовательно подбирать для каждой выделенной элементарной ППС соответствующий вариант, руководствуясь рисунком 1.3.

3 Ввести известные значения вбр всех 5-ти элементов  $P_i$  в ПК для каждой

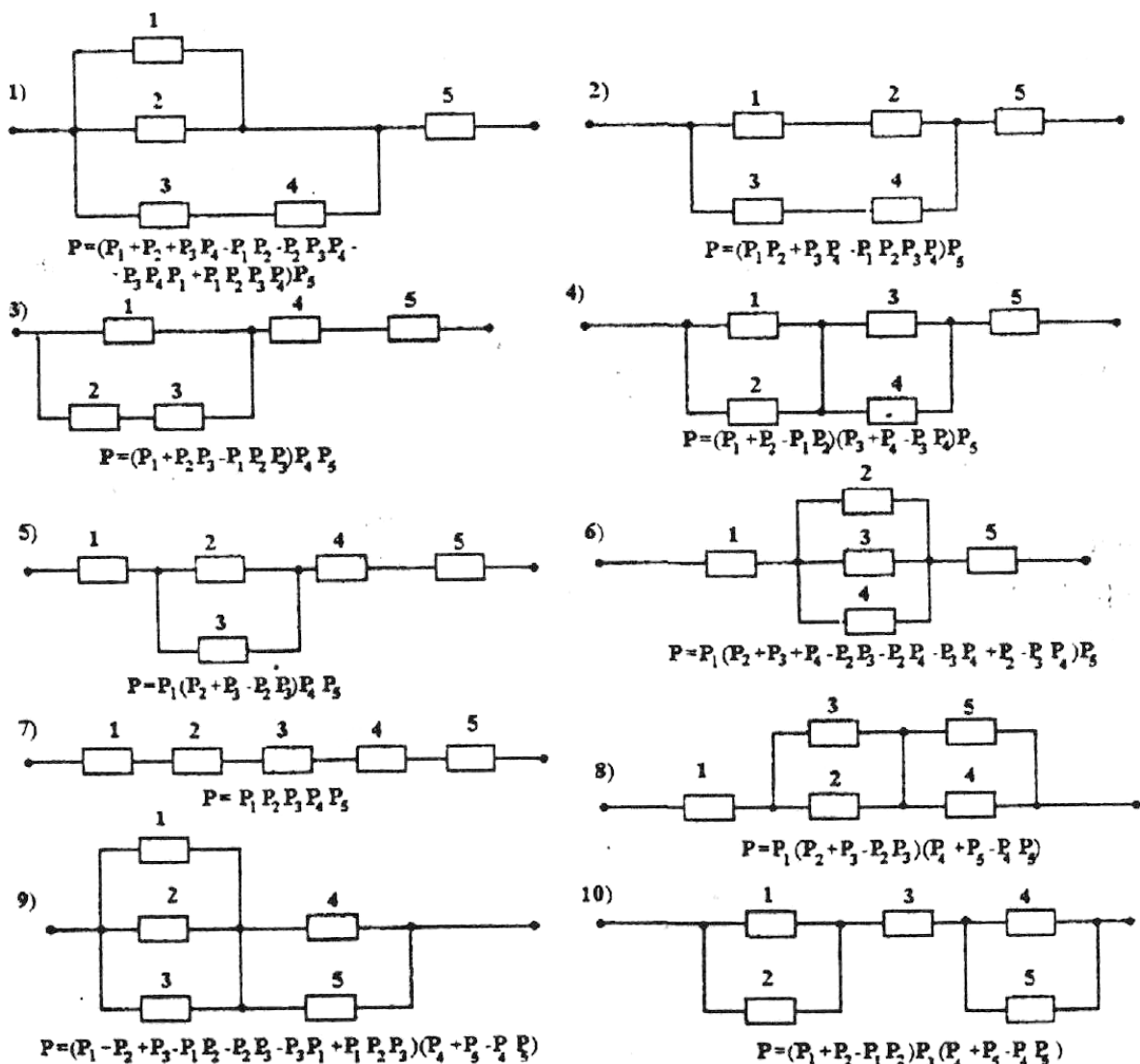


Рисунок 1.3 – Структурные схемы надёжности элементарных ППС



элементарной ППС, а также соответствующий шаг изменения вбр этих элементов  $\Delta P_i$ . Причем в случае отсутствия части элементов вводить их вбр, равные 1. Если не предполагается исследовать зависимость результирующей вбр от изменения вбр отдельных элементов, то вводить  $\Delta P_i$ , равные нулю. Затем вводится номер варианта рассматриваемой элементарной ППС.

4 Считывать с монитора ПК значения результирующей вбр для каждой элементарной ППС, например, при  $\Delta P_i \neq 0$ ,  $P_{\min}$ ,  $P_{sr}$ ,  $P_{\max}$ , а при  $\Delta P_i = 0$   $P_{\min} = P_{sr} = P_{\max} = P$ .

5 Составить эквивалентную структурную схему расчета надежности, исходные значения вбр элементов в которой взять согласно п.4 данного алгоритма.

6 Проанализировать полученные результаты общей структурной надежности ТС, если остался один эквивалентный элемент, или повторять пп.1-5 до тех пор, пока не будет найдена искомая надежность всей ТС. Для реализации описанного алгоритма автоматизированного ЛВР надежности составлено соответствующее программное обеспечение для ПК.

### 1.2.5 Характеристика программного обеспечения

Описанный алгоритм автоматизированного ЛВР надежности ППС сложных ТС реализован разработанной программой NADP. Схема алгоритма представлена на рисунке 1.4. Здесь использованы следующие обозначения:  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) - исходные значения вбр элементов элементарных ППС,  $\Delta P_i$ - требуемый шаг изменения вбр элементов; Var-целочисленная переменная, соответствующая варианту элементарной ППС; I(1,10) – индексная переменная цикла.

Инструкция по использованию NADP заключается в последовательном вводе в диалоговом режиме следующей информации: вбр каждого элемента выделенной ППС; шаг изменения вбр каждого элемента; переменная Var, изменяющаяся от 1 до 10. В программе принято изменение I от 1 до 10 с шагом по умолчанию равным 1.

Вывод информации на монитор или печать осуществляется в следующем порядке: N варианта; значение I как N шага цикла; значения вбр элементов  $P_i$  и результирующие значения надежности выделенной элементарной ППС на каждом шаге цикла.

Примечание:

1). Если анализа надежности по каким-либо причинам проводить не требуется, то принять все  $\Delta P_i = 0$ ;

2). Если в рассматриваемой ППС элементов менее пяти, то для недостающих элементов вводить  $P_i = 1$ , а  $\Delta P_i = 0$ , соответствующую абсолютно надежным элементам.

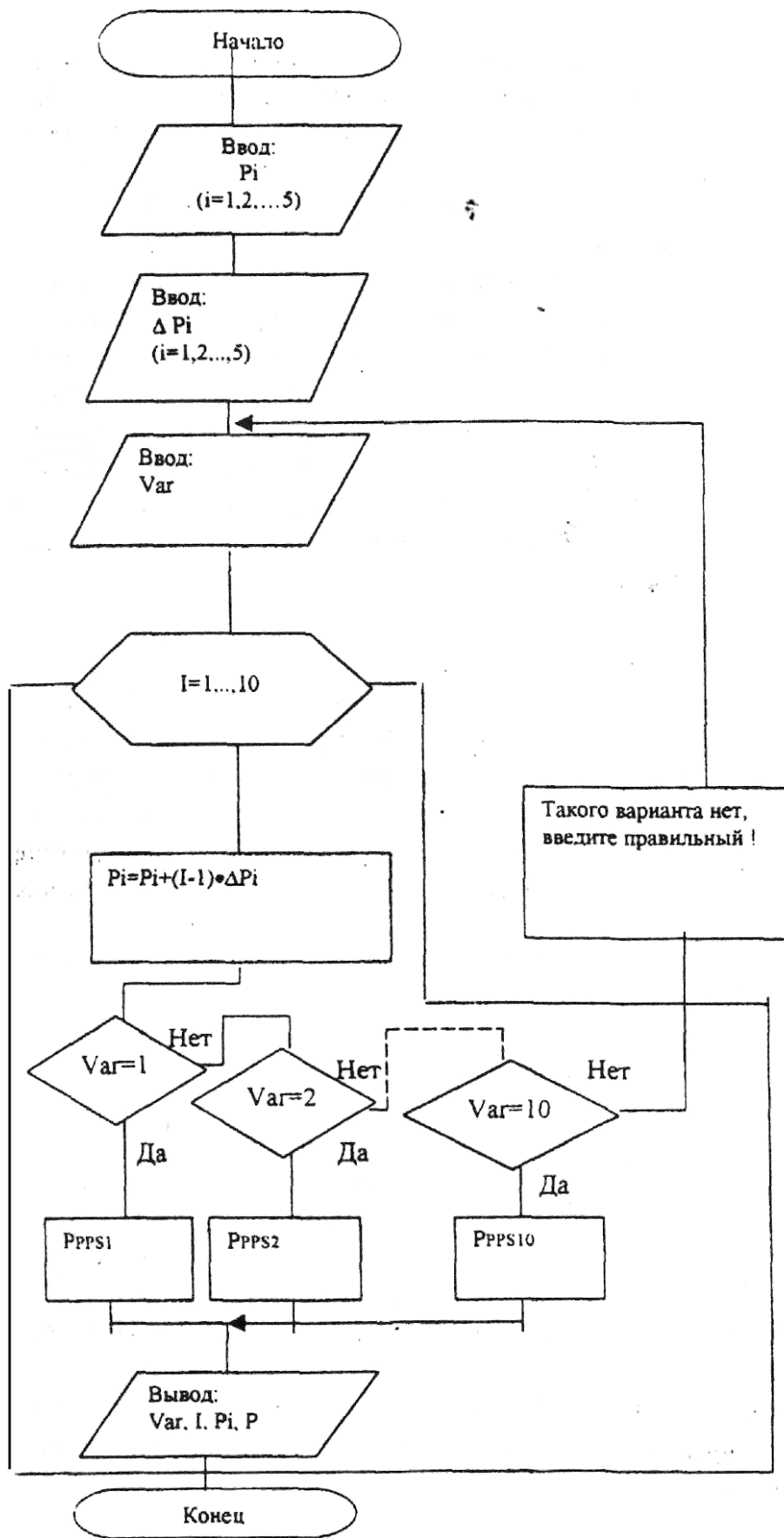


Рисунок 1.4 – Схема автоматизированного ЛВР надежности ТС с элементарными ППС

## 1.3 Порядок выполнения работы

### 1.3.1 Подготовительная работа

- Зарисовать структурную схему надежности ТС в соответствии с рисунком 1.5, общую для всех вариантов, произвести разбивку на элементарные ППС, выделив их пунктирной линией, и пронумеровать;
- Подобрать по рисунку 1.3 соответствующие варианты для выделенных элементарных ППС;
- Исходные данные для каждого варианта найти, используя следующие условные соотношения:  $P_i (i = 1, 2, \dots, 20) = (0,60 + i/100) + 10^{-3} \cdot N$ ;  
 $\Delta P_i (i = 1, 2, \dots, 20) = 10^{-5} \cdot i \cdot N$ ,  
где  $N$  – номер варианта соответствующий двум последним цифрам номера зачетки;  
 $i$  – номер элемента в структурной схеме надежности ТС.

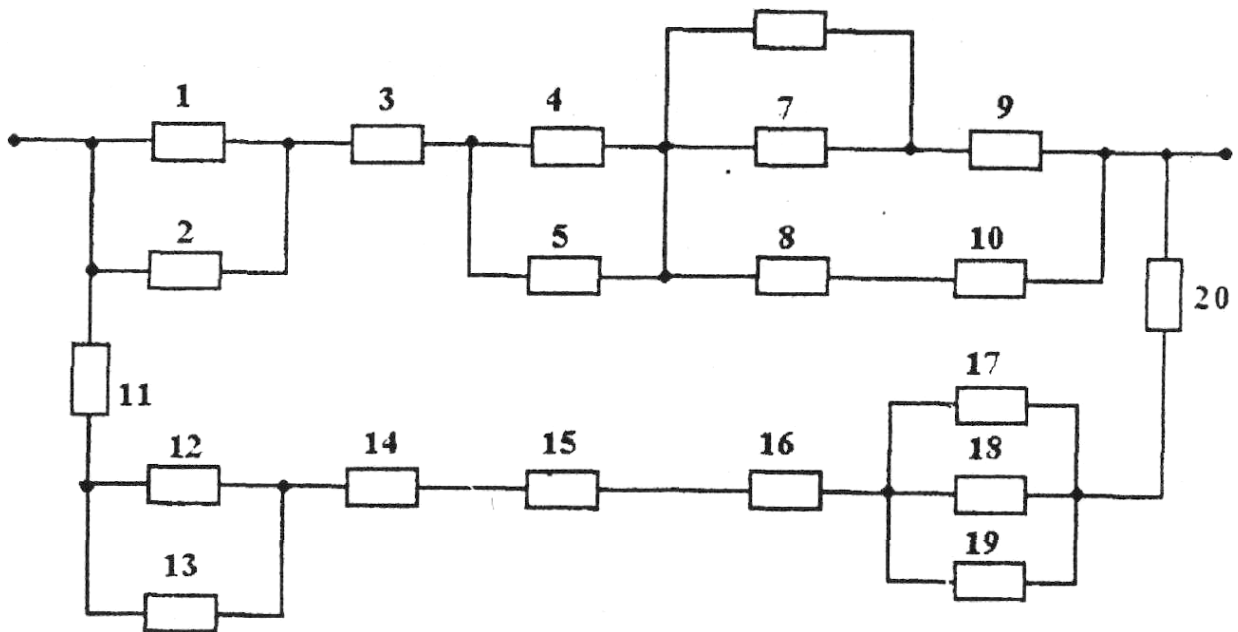


Рисунок 1.5 – Структурная схема надежности сложной СУ с ППС 1, 2,...,20 - номера элементов

### 1.3.2 Работа за компьютером

- С помощью ПК подсчитать результирующие вбр для каждой выделенной элементарной ППС,
- Построить эквивалентную структурную схему надежности на втором уровне и выделить снова элементарные ППС, для которых также подобрать соответствующие варианты;

- Если бы структурная схема расчета надежности ТС содержала большее количество элементов, то повторить пп.1 и 2 до тех пор, пока не останется один эквивалентный элемент, надежность которого соответствует надежности всей ТС;

- Используя приведенные соотношения для показателей безотказности при постоянной интенсивности отказов, вычислить за определенное время  $t = 100 \cdot N$ , остальные показатели надежности: вероятность отказов; частоту отказов; интенсивность отказов и среднюю наработку на отказ.

- Проанализировать уровень полученной результирующей надежности ТС и предложить возможные варианты ее повышения.

## **1.4 Контрольные вопросы**

1.4.1 Какие показатели надежности ТС Вам известны?

1.4.2 Содержание функциональных операторов, входящих в алгоритм ЛВР надежности ТС?

1.4.3 Понятие о надежности ТС и о ППС. Что понимается под элементарной ППС?

1.4.4 Расскажите о постановке задачи автоматизированного ЛВР надежности ППС.

1.4.5 Выведите выражение для определения результирующей вбр элементарной ППС  $i$ -го варианта.

1.4.6 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности ППС.

1.4.7 Поясните схему алгоритма программы NADP.

1.4.8 Как проверить правильность работы программы?

## 2 Автоматизированный логико - вероятностный расчет надежности мостиковых структур технических систем

### 2.1 Цель работы

Изучить методику автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур. Определить результирующие показатели надежности по заданной структурной схеме с мостиковыми структурами.

### 2.2 Основные теоретические положения

#### 2.2.1 Мостиковые структуры

Назовем структуру, изображенную на рисунке 2.1 и состоящую из пяти элементов расчета надежности, один элемент которой включен в ее диагональ, элементарной мостиковой структурой. Диагональный элемент не позволяет считать, что остальные элементы соединены последовательно или параллельно. Поэтому использовать рассмотренный автоматизированный ЛВР надежности для параллельно-последовательных структур, не представляется возможным.

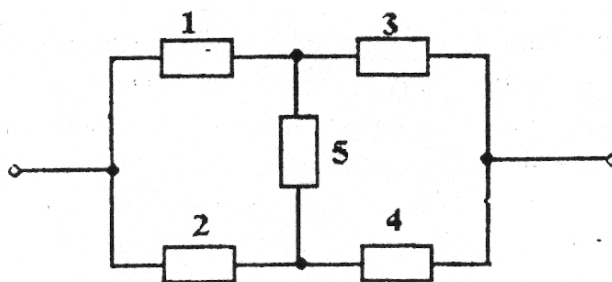


Рисунок 2.1 – Структурная схема надежности элементарной мостиковой структуры

Целесообразно мостиковые структуры выделить в отдельный класс структур и учесть при разработке автоматизированного логико-вероятностного расчета надежности эти особенности. Далее рассмотрим два метода ЛВР надежности элементарных мостиковых структур,

#### 2.2.2 Методы ЛВР надежности элементарных мостиковых структур

##### 2.2.2.1 Метод разложения по базовому элементу

Метод основан на использовании теоремы о сумме вероятностей несовместных событий и заключается в следующем. В исходной структуре в соответствии с рисунком 2.1 выбирается базовый элемент и предполагается:

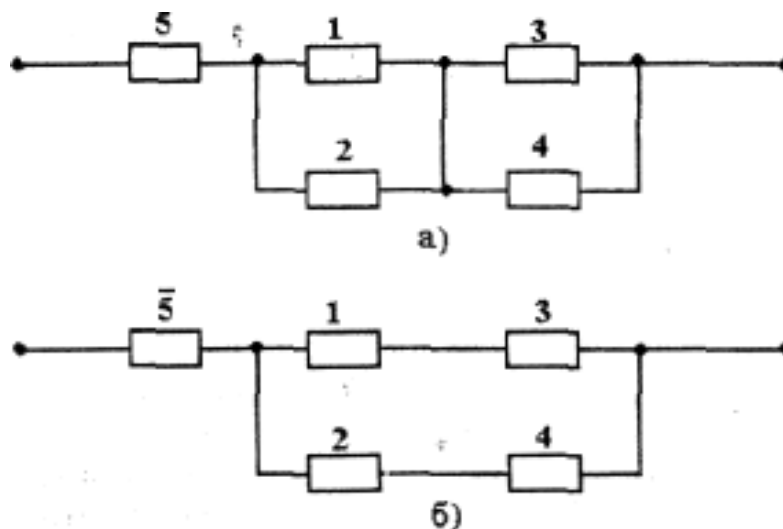


Рисунок 2.2 – Структурные схемы надежности с абсолютно надежным (а) и абсолютно не надежным (б) базовым элементом

- базовый элемент находится в работоспособном состоянии (рисунок 2.2 а);
- базовый элемент находится в состоянии отказа (рисунок 2.2 б).

При этом в качестве базового элемента целесообразно выбирать элемент, имеющий наибольшее количество связей, т.е. диагональный элемент. Для этих двух несовместных событий исходная элементарная мостиковая структура преобразовывается в две новые структурные схемы в соответствии с рисунком 2.2, представляющие собой элементарные ППС.

В первой из них базовый элемент закорачивается, а во второй – разрывается. Вычисляются вероятности безотказной работы (вбр) каждой из полученных ГШС и умножаются: первая на вбр базового элемента, а вторая – на вероятность отказа базового элемента. Полученные произведения складываются. Найденная сумма соответствует искомой вбр исходной элементарной мостиковой структуры. Вбр первой структуры, изображенной на рисунке 2.2а, найдется:

$$P_6 = P_5 [(P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2) \cdot (P_3 + P_4 - P_3 \cdot P_4)] \quad (2.1)$$

и надежность второй ППС в соответствии с рисунком 2.2б составит:

$$P_7 = (1 - P_5) \cdot (P_1 \cdot P_3 + P_2 \cdot P_4 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4); \quad (2.2)$$

Результирующая вбр исходной структуры находится в соответствии с параллельным соединением обеих ППС:

$$P = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7. \quad (2.3)$$

### 2.2.2.2 Метод преобразования узлов сложной конфигурации

Сущность метода заключается в том, что узел сложной конфигурации структурой схемы надежности ТС заменяется на узел более простой конфигурации с сохранением показателей надёжности преобразуемого узла. При этом структура с преобразованным узлом упрощается и сводится к классу ППС.

Пусть, например, требуется заменить узел в виде треугольника элементов 12, 23 и 31 на рисунке 2.3 на узел в виде звезды элементов: 1, 2 и 3 при условии, что вероятность отказа элемента 12 равна  $q_{12}$ , элемента 23 -  $q_{23}$  и элемента 31 -  $q_{31}$ . Переход к соединению элементов звездой не должен изменять надежность цепей 1-2, 2-3 и 3-1. Условия сохранения показателей надежности рассматриваемых цепей математически выразятся следующими равенствами:

$$\begin{aligned}q_1 + q_2 - q_1 \cdot q_2 &= q_{12} (q_{23} + q_{31} - q_{23} \cdot q_{31}); \\q_2 + q_3 - q_2 \cdot q_3 &= q_{23} (q_{31} + q_{12} - q_{31} \cdot q_{12}); \\q_3 + q_1 - q_3 \cdot q_1 &= q_{31} (q_{12} + q_{23} - q_{12} \cdot q_{23}).\end{aligned}\tag{2.4}$$

Если пренебречь произведениями малых величин вида  $q_i \cdot q_j$  в левой части и вида  $q_{ij} \cdot q_{kl} \cdot q_{mn}$  в правой части, то получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}q_1 + q_2 &= q_{12} \cdot q_{23} + q_{12} \cdot q_{31}; \\q_2 + q_3 &= q_{23} \cdot q_{31} + q_{23} \cdot q_{12}; \\q_3 + q_1 &= q_{31} \cdot q_{12} + q_{31} \cdot q_{23}.\end{aligned}\tag{2.5}$$

Вычитая из одного уравнения другое, складывая полученное с третьим уравнением, и действуя указанным образом по кругу, получаем решение системы уравнений в следующем виде:

$$\begin{aligned}q_1 &= q_{12} \cdot q_{31}; \\q_2 &= q_{23} \cdot q_{12}; \\q_3 &= q_{31} \cdot q_{23}.\end{aligned}\tag{2.6}$$

При обратном преобразовании звезды элементов в треугольник в соответствии с рисунком 2.4 необходимо найти решение системы уравнений (2.5) относительно  $q_{12}$ ,  $q_{23}$ ,  $q_{31}$ .

Из (2.6) имеем:

$$q_{12} = \frac{q_1}{q_{31}}; \quad q_{23} = \frac{q_2}{q_{12}}; \quad q_{31} = \frac{q_3}{q_{23}}.\tag{2.7}$$

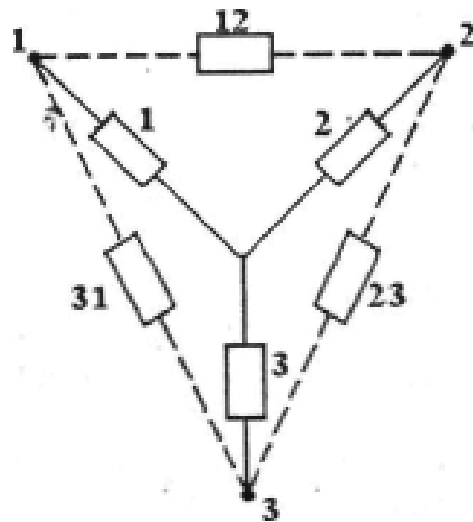


Рисунок 2.3 – Схема преобразования треугольника элементов расчета надежности в звезду

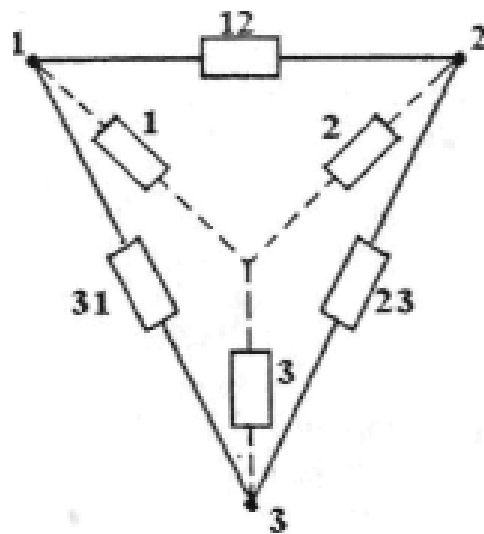


Рисунок 2.4 – Схема преобразования звезды элементов расчета надежности в треугольник



Получаем три уравнения с тремя неизвестными. Путем подстановки несложно получить следующие окончательные выражения при таком преобразовании звезды элементов в треугольник:

$$q_{12} = \sqrt{\frac{q_1 \cdot q_2}{q_3}}; \quad q_{23} = \sqrt{\frac{q_2 \cdot q_3}{q_1}}; \quad q_{31} = \sqrt{\frac{q_3 \cdot q_1}{q_2}}. \quad (2.8)$$

2.2.2.3 ЛВР надежности элементарной мостиковой структуры преобразованием треугольника элементов в звезду

У элементарной мостиковой структуры элементы расчета надежности 1, 2, 5 и 3, 4, 5 образуют две схемы соединения треугольник. Преобразуем, например, соединение элементов 1, 2, 5 треугольник в звезду с элементами 12, 25 и 51. В соответствии с рисунком 2.5а используем найденные выражения (2.6), предварительно преобразовав их в соотношения для вбр по формуле  $q_{ij} = 1 - P_{ij}$ :

$$\begin{aligned} P_{12} &= 1 - (1 - P_1)(1 - P_2); \\ P_{25} &= 1 - (1 - P_2)(1 - P_5); \\ P_{51} &= 1 - (1 - P_5)(1 - P_1). \end{aligned} \quad (2.9)$$

Тогда, вбр преобразованной структурной схемы надежности, относящейся к классу ППС, в соответствии с рисунками 2.5б и 2.5в, определится:

$$\begin{aligned} P_6 &= P_{51} \cdot P_3; \\ P_7 &= P_{25} \cdot P_4; \\ P_8 &= P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Результирующая вбр элементарной мостиковой структуры (рисунок 2.5г) составит:

$$P = P_{12} \cdot P_8. \quad (2.11)$$

2.2.2.4 ЛВР надежности элементарной мостиковой структуры преобразованием звезды элементов 1, 3, 5 в треугольник с элементами 13, 35 и 51

У элементарной мостиковой структуры элементы расчета надежности 1, 3, 5, а также 2, 4, 5 образуют две схемы соединения звезда. Преобразуем, например, соединение элементов 1, 3, 5 в треугольник, используя ранее полученные выражения (2.8) (рисунок 2.6а), предварительно преобразовав их в соотношения для вбр. Эквивалентные значения вбр для новых элементов будут:

$$P_{13} = 1 - \sqrt{\frac{(1 - P_1) \cdot (1 - P_3)}{(1 - P_5)}}; \quad P_{35} = 1 - \sqrt{\frac{(1 - P_3) \cdot (1 - P_5)}{(1 - P_1)}}; \quad P_{51} = 1 - \sqrt{\frac{(1 - P_5) \cdot (1 - P_1)}{(1 - P_3)}}. \quad (2.12)$$

Вбр исходной структуры после промежуточных преобразований 5-ти элементной ППС (рисунок 2.6б), затем 3 (рисунок 2.6в) и 2 элементных (рисунок 2.6г) ППС найдется:

$$\begin{aligned} P_6 &= P_{51} + P_2 - P_{51} \cdot P_2; \\ P_7 &= P_{35} + P_4 - P_{35} \cdot P_4; \\ P_8 &= P_6 \cdot P_7; \\ P &= P_{13} + P_8 - P_{13} \cdot P_8. \end{aligned} \quad (2.13)$$

### 2.3 Постановка задачи автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур

Дана или самостоятельно составлена структурная схема надежности сложной ТС. Структурная схема надежности соответственно состоит из большого количества элементов с известными исходными значениями вбр и набора элементарных мостиковых структур.

Требуется формализовать с использованием ЭВМ нахождение результирующей структурной надежности такой ТС, т.е. обеспечить ее нахождение в автоматизированном режиме. Соответственно такой ЛВР надежности назовём автоматизированным и для его реализации необходимо составить алгоритм и программу.

### 2.4 Описание алгоритма решения задачи

2.4.1 Разбить заданную структурную схему ТС на ряд элементарных мостиковых структур и их пронумеровать.

2.4.2 Последовательно подобрать для каждой выделенной элементарной мостиковой структуры целесообразный метод ЛВР надежности.

2.4.3 Ввести в ЭВМ известные вбр всех пяти элементов  $P_i$  для каждой элементарной мостиковой структуры, а также соответствующий шаг изменения вбр этих элементов  $\Delta P_i$ . Кроме того, последовательно вводить в ЭВМ номер варианта, соответствующий выбранному методу ЛВР надежности.

2.4.4 Считывать с дисплея ЭВМ значения результирующей вбр для каждой элементарной мостиковой структуры, например, минимальные, средние и максимальные значения.

2.4.5 Составить эквивалентную структурную схему расчета надежности, исходные значения вбр элементов в которой взять согласно п. 2.4.4 данного алгоритма.

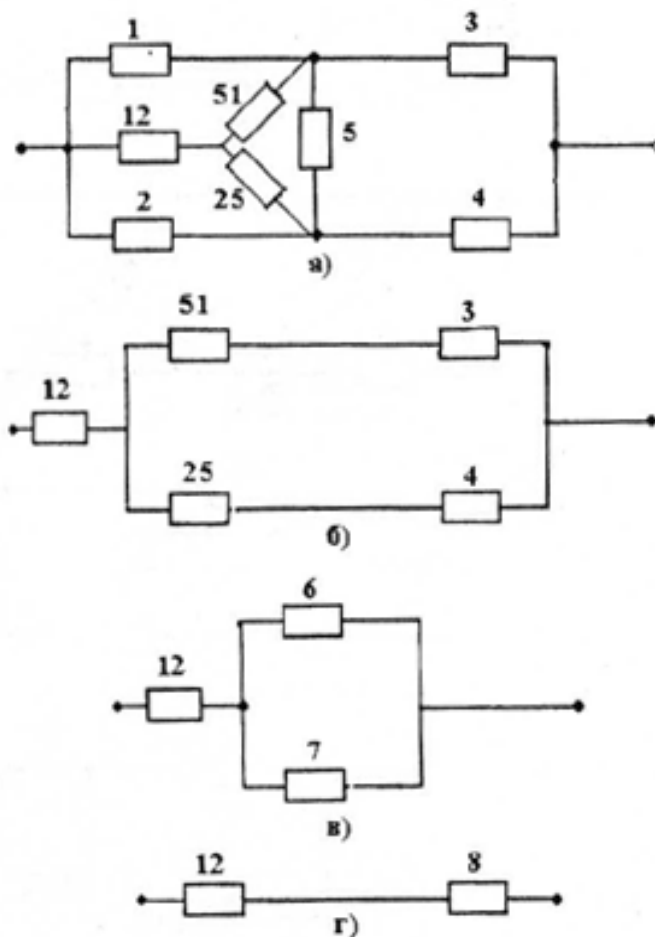


Рисунок 2.5 – Схема расчета надежности элементарной мостиковой структуры преобразованием треугольника элементов 1, 2, 5 в звезду 12, 25, 51 (а) и дальнейшим упрощением ППС (б, в, г)

2.4.6 Проанализировать полученные результаты в случае, если остался один эквивалентный элемент, или повторять пп. 1-5 до тех пор, пока не будет найдена искомая результирующая надежность всей системы.

Для реализации описанного алгоритма составлена соответствующая программа NADM.

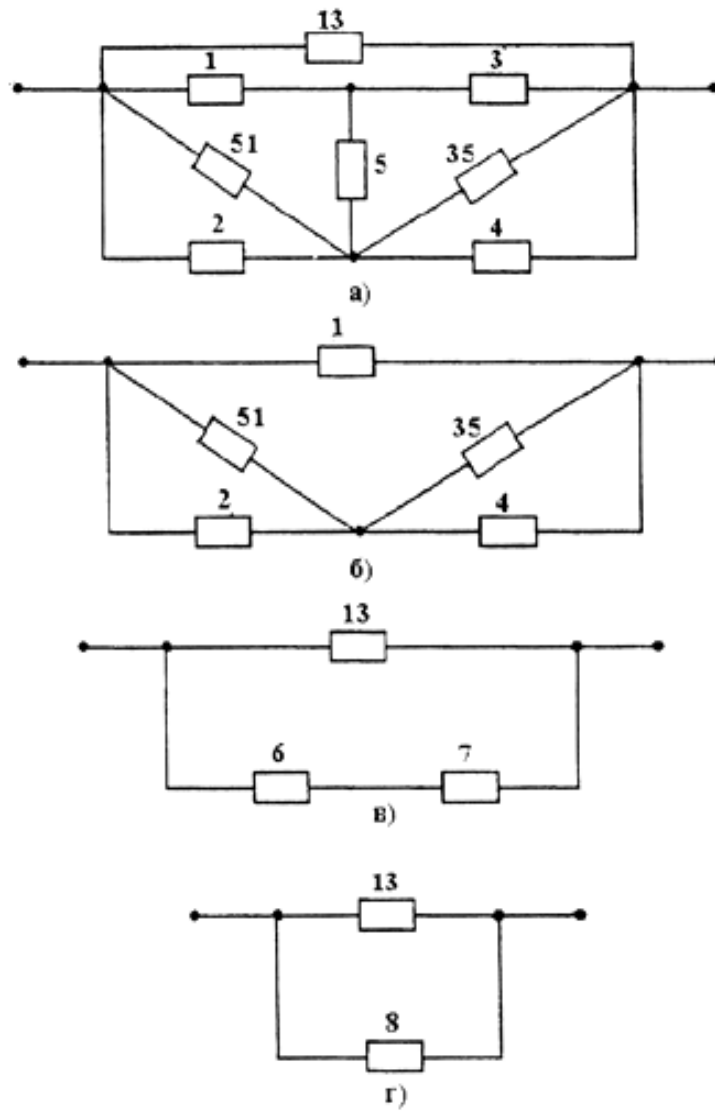


Рисунок 2 б – Схема расчета надежности мостиковой структуры преобразованием звезды элементов в треугольник (а) и дальнейшим упрощением ППС (б, в, г)

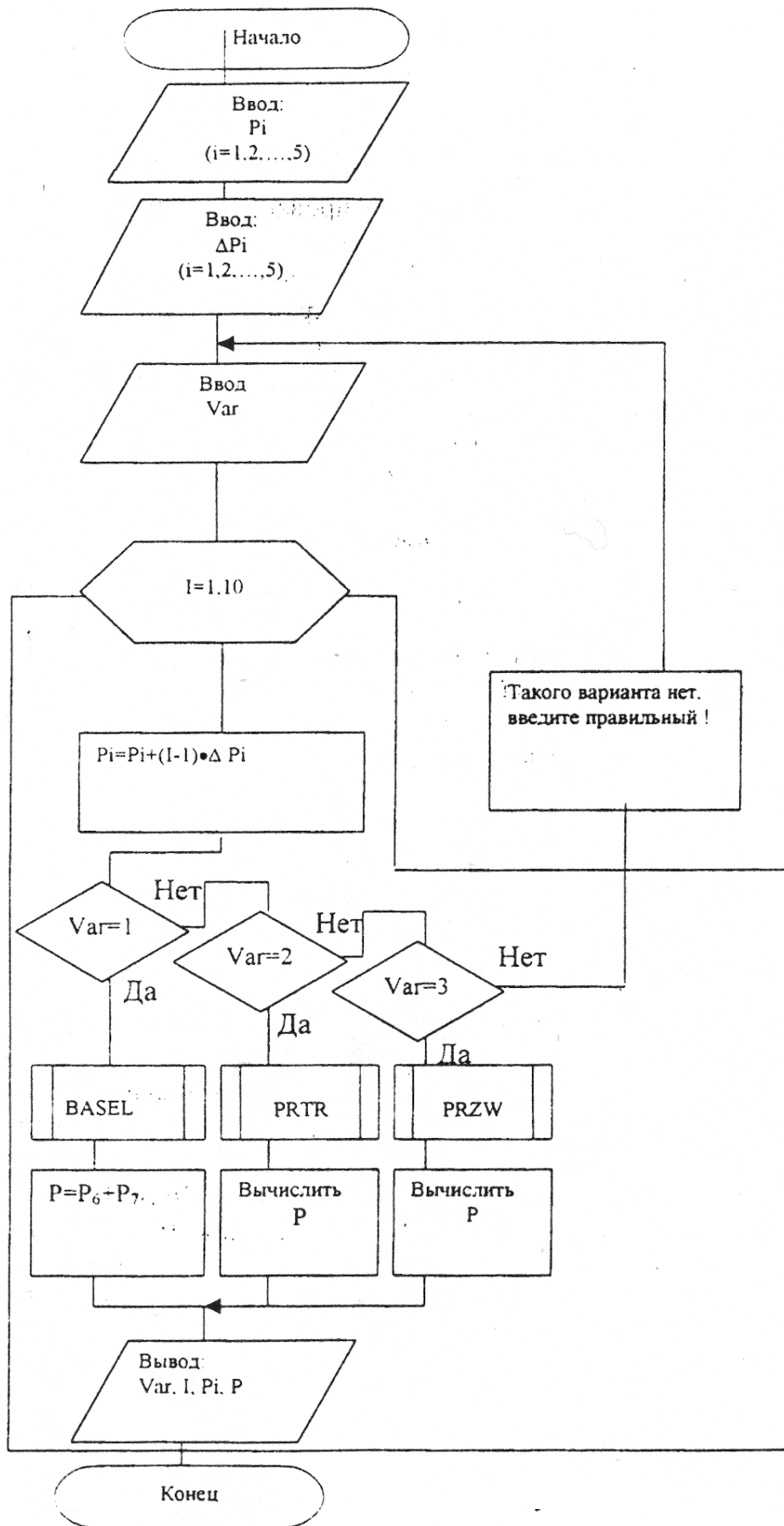


Рисунок 2.7 – Схема автоматизированного ЛВР надежности ТС элементарными мостиковыми структурами

## 2.5 Характеристика программного обеспечения

Разработанная программа NADM для автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур отражена схемой (рисунок 2.7), в которой использованы следующие обозначения:  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) - исходные известные значения элементов элементарных мостиковых структур;  $\Delta P_i$  - целесообразный для анализа изменения надежности шаг изменения вбр элементов;  $Var$  – переменная, соответствующая варианту выбранного метода расчета;  $I(1,10)$  – цикловая индексная переменная.

Особенностью программы NADM является наличие 3-х подпрограмм: BASEL – метод разложения по базовому элементу; PRTR – метод преобразования треугольника элементов и PRZW – метод преобразования звезды элементов, в которых вычисляется вбр преобразованных структур.

### 2.5.1 Инструкция по использованию программы NADM

Исходная информация последовательно вводится в следующем порядке:

- вбр каждого элемента элементарной мостиковой структуры;
- шаг изменения для вбр каждого элемента;
- целая переменная  $Var$ , изменяющаяся от 1 до 3.

На дисплей или печать выводится следующая информация:  $N$  варианта; значение цикловой переменной, как № шага; значения вбр всех пяти элементов и результирующая надежность выделенной элементарной мостиковой структуры на каждом шаге цикла.

#### Примечание

1). Если анализ изменения результирующей надежности структуры не требуется, то принять все  $\Delta P_i$  равными нулю.

2). Если в рассматриваемой мостиковой структуре элементов менее 5-ти, то для недостающих элементов ввести информацию ( $P_i = 1$ ,  $\Delta P_i = 0$ ), соответствующую абсолютно надежным элементам.

Проверить правильность работы ЭВМ можно следующим образом. Если при каких-то значениях вбр элементов принять шаг изменения  $\Delta P_i$ , равным нулю, то значение  $P_i$  останутся неизменными, а при  $\Delta P_i \neq 0$  значения вбр для элементов с увеличением индекса также увеличиваются на величину выбранного шага.

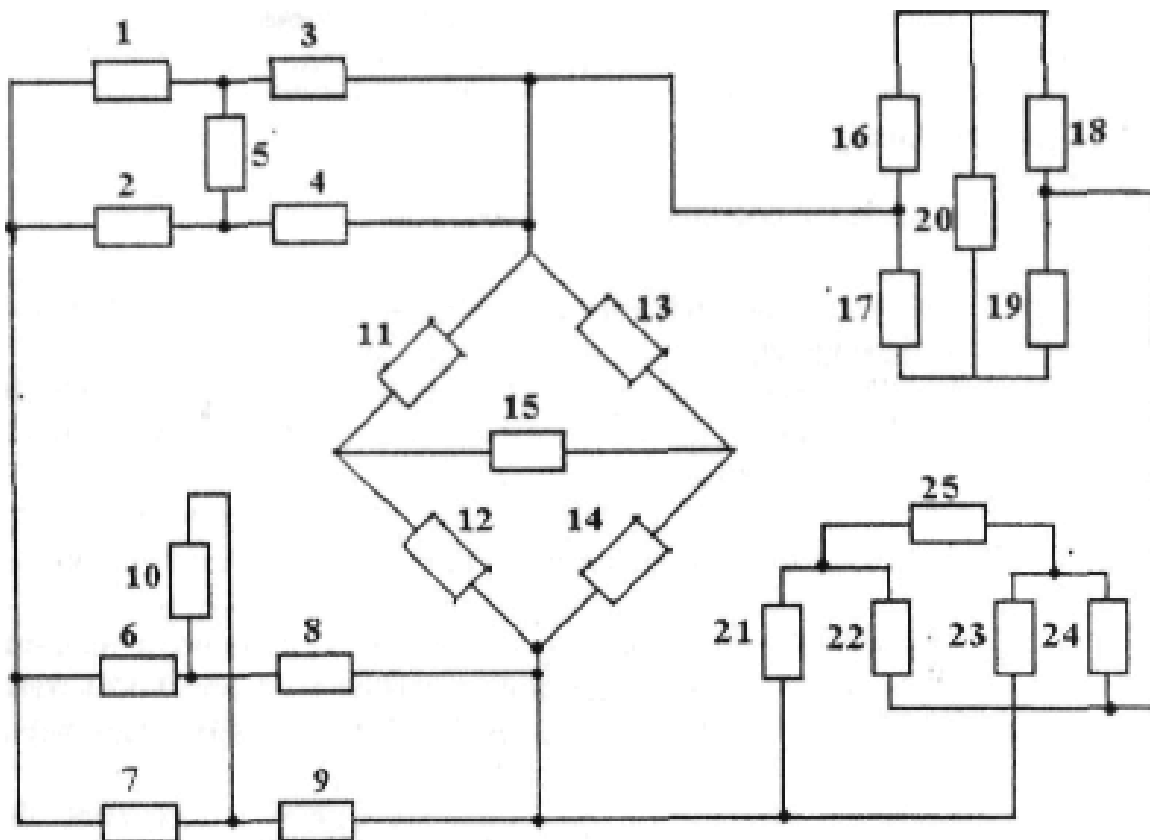


Рисунок 2.8 – Структурная схема расчета надежности сложной ТС с различными изображенными элементарными мостиковыми структурами: 1, 2, ..., 25 – номера элементов

## 2.6 Порядок выполнения работы

### 2.6.1 Подготовительная работа

- Зарисовать структурную схему надежности ТС (рисунок 2.8), произвести разбивку ее на элементарные мостиковые структуры, выделив каждую тонкой линией, и пронумеровать.
- Выбрать вариант преобразования для выделенных элементарных мостиковых структур:
  - Var = 1 – метод разложения по базовому элементу;
  - Var = 2 – метод преобразования треугольника элементов в звезду;
  - Var = 3 – метод преобразования звезды элементов в треугольник.
- Исходные данные для каждого варианта задания найти путем использования следующих выражений:

$$\begin{aligned}
 P_i (i = 1, 2, \dots, 25) &= (0,60 + i / 100) + 0,001 \cdot N; \\
 \Delta P_i (i = 1, 2, \dots, 25) &= 10^{-5} \cdot i \cdot N; \\
 t &= 100 \cdot N,
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

где  $N$  – номер варианта, совпадающий с последними двумя цифрами номера зачетки.

## 2.6.2 Работа на персональном компьютере

- С помощью ЭВМ подсчитать результирующие вбр для каждой элементарной структуры.
- Составить эквивалентную структурную схему надежности и выделить новые элементарные мостиковые структуры следующего уровня, для которых также выбрать вариант расчета.
- Повторить предыдущие пункты до тех пор, пока не останется один эквивалентный элемент, надежность которого соответствует надежности системы.
- Вычислить за определенное время  $t$ , используя найденные значения вбр, другие показатели надежности системы: вероятность отказов  $Q(t)$ , частоту отказов  $a(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda$  и среднюю наработку на отказ  $T_{\text{ср}}$ .
- Проанализировать уровень полученной надежности системы и предложить возможные структурные или элементные варианты ее повышения.

## 2.7 Контрольные вопросы

- 2.7.1 Назовите количественные показатели безотказности ТС.
- 2.7.2 Понятие о надежности ТС и о элементарной мостиковой структуре.
- 2.7.3 Сущность метода разложения по базовому элементу.
- 2.7.4 Понятие о методе преобразования узлов сложной конфигурации.
- 2.7.5 Расскажите о ЛВР надежности мостиковых структур преобразованием:  
а) треугольника элементов в звезду; б) звезды элементов в треугольник.
- 2.7.6 Постановка задачи автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур.
- 2.7.7 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур.
- 2.7.8 Поясните схему программы NADM.
- 2.7.9 Как оценить правильность работы программы?



## 3 Автоматизированный логико - вероятностный расчет надежности типовых структур технических систем

### 3.1 Цель работы

Изучить методику автоматизированного ЛВР надежности типовых структур. Определить результирующие показатели надежности по заданной структурной схеме, содержащей разнообразные типовые структуры.

### 3.2 Основные теоретические положения

#### 3.2.1 Типовые структуры

Под типовыми структурами понимают структуры, наиболее часто применяющиеся для передачи информационной и командной информации в информационно-измерительных системах (ИМС), автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) и др. К ним относятся следующие структуры с обходными каналами (ОВК) (рисунок 3.1а), иерархическая несимметричная 3-уровневая, состоящая из 5-ти каналов передачи информации (IER.5) (рисунок 3.1б); иерархическая симметричная, состоящая из 6 каналов передачи информации (IER. 6) (рисунок 3.1в) и сетевые структуры, состоящие из 5 каналов (SET. 5) (рис. 3.1г) и 6 каналов (SET. 6) (рисунок 3.1д). В последней канал 6 – двунаправленный.

#### 3.2.2 ЛВР надежности передачи информации в типовых структурах

При ЛВР надежности типовых структур используем известные законы и теоремы алгебры логики, в том числе теорему разложения, согласно которой имеем:

$$\begin{aligned} f(a_1, a_2, \dots, a_n) &= a_1 \cdot f(1, a_2, \dots, a_n) \vee \bar{a}_1 f(0, a_2, \dots, a_n); \\ f(a_1, a_2, \dots, a_n) &= [a_1 \vee f(0, a_2, \dots, a_n)] [\bar{a}_1 \vee f(1, a_2, \dots, a_n)]. \end{aligned} \quad (3.1)$$

##### 3.2.2.1 Структура с обходными каналами (ОВК)

Логическая функция работоспособности структуры запишется:

$$F_{\text{Л}} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \vee 1 \cdot 5 \vee 3 \cdot 4. \quad (3.2)$$

Преобразуем  $F_{\text{Л}}$  разложением по базовому элементу 1. Тогда, получим:

$$F_{\text{Л}} = 1(2 \cdot 3 \vee 5 \vee 4 \cdot 3) \vee \bar{1} \cdot 4 \cdot 3 = 1[3 \cdot (2 \vee 4) \vee 5] \vee \bar{1} \cdot 3 \cdot 4. \quad (3.3)$$

Арифметизируем преобразованную логическую функцию работоспособности, учитывая, что  $1 \cdot \bar{1} = 0$ .

$$F_{ap} = 1 [3 (2 + 4 - 2 \cdot 4) + 5 - 3 \cdot (2 + 4 - 2 \cdot 4) \cdot 5] + \bar{1} \cdot 4 \cdot 3 \quad (3.4)$$

Заменяя события их вероятностями, получаем

$$P = P_1 [P_3 (P_2 + P_4 - P_2 \cdot P_4) + P_5 - P_3 (P_2 + P_4 - P_2 \cdot P_4) \cdot P_5] + (1 - P_1) \cdot P_4 \cdot P_3. \quad (3.5)$$

### 3.2.2.2 Иерархическая несимметричная структура (IER.5)

Рассмотрим случай, при котором информация из верхней точки дойдет до всех 3 получателей нижнего уровня.

Соответствующая логическая функция будет:

$$F_{л} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5. \quad (3.6)$$

Соответственно  $F_{ap} = F_{л}$ . Обозначим этот случай IER5.3, подразумевая последней цифрой число получателей информации.

### 3.2.2.3 Иерархическая симметричная структура (IER.6)

#### IER 6.3

Составим логическую функцию работоспособности для случая, когда информация должна дойти до 3 нижних звеньев из 4.

$$F_{л} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot \bar{6} \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot \bar{5} \cdot 6 \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \bar{4} \cdot 5 \cdot 6 \vee 1 \cdot 2 \cdot \bar{3} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6. \quad (3.7)$$

Преобразуем полученное выражение к более компактному и удобному виду:

$$F_{л} = 1 \cdot 2 \cdot \{3 [4 (5 \cdot \bar{6} \vee \bar{5} \cdot 6) \vee \bar{4} \cdot 5 \cdot 6] \vee \bar{3} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6\}. \quad (3.8)$$

Анализируя  $F_{л}$  и заменяя события их вероятностями, получаем:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \{P_3 [P_4 (P_5 \cdot \bar{P}_6 + \bar{P}_5 \cdot P_6) + \bar{P}_4 \cdot P_5 \cdot P_6] + \bar{P}_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6\}. \quad (3.9)$$

#### IER 6.0

Составим логическую функцию работоспособности для этой же структуры, но для случая, когда информация не дойдет ни до одного нижнего получателя:

$$F_{л} = \bar{1} \cdot \bar{2} \vee 1 \cdot \bar{2} \cdot \bar{3} \cdot \bar{4} \vee \bar{1} \cdot 2 \cdot \bar{5} \cdot \bar{6} \vee 1 \cdot 2 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4} \cdot \bar{5} \cdot \bar{6}. \quad (3.10)$$

Минимизируем  $F_{л}$ , используя теорему о разложении по базовому элементу

$$F_{\text{Л}} = \bar{1} [\bar{2} \vee 2 \cdot \bar{5} \cdot \bar{6}] \vee 1 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4} (\bar{2} \vee 2 \cdot \bar{5} \cdot \bar{6}) = (\bar{2} \vee 2 \cdot \bar{5} \cdot \bar{6}) (\bar{1} \vee 1 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4}). \quad (3.11)$$

Арифметизируем логическую функцию работоспособности:

$$F_{\text{ар}} = (\bar{2} + 2 \cdot \bar{5} \cdot \bar{6}) (\bar{1} + 1 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4}). \quad (3.12)$$

Заменяя события их вероятностями, имеем:

$$P = (\bar{P}_2 + P_2 \cdot \bar{P}_5 \cdot \bar{P}_6) (\bar{P}_1 + P_1 \cdot \bar{P}_3 \cdot \bar{P}_4). \quad (3.13)$$

### 3.2.2.4 Сетевая структура с пятью каналами (SET.5)

Логическая функция работоспособности структуры запишется:

$$F_{\text{Л}} = 1 \cdot 2 \vee 4 \cdot 3 \vee 5. \quad (3.14)$$

Арифметизируя  $F_{\text{Л}}$ , получаем:

$$F_{\text{ар}} = 1 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 5 - 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 - 1 \cdot 2 \cdot 5 - 3 \cdot 4 \cdot 5 + 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \quad (3.15)$$

Заменяя события их вероятностями, получим

$$P = (P_1 \cdot P_2 + P_4 \cdot P_3 \cdot P_5) - (P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_5 + P_3 \cdot P_4 \cdot P_5) + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5. \quad (3.16)$$

### 3.2.2.5 Сетевая структура 6 канальная (SET.6)

Логическая функция работоспособности данной структуры запишется:

$$F_{\text{Л}} = 1 \cdot 2 \vee 5 \vee 4 \cdot 3 \vee 1 \cdot 6 \cdot 3 \vee 4 \cdot 6 \cdot 2. \quad (3.17)$$

Упростим  $F_{\text{Л}}$ :

$$F_{\text{Л}} = 1 \cdot 2 \vee 5 \vee 3 (4 \vee 1 \cdot 6) \vee 4 \cdot 6 \cdot 2 = 2 (1 \vee 4 \cdot 6) \vee 5 \vee 3 (4 \vee 1 \cdot 6) \quad (3.18)$$

Арифметизируем  $F_{\text{Л}}$ :

$$F_{\text{ар}} = 2 (1 + 4 \cdot 6 - 1 \cdot 4 \cdot 6) + 5 + 3 (4 + 1 \cdot 6 - 4 \cdot 1 \cdot 6) - 2 (1 + 4 \cdot 6 - 1 \cdot 4 \cdot 6) \cdot 5 - 5 \cdot 3 (4 + 1 \cdot 6 - 4 \cdot 1 \cdot 6) - 3 (4 + 1 \cdot 6 - 4 \cdot 1 \cdot 6) \cdot 2 \cdot (1 + 4 \cdot 6 - 1 \cdot 4 \cdot 6) + 2 (1 + 4 \cdot 6 - 1 \cdot 4 \cdot 6) \cdot 5 \cdot 3 (4 + 1 \cdot 6 - 4 \cdot 1 \cdot 6). \quad (3.19)$$

Окончательное выражение для вероятности безотказной работа структуры запишется:

$$\begin{aligned}
 P = & P_2(P_1 + P_4 \cdot P_6 - P_1 \cdot P_4 \cdot P_6) + P_5 + P_3(P_4 + P_1 \cdot P_6 - P_4 \cdot P_1 \cdot P_6) - \\
 & - P_2(P_1 + P_4 \cdot P_6 - P_1 \cdot P_4 \cdot P_6) \cdot P_5 - P_5 \cdot P_3 \cdot (P_4 + P_1 \cdot P_6 - P_4 \cdot P_1 \cdot P_6) - \\
 & - P_3(P_4 + P_1 \cdot P_6 - P_4 \cdot P_1 \cdot P_6) \cdot P_2 \cdot (P_1 + P_4 \cdot P_6 - P_1 \cdot P_4 \cdot P_6) + \\
 & + P_2(P_1 + P_4 \cdot P_6 - P_1 \cdot P_4 \cdot P_6) \cdot P_5 \cdot P_3(P_4 + P_1 \cdot P_6 - P_4 \cdot P_1 \cdot P_6).
 \end{aligned}
 \tag{3.20}$$

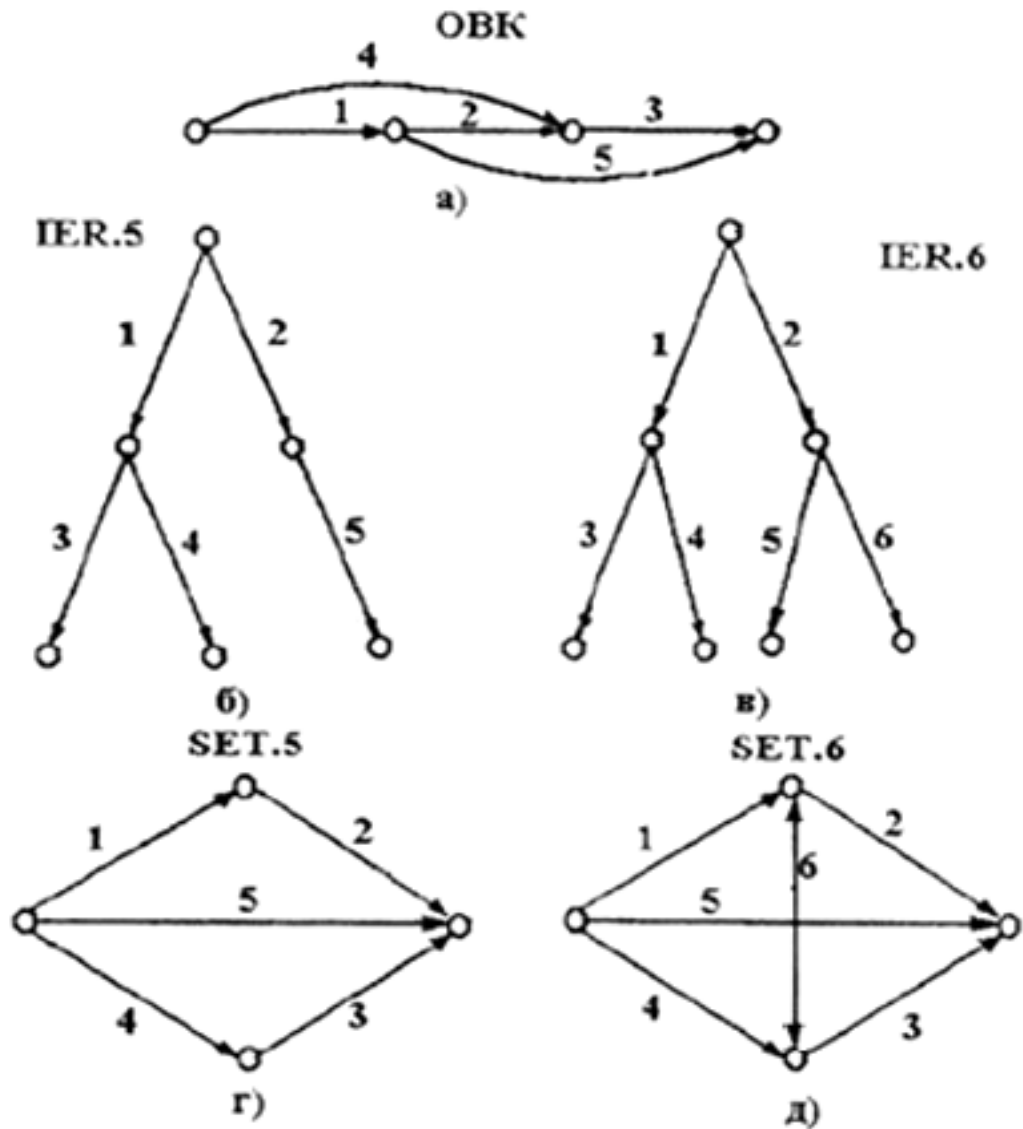


Рисунок 3.1 – Структурные схемы расчета надежности типовых структур

### 3.3 Постановка задачи автоматизированного ЛВР надежности типовых структур

Дана или самостоятельно составлена структурная схема надежности, состоящая из большого количества элементов надежности с известными исходными значениями вбр. Группировка элементов расчета надежности структурной схемы приводит к различным типовым структурам.

Требуется формализовать с использованием ЭВМ нахождение результирующей надежности ТС, т.е. обеспечить ее нахождение в автоматизированном режиме. Такой ЛВР надежности типовых структур назовем автоматизированным и для его реализации составим алгоритм и программу.

### 3.4 Описание алгоритма решения задачи

3.4.1 Разбить заданную структурную схему на ряд типовых структур, их выделить и пронумеровать.

3.4.2 Последовательно подобрать для каждой выделенной типовой структуры номер варианта.

3.4.3 Ввести в ЭВМ исходные значения вбр  $P_i$  пяти или шести элементов для каждой типовой структуры, а также соответствующий шаг изменения вбр  $\Delta P_i$  этих элементов. Затем ввести в ЭВМ и номер варианта, соответствующий типу очередной выделенной типовой структуры.

3.4.4 Считывать с дисплея ЭВМ значения результирующей вбр для каждой типовой структуры, например, минимальные, средние и максимальные значения.

3.4.5 Составить эквивалентную структурную схему надежности, исходные значения вбр элементов в которой взять согласно п. 3.4.4 данного алгоритма.

3.4.6 Проанализировать полученный результат в случае, если остался один эквивалентный элемент, или повторять пп. 3.4.1 - 3.4.5 до тех пор, пока не будет найдена искомая результирующая надежность всей схемы.

Для реализации алгоритма автоматизированного ЛВР надежности составлена соответствующая программа NADT.

### 3.5 Характеристика программы NADT

На рисунке 3.2 приведена схема разработанного алгоритма для автоматизированного ЛВР надежности типовых структур. На схеме использованы следующие обозначения:  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) - исходные известные значения вбр элементов типовых структур;  $\Delta P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) - целесообразная для анализа надежности величина шага изменения вбр элементов, Var - переменная, изменяющаяся от 1 до 6 и соответствующая определенной типовой структуре: Var = 1 для типовой структуры с обходными каналами ОБК; Var = 2 для IER 5.3; Var = 3 для IER 6.4; Var = 4 для IER 6.0; Var = 5 для SET 6; Var = 6 для SET 5;  $I(1,10)$  - индексная цикловая переменная.

#### 3.5.1 Инструкция по использованию программы NADT

Исходная информация последовательно вводится в следующем порядке:

- вбр каждого элемента типовой структуры;
- шаг изменения вбр каждого элемента;
- целая переменная VAR, изменяющаяся от 1 до 6.

На дисплей или печать выводятся: № варианта; значение  $i$ , как  $N$  шага цикла, значения вбр элементов и результирующая надежность выделенной типовой структуры на каждом шаге цикла.

Оценить правильность работы программы NADT можно, если при  $\Delta P_i \neq 0$  значения вбр для всех элементов типовой структуры с увеличением индекса также увеличиваются на величину шага, а при  $0 < P_i < 1$  и  $\Delta P_i = 0$  все вбр элементов и результирующая надежность данной структуры остаются неизменными при увеличении индексной переменной.

Примечание

1). Если не требуется анализировать надежность какой-либо типовой структуры в зависимости от изменения вбр элементов, принять все  $\Delta P_i = 0$ .

2). Если в рассматриваемой типовой структуре элементов менее шести, то для недостающих элементов вводить  $P_i = 1$ , а  $\Delta P_i = 0$ , т.е. вводить информацию, соответствующую абсолютно надежным элементам.

### 3.6 Порядок выполнения работы

#### 3.6.1 Подготовительная работа

- Зарисовать структурную схему надежности (рисунок 3.3), произвести разбивку на типовые структуры, выделив каждую из них и пронумеровать.
- Подобрать соответствующие варианты для выделенных типовых структур.
- Исходные данные для каждого варианта задания найти из следующих соотношений:

$$P_i (i = 1, 2, \dots, 27) = (0,60 + i / 100) + 0,001 \cdot N;$$

$$\Delta P_i (i = 1, 2, \dots, 27) = 10^{-5} \cdot i \cdot N;$$

$$t = 100 \cdot N,$$

где  $N$  – номер варианта, совпадающий с двумя последними цифрами зачетки;  
 $i$  – номер канала связи (элемента структуры).

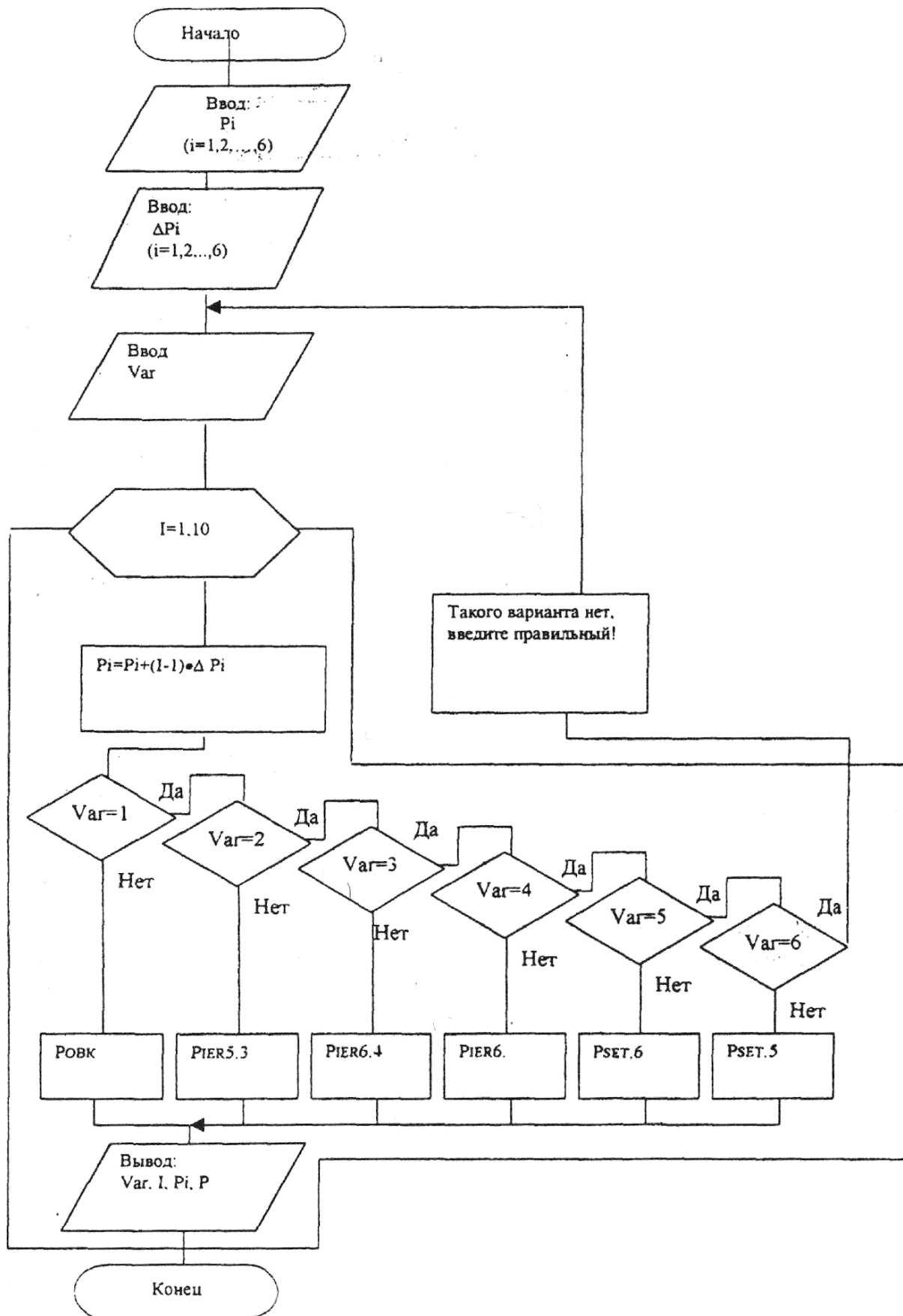


Рисунок 3.2 – Схема автоматизированного ЛВР надежности типовых структур

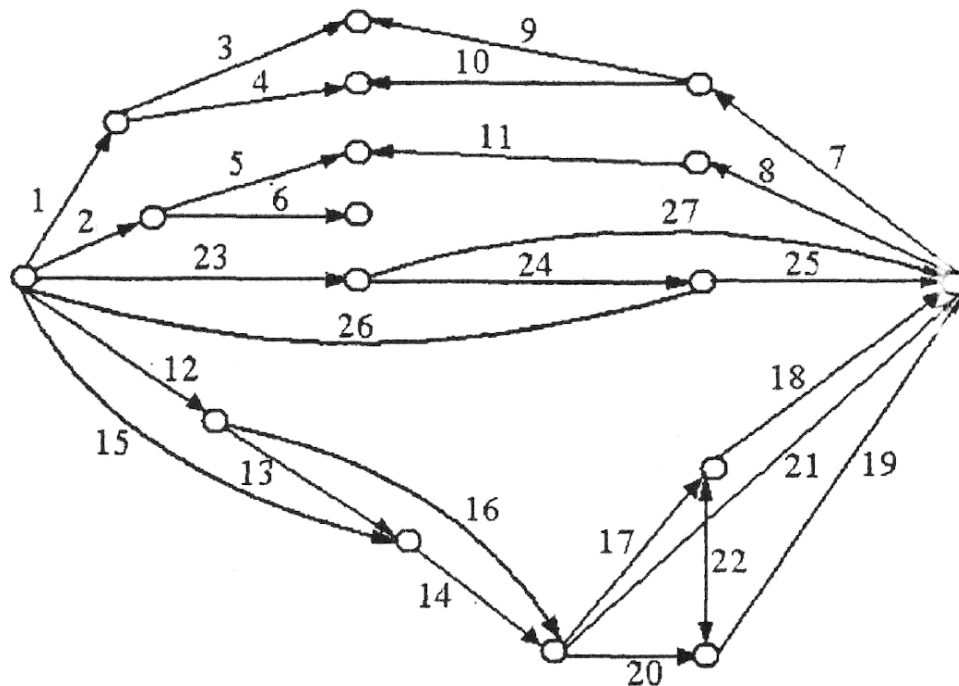


Рисунок 3.3 – Структурная схема расчета надежности сложной ТС

### 3.6.2 Работа на компьютере

- С помощью ПК подсчитать результирующие вбр для каждой типовой структуры.
- Построить эквивалентную структурную схему надежности 2 уровня, которую, если возможно, снова разбить на типовые структуры и для каждой из них подобрать соответствующий номер варианта.
- Повторять предыдущие пункты до тех пор, пока не останется один эквивалентный элемент, надежность которого соответствует надежности всей системы (см. рисунок 3.3).
- Используя известные соотношения, вычислить за определенное время  $t$  основные показатели безотказности: вероятность отказа  $Q(t)$ , интенсивность  $\lambda$  и частоту  $a(t)$  отказов, а также среднюю наработку на отказ  $T_{ср}$ .
- Проанализировать уровень полученной результирующей надежности ТС и предложить возможные структурные или элементные варианты ее повышения.

## 3.7 Контрольные вопросы

- 3.7.1 Назовите типовые структуры.
- 3.7.2 Выведите выражение для определения результирующей вбр  $i$ -го варианта.
- 3.7.3 Расскажите о постановке задачи автоматизированного ЛВР надежности типовых структур.
- 3.7.4 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности типовых структур.



3.7.5 Поясните схему программы NADT. Как оценить правильность ее работы?

3.7.6 Перечислите возможные способы повышения надежности заданной структуры.

3.7.7 Назовите показатели безотказности систем.

## **4 Автоматизированный логико - вероятностный расчет надежности технических систем с комбинированной структурой**

### **4.1 Цель работы**

Изучить методику автоматизированного логико-вероятностного расчета надежности систем управления с комбинированной структурой. Научиться составлять структурные схемы расчета надежности, определять результирующие показатели безотказности и анализировать их изменения.

### **4.2 Основные теоретические положения**

Обеспечение надежности производства является ключевой проблемой современной техники. Инженерный расчет надежности становится обязательным на всех этапах разработки, создания и эксплуатации сложных систем. На этапе технического проектирования результаты расчета надежности позволяют обосновать выбор средств автоматики, способов резервирования, глубину и способ контроля, диагностику, требования к программному обеспечению. На этапе эксплуатации системы по результатам расчета надежности выбирают состав и объем запасных элементов, а также планируют графики и объем профилактических работ /1, 2, 3/. Однако, существующие методы расчета надежности ориентированы в основном на простые системы управления и поэтому недостаточно используют возможности персональных компьютеров.

В инженерной практике декомпозиция АСУ ТП, как правило, приводит к комбинированным структурным схемам расчета надежности, включающим одновременно параллельно-последовательные, мостиковые и типовые структуры. Поэтому такой класс структурных моделей надежности систем управления ТС назовем комбинированным и рассмотрим их автоматизированный ЛВР надежности.

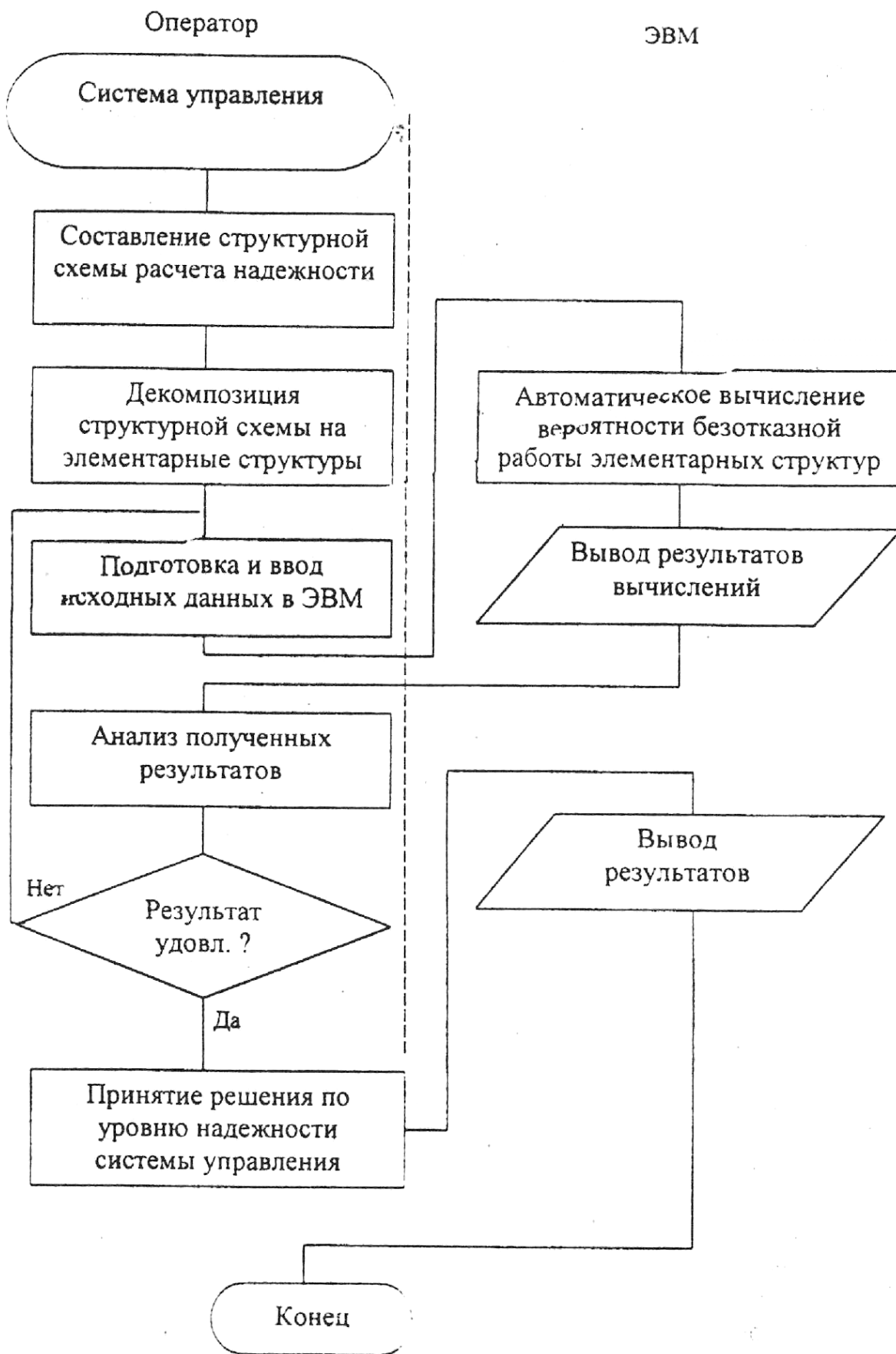


Рисунок 4.1 – Схема диалогового взаимодействия с ЭВМ в процессе автоматизированного ЛВР надежности ТС

Постановка задачи автоматизированного расчета надежности систем управления заключается в следующем. По функциональной схеме автоматизации составляется структурная схема расчета надежности исследуемой системы, состоящая, как правило, из большого количества элементов расчета надежности с известными значениями вбр. Необходимо получить результирующие показатели безотказности в автоматизированном режиме.

Для решения задачи предлагается следующий алгоритм:

1 Разбить общую структуру системы на элементарные структуры, состоящие из 5-6 элементов с учетом реальных инженерных соображений;

2 Распознать тип каждой выделенной элементарной структуры из числа параллельно - последовательных, мостиковых или типовых структур;

3 Свернуть каждую элементарную структуру с получением результирующей вбр;

4 Составить новую эквивалентную структурную схему, в качестве элементов которой выступают выделенные ранее элементарные структуры;

5 Затем по аналогии все повторить на следующем уровне и так сворачивать до тех пор, пока не будет найдена результирующая вероятность безотказной работы всей системы управления.

Такой механизм расчета связан с большим количеством трудно формализуемых действий и требует использования ЭВМ в диалоговом режиме работы. Схема диалогового взаимодействия с ЭВМ в процессе автоматизированного логико-вероятностного расчета надежности ТС приведена на рисунке 4.1. Необходимо составить соответствующее программное обеспечение, позволяющее в диалоговом режиме в зависимости от типа выделенных элементарных структур на разных уровнях декомпозиции находить результирующую вбр ТС с возможностью анализа ее изменения с различным шагом вбр составляющих элементов.

В схеме разработанного программного обеспечения NADSU (рисунок 4.2) приняты следующие обозначения: TIP - переменная, определяющая тип элементарной структуры. Если последняя имеет параллельно-последовательную структуру (ППС), то переменной TIP присваивается значение 1, после ввода которой идет обращение к процедуре NADP. Вводятся исходные данные, выбирается соответствующая конфигурация элементарной структуры посредством циклической переменной и автоматически вычисляется результирующая вбр элементарной структуры с интересующим шагом изменения.

Если элементарная структура имеет мостиковый вид, то переменной TIP присваивается значение 2. Тогда вызывается процедура NADM и выбирается наиболее подходящий метод преобразования ее в ППС, вводятся исходные данные и автоматически вычисляется результирующая вбр элементарной мостиковой структуры с интересующим шагом изменения. Если, наконец, выделенная элементарная структурная схема имеет типовую структуру, то переменной TIP присваивается значение 3, вызывая этим процедуру NADT.

Выбирается соответствующая типовая структура, вводятся исходные данные и автоматически вычисляется результирующая вбр этой элементарной структуры с желательным шагом изменения.

При необходимости определения других показателей безотказности переменной TIP присваивается значение 4, вызывая этим процедуру PAR, вводится время

и автоматически вычисляются по найденной вбр все остальные показатели. Если введена любая другая цифра, кроме указанных, то на дисплее высветится сообщение "Ошибка ввода, введите правильно тип структуры" и программа возвращается к месту этого ввода. Программное обеспечение написано на различных языках, в том числе на Фортране и ТурбоПаскале, и отлажено в адаптированном к учебному процессу варианте.

### 4.3 Порядок выполнения работы

#### 4.3.1 Подготовительная работа

- Зарисовать структурную схему надежности ТС (рисунок 4.3), провести ее декомпозицию на элементарные структуры, выделить их на схеме и пронумеровать.
- Распознать тип каждой выделенной структуры.
- Подобрать вариант для каждой структуры.
- Исходные данные для каждого задания найти из следующих условных выражений:

$$\begin{aligned} P_i (i = 1, 2, \dots, 25) &= (0,60 + i / 100) + 0,001 \cdot N; \\ \Delta P_i (i = 1, 2, \dots, 25) &= 10^{-5} \cdot i \cdot N; \\ t &= 100 \cdot N, \end{aligned} \tag{4.1}$$

где  $N$  – номер варианта, совпадающий с последними двумя цифрами номера зачетки.

#### 4.3.2 Работа за компьютером

- С помощью ПК подсчитать результирующую вбр для каждой выделенной структуры.
  - Построить эквивалентную структурную схему надежности и выделить снова элементарные структуры, которые распознать по типу и варианту.
  - Повторять предыдущие пункты до тех пор, пока не останется один эквивалентный элемент, надежность которого соответствует надежности всей системы управления ТС.
  - Вычислить остальные показатели безотказности системы: вероятность отказа  $Q(t)$ , интенсивность и частоту отказов, среднюю наработку на отказ  $T_{cp}$ .
  - Проанализировать уровень полученной результирующей надежности ТС и предложить возможные структурные и элементные варианты ее повышения.

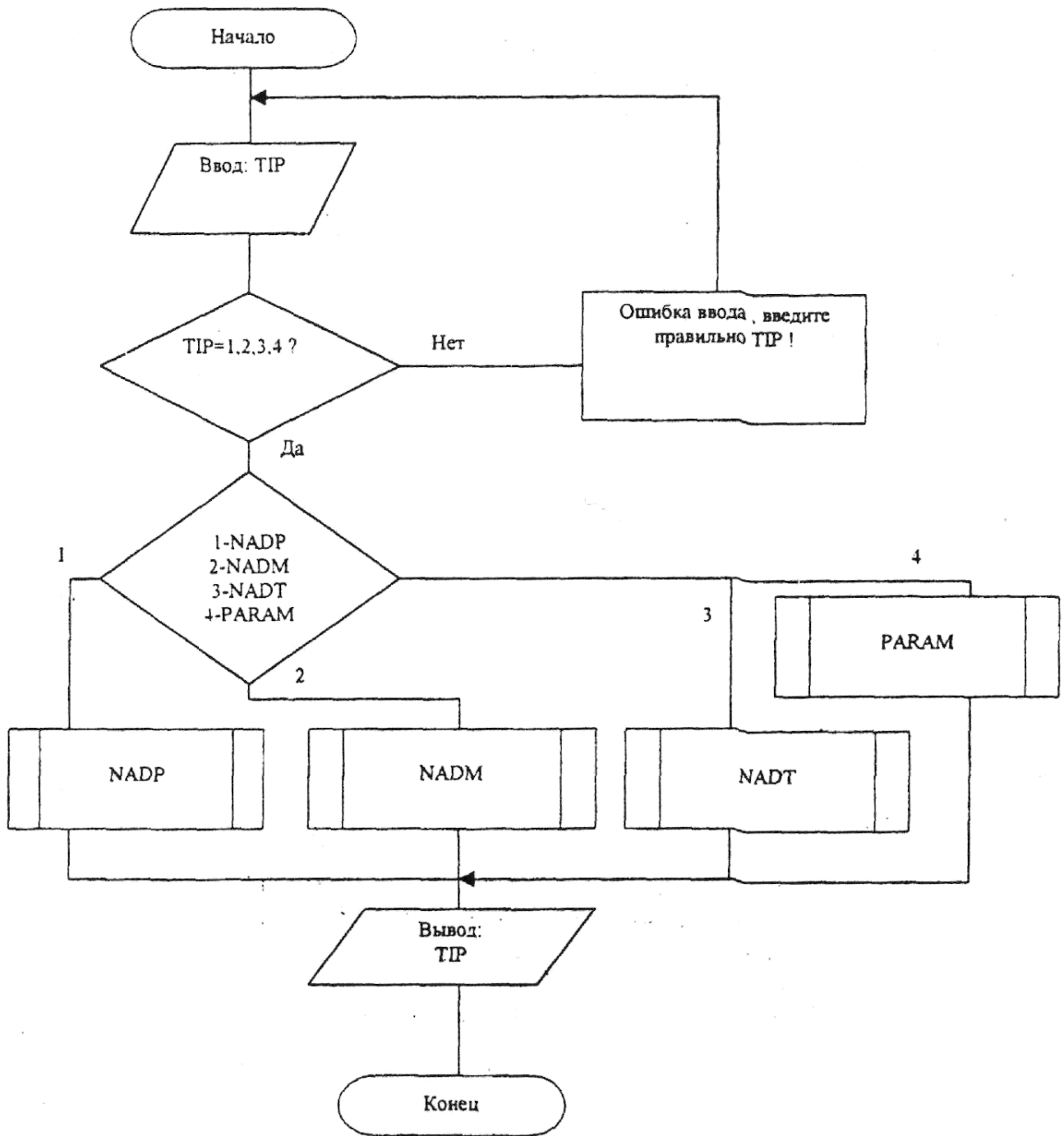


Рисунок 4.2 – Схема программы NADSU

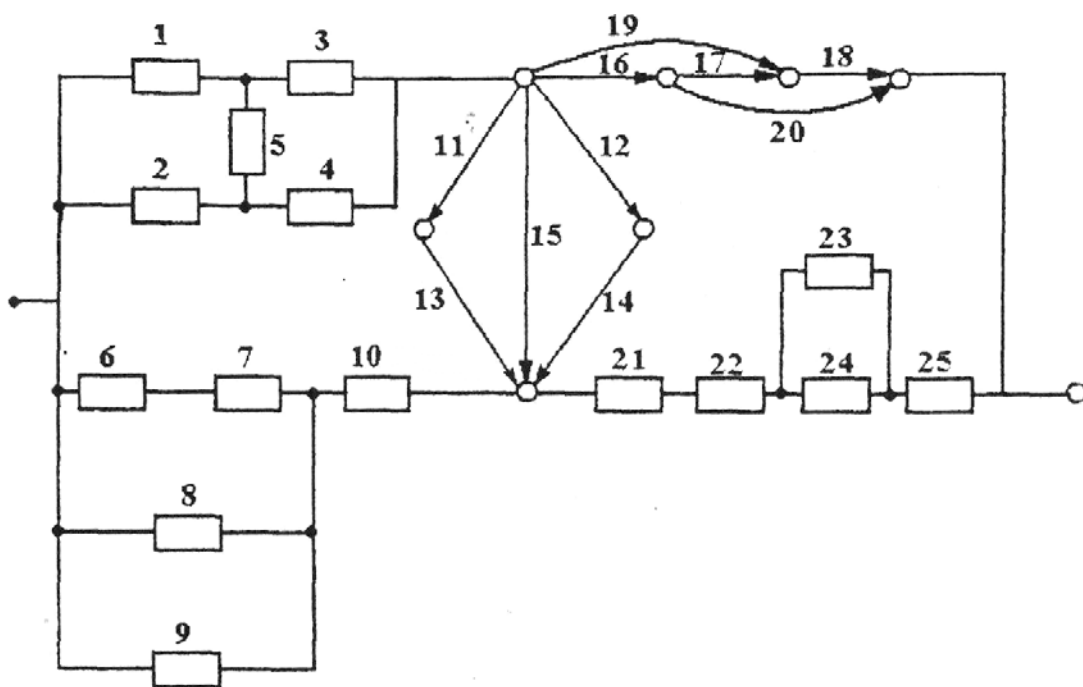


Рисунок 4.3 – Структурная схема расчета надежности ТС

#### 4.4 Контрольные вопросы

- 4.4.1 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности ТС.
- 4.4.2 Понятие о надежности ТС и методах ее повышения.
- 4.4.3 Как составляют структурную схему расчета надежности?
- 4.4.4 Поясните схему диалогового взаимодействия с ЭВМ в процессе автоматизированного ЛВР надежности ТС.
- 4.4.5 Поясните схему программы NADSU
- 4.4.6 Как оценить правильность работы программы?

## Список использованных источников

- 1 Энциклопедия кибернетики [Текст]. В 2 т. Т.1 / под ред. В.М. Глушкова. - Киев: Главная редакция УСЭ, 1974. - 607 с.
- 2 Надежность технических систем [Текст] / под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 606 с.
- 3 **Дружинин, Г.В.** Надежность автоматизированных производственных систем [Текст] / Г.В. Дружинин. - М.: ЭАИ, 1986. - 480 с.
- 4 **Глазунов, Л.П.** Основы теории надежности автоматических систем управления [Текст] / Л.П. Глазунов, В.П. Грабовецкий, О.В. Щербаков. - Л.: Энергоиздат, 1984. - 208 с.
- 5 **Труханов, В.М.** Надежность изделий машиностроения: теория и практика [Текст] / В.М. Труханов - М.: Машиностроение, 1996. - 336 с.
- 6 **Владов, Ю.Р.** Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности систем управления [Текст]: лабораторный практикум / Ю.Р. Владов. - Оренбург: ОГУ, 1999. - 42 с.