МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Б.С.Сункуев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН-АВТОМАТОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания»

Витебский государственный технологический университет

Витебск
2008

УДК 622-522.3/6(075.8),
622-522.7, 622-523, 62.529
ББК 34.4
С89

Витебский государственный технологический университет

Рецензенты: доктор технических наук, профессор В.В.Сторожев;
кандидат технических наук П.И.Муха

Сункуев Б.С.
С89 Проектирование систем управления машин-автоматов легкой промышленности: учебное пособие / Б. С. Сункуев.-
Витебск : УО «ВГТУ», 2008. – 146 с.

ISBN 978-985-481-106-2

В учебном пособии изложены сведения по классификации, структуре, проектированию систем путевого, числового программного управления и следящих систем управления машин-автоматов легкой промышленности. Учебное пособие предназначено для студентов специальности 1 – 36 08 01, специализации 1 – 36 08 01 01 «Машины и аппараты легкой промышленности», изучающих дисциплину «Расчет и конструирование типовых машин легкой промышленности».

УДК 622-522.3/6(075.8),
622-522.7, 622-523, 62.529
ББК 34.4
С 89

ISBN 978-985-481-106-2

© Сункуев Б.С., 2008
© УО «ВГТУ», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ 5

1 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПО РЕШАЕМЫМ ЗАДАЧАМ 5
Формы представления законов движения рабочих органов 7
Формы представления согласованных законов движения рабочих инструментов 9
Классификация систем управления 12

2 СТРУКТУРА СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ 13
Классификация систем путевого управления 13
Сведения из алгебры логики, используемые при проектировании систем путевого управления 15
2.3. Элементы систем путевого управления 22

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ 30
3.1. Постановка задачи проектирования систем путевого управления 30
3.2. Порядок проектирования систем путевого управления 35

4 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ 41
4.1. Пневматические системы путевого управления на мембранных элементах 41
4.2. Пневматические системы путевого управления на струйных элементах 50

5 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ 58
5.1. Системы путевого управления на электрических элементах 58
5.2. Системы путевого управления на электронных элементах 65

6 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ 73
6.1. Классификация систем ЧПУ 73
6.2. Структура систем ЧПУ 74

7 УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА 77
7.1. Представление законов движения рабочих органов в виде числовой информации 77
7.2. Структура программ перемещений рабочих органов 85
7.3. Программоносители 91
7.4. Кодирование программ на перфоленте 92

Витебский государственный технологический университет

8 УСТРОЙСТВА ВВОДА И ОБРАБОТКИ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ 94
8.1. Устройства ввода и считывания программ 94
8.2. Дешифратор адресов 97
8.3. Оперативное запоминающее устройство 97
8.4. Блок задания скорости 99
8.5. Устройство преобразования кодов 99
8.6. Интерполятор 109
8.7. Блок электронного коммутатора 112
9 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СИСТЕМ ЧПУ 114
9.1. Шаговые электродвигатели 114
9.2. Механические характеристики шаговых электродвигателей 116
10 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ 121
10.1. Структура исполнительных механизмов 121
10.2. Механизм подачи материала швейного полуавтомата фирмы USM 123
10.3. Механизм подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1 123
10.4. Исполнительные механизмы вырубочного пресса-автомата 127
10.5. Механизм подачи материала швейного полуавтомата для сборки плоских заготовок верха обуви и кожгалантерейных изделий 128
11 ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА 130
11.1. Выбор структуры исполнительных механизмов 130
11.2. Определение кинематических характеристик исполнительных механизмов 130
11.3. Определение приведенных характеристик электропривода 132
11.4. Подбор шагового электродвигателя при старт-стопном движении 134
12 СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 136
12.1. Структура следящих систем, область применения 136
12.2. Схема следящей системы швейного полуавтомата 137
12.3. Основные характеристики следящих систем 139
12.4. Уравнение статических характеристик следящего гидропривода 140
12.5. Расчет характеристик пневмосистемы 143
ЛИТЕРАТУРА 146

Витебский государственный технологический университет

ВВЕДЕНИЕ

С повышением степени автоматизации технологических операций, выполняемых на машинах-автоматах, усложняются и совершенствуются системы управления за счет использования элементов пневмоавтоматики, электроники и микропроцессорной техники. В связи с этим задачи проектирования машин-автоматов становятся комплексными, требующими от конструктора знания не только механики машин, но и владения достаточными сведениями из области пневмоавтоматики, электроники, микропроцессорного управления. Кроме того, без знания систем управления невозможна эксплуатация современного технологического оборудования.

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов специальности «Машины и аппараты легкой промышленности», изучающих дисциплину «Расчет и конструирование типовых машин легкой промышленности». В учебном пособии изложены некоторые вопросы функционирования и проектирования систем управления машин-автоматов легкой промышленности.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПО РЕШАЕМЫМ ЗАДАЧАМ

Основное назначение систем управления технологических машин-автоматов состоит в согласовании законов движения рабочих органов.

В общем случае закон движения рабочего органа может быть представлен в виде зависимости между координатой u элемента (точки, линии) рабочего инструмента в заданной системе координат и временем t или другой переменной j, пропорциональной времени: $u = F(t)$; $u = F(j)$.

На рис. 1.1а приведен график закона движения иглы швейной машины, представленного в виде зависимости координаты y точки острия иглы от угла поворота j ведущего кривошипа механизма иглы, пропорционального времени ($j = w\,t$) при постоянной угловой скорости кривошипа w. Угол j отсчитывается от положения кривошипа, соответствующего крайнему верхнему положению иглы, а координата y – от крайнего нижнего положения иглы.

Отрезок времени t_K, в течение которого рабочий инструмент, перемещаясь из исходного положения, совершает все предназначенные для обработки материала движения и возвращается в исходное положение, называется кинематическим циклом рабочего инструмента. На рис. 1.1а кинематическому циклу иглы соответствует поворот кривошипа на угол $j = 2p$, а величина t_K определится из равенства $t_K = \dfrac{2p}{w}$.

Часто важным при выполнении технологической операции на машине-автомате является не закон движения, а отдельные его параметры. В этих

Витебский государственный технологический университет

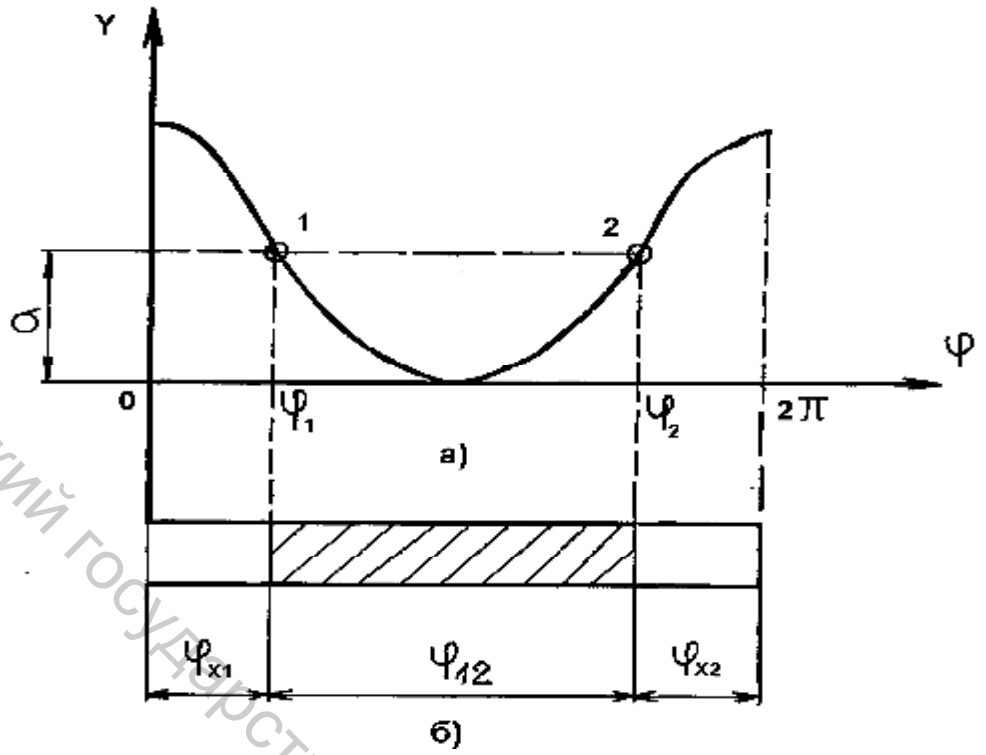


Рис. 1.1

а) график закона движения иглы швейной машины;

б) цикловая диаграмма иглы

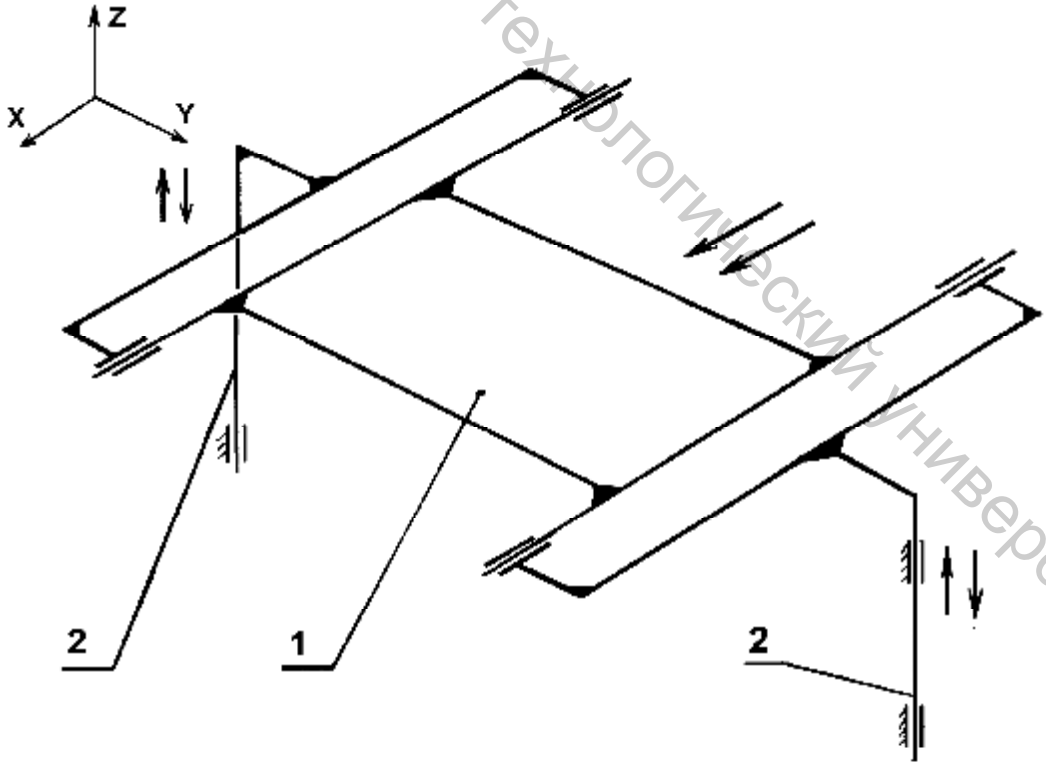


Рис. 1.2. Схема рабочих органов вырубочного пресса ПОТГ-20

1 – траверса; 2 – вертикальные стойки

Витебский государственный технологический университет

случаях закон движения рабочего инструмента может быть представлен не в виде указанных зависимостей $u = F(t)$; $u = F(j)$, а в других формах.

Рассмотрим эти формы.

1.1. Формы представления законов движения рабочих органов

Цикловая диаграмма рабочего инструмента есть чертеж, на котором в определенном масштабе и системе отсчета времени или другой переменной показаны рабочие и холостые хода рабочего инструмента. Цикловые диаграммы могут быть прямоугольными, круговыми. На рис. 1.1б показана прямоугольная цикловая диаграмма иглы швейной машины.

Рабочий ход рабочего инструмента – часть кинематического цикла (отрезок времени, угол поворота распределительного вала), на протяжении которого рабочий инструмент взаимодействует с обрабатываемым материалом (совершает его обработку, транспортирует и т.д.). Например, в качестве рабочего хода иглы швейной машины (см. рис. 1.1а) принимают часть цикла j_{12} от момента прокола материала (точка 1 на графике) до момента выхода ее из материала (точка 2). Точки 1 и 2 на графике (см. рис. 1.1а) определяются на пересечении графика с прямой, проведенной параллельно оси абсцисс на расстоянии a между крайним нижним положением острия иглы и поверхностью материала, обращенной к игле.

Холостой ход рабочего инструмента – часть кинематического цикла (отрезок времени t_X, угол поворота распределительного органа j_x), на протяжении которого рабочий инструмент не взаимодействует с обрабатываемым материалом. На рис. 1.1а холостой ход j_X иглы равен:

$j_X = j_{X1} + j_{X2}$,

где j_{X1} – отрезок $[0, j_1]$ на оси абсцисс;

j_{X2} – отрезок $[j_2, 2p]$ на этой оси.

Иногда по условиям обработки рабочие инструменты должны занимать ряд фиксированных положений относительно обрабатываемого материала, причем с точки зрения выполняемой технологической операции траектории, по которым перемещаются рабочие инструменты при переходе из одного фиксированного положения в другое, не играют роли. Такие фиксированные положения будем называть позициями рабочих инструментов.

Тактограмма рабочего инструмента – чертеж, на котором в схематизированном виде показываются состояния рабочего инструмента на протяжении его кинематического цикла. Такими состояниями могут быть: движение в определенном направлении (вперед, назад, вверх, вниз, вправо, влево), остановка. Состояния движения обозначаются на тактограмме наклонными прямыми и стрелками, состояния остановки – горизонтальными прямыми.

На рис. 1.2 показана схема рабочих инструментов пресса ПОТГ-20, а на рис. 1.3 приведена тактограмма ударника для его горизонтальных перемещений.

Витебский государственный технологический университет

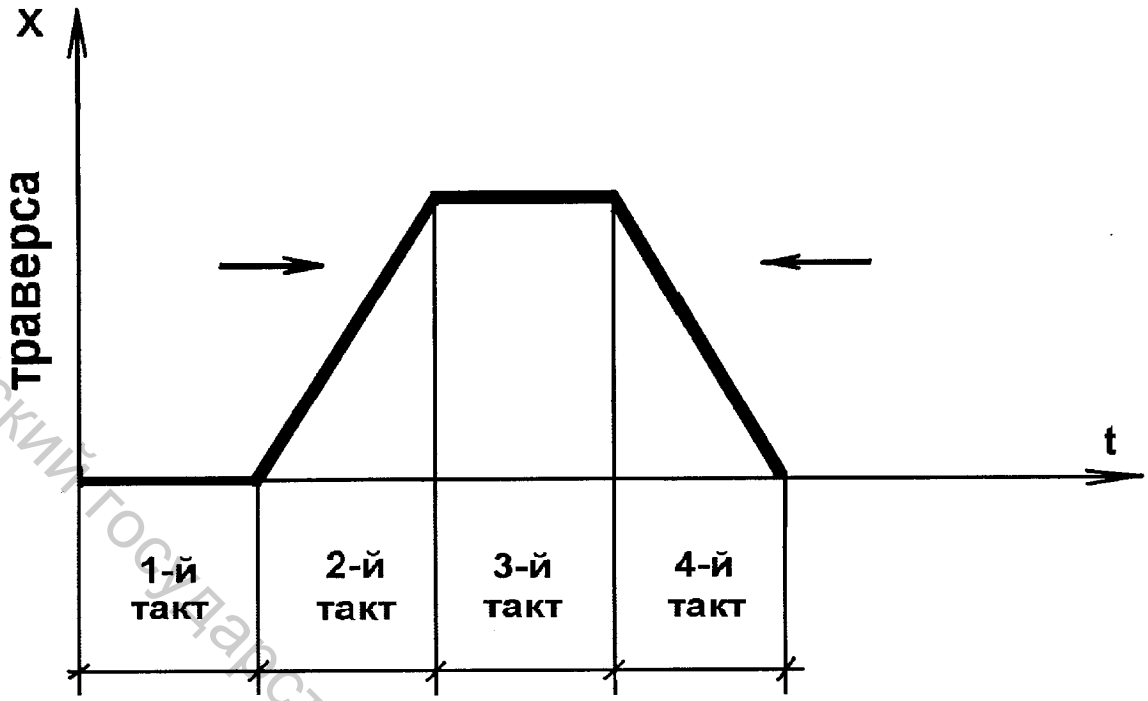


Рис. 1.3. Тактограмма траверсы

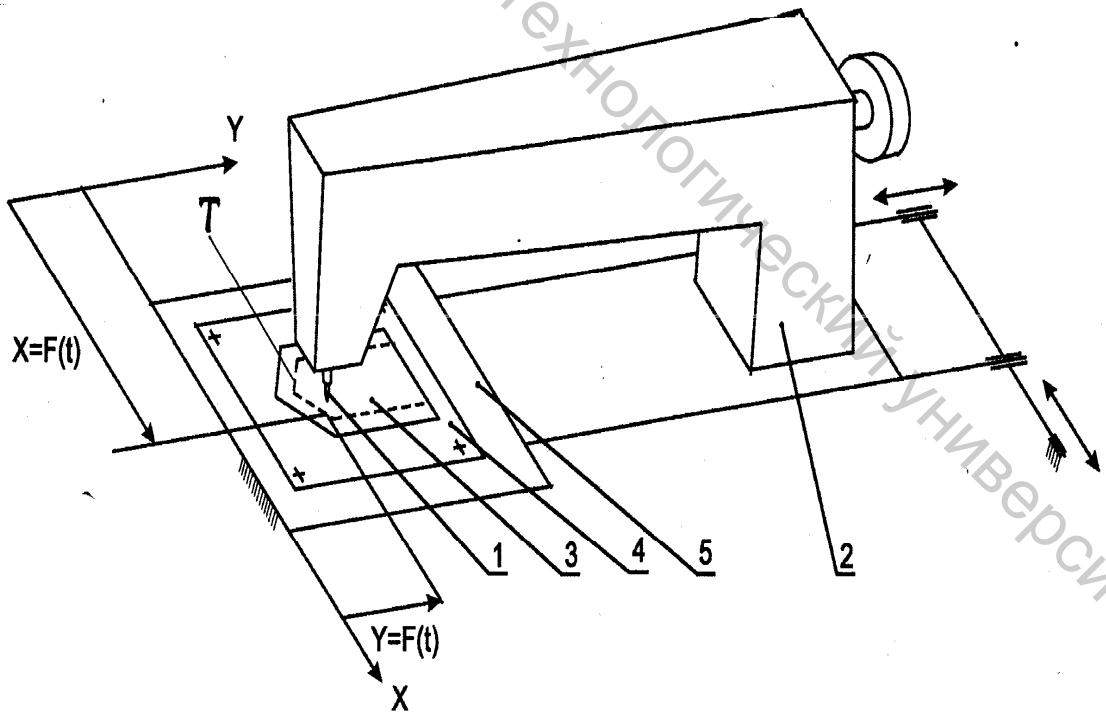


Рис. 1.4. Тактограмма сложного движения иглы швейной головки

Витебский государственный технологический университет

1.2. Формы представления согласованных законов движения рабочих инструментов

Согласование законов движения рабочего инструмента по разным координатам $x = F(t)$, $y = F(t)$ может быть представлено в виде траектории движения $y = F(x)$ рабочего инструмента.

Траектория движения точки рабочего инструмента – линия, на которой расположены положения этой точки в течение кинематического цикла рабочего инструмента. Необходимость рассмотрения траектории возникает, если рабочий инструмент совершает сложное плоское или пространственное движение. При этом на траектории отмечают ряд положений точки, соответствующих равноотстоящим интервалам времени.

На рис. 1.4 пунктирной линией показана траектория Т, образованная точками прокола иглой 1 швейной головки 2 стачиваемых деталей 3 и 4. Швейная головка 2 вместе с иглой 1 совершает сложное движение относительно деталей 3 и 4, закрепленных в неподвижной кассете 5. Движение иглы 1 вдоль оси x описывается уравнением $x = F(t)$, а вдоль оси y – уравнением $y = F(t)$.

Уравнение траектории Т движения $y = F(x)$ может быть получено совместным решением уравнений $x = F(t)$ и $y = F(t)$.

Согласование законов движения рабочих инструментов машины-автомата, представленных в виде цикловых диаграмм, отражается цикловой диаграммой машины-автомата.

Цикловая диаграмма машины-автомата – совокупность цикловых диаграмм ее рабочих органов, построенных в одном и том же масштабе и в одной и той же системе отсчета времени, или другой переменной.

На рис. 1.5 показана прямоугольная цикловая диаграмма швейной машины.

Согласование законов движения рабочих инструментов машины-автомата, представленных позициями, отражается в виде раскладки. На рис. 1.6 показана раскладка деталей низа обуви на листе материала, которая представляет собой ряд положений рабочего инструмента (резака) в поле вырубания.

Согласование законов движения рабочих инструментов машины-автомата, представленных в виде тактограмм, отражается тактограммой машины-автомата.

Тактограмма машины-автомата – совокупность тактограмм ее рабочих инструментов, построенных в единой системе отсчета времени для кинематического цикла машины-автомата.

На рис. 1.7 показана тактограмма вырубочного пресса ПОТГ-20-0 (см. рис. 1.2).

Витебский государственный технологический университет

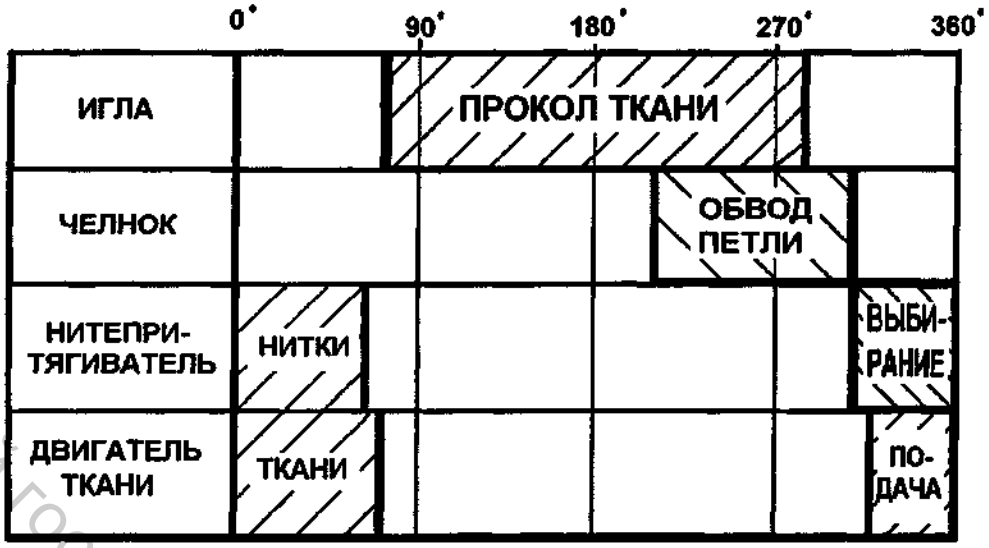


Рис. 1.5. Циклограмма швейной машины

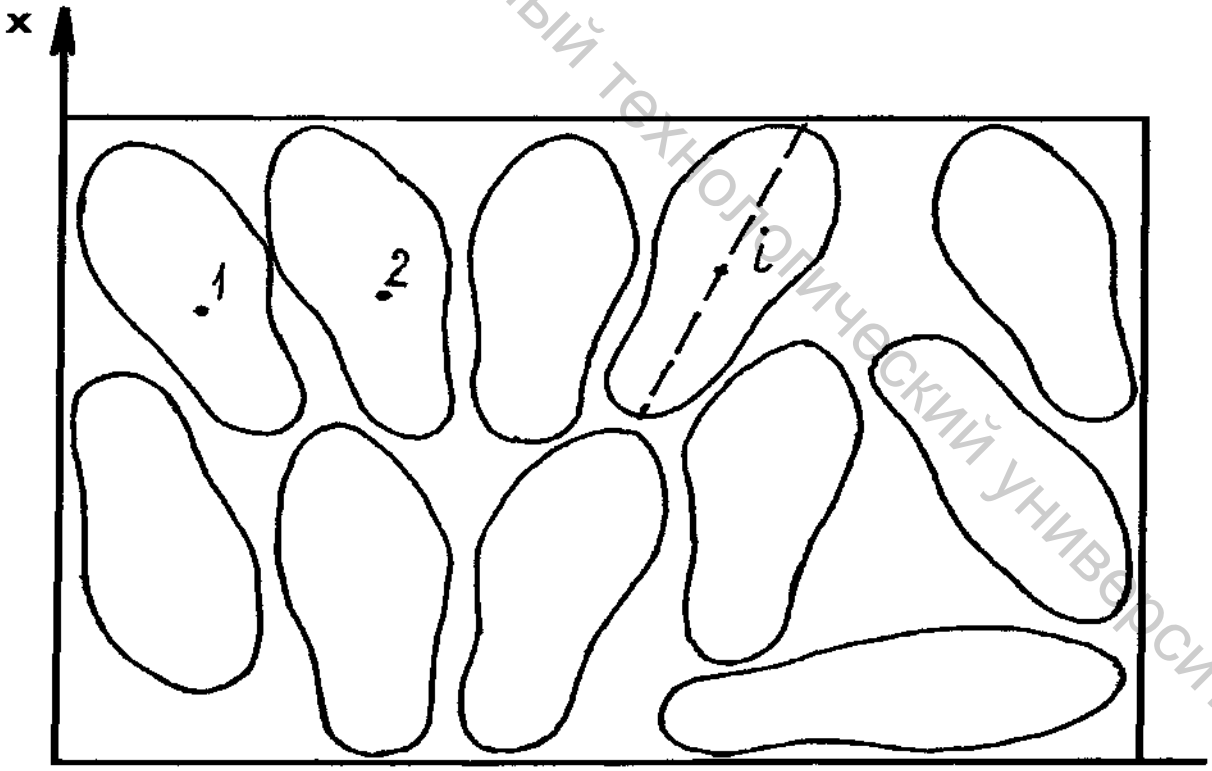


Рис. 1.6. Раскладка деталей низа обуви на листе материала

Витебский государственный технологический университет

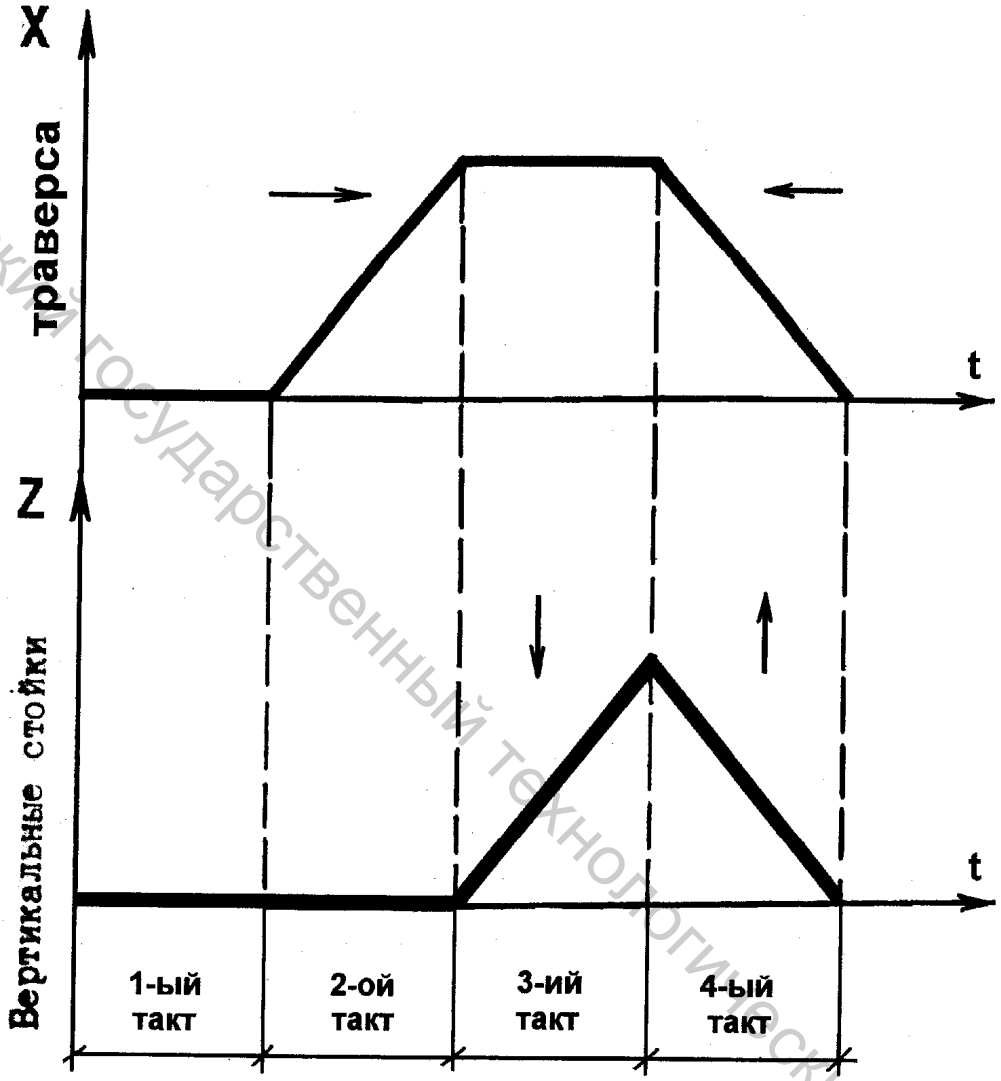


Рис. 1.7. Тактограмма вырубочного пресса

Витебский государственный технологический университет

1.3. Классификация систем управления

На основании изложенного можно сформулировать основные задачи, выполняемые системами управления машин-автоматов:

1) согласование законов движения рабочих органов в соответствии с заданными траекториями их движений относительно обрабатываемого материала;

2) согласование рабочих и холостых ходов рабочих органов в соответствии с заданной циклограммой машины-автомата;

3) согласование величин перемещений рабочих органов в соответствии с рядом заданных их позиций относительно обрабатываемого материала;

4) согласование состояний рабочих органов в соответствии с заданной тактограммой машины-автомата.

В соответствии с выделенными задачами можно указать на следующие типы систем управления машин-автоматов.

Задачи воспроизведения траекторий движения рабочих органов относительно обрабатываемых изделий решаются двумя типами систем управления:

1) контурными системами числового программного управления;

2) следящими системами управления.

Задачи согласования рабочих и холостых ходов рабочих органов решаются системами управления с распределительными валами. Последние иногда называют валами командоаппарата, имея в виду, что они являются источниками команд управления.

Задачи согласования величин перемещений рабочих органов, в соответствии с заданным рядом их позиций, решаются позиционными системами числового программного управления.

Системы управления, выполняющие согласование состояний рабочих органов, часто называют системами путевого управления [1]. Как правило, изменение состояний рабочих органов должно происходить при достижении рабочими органами фиксированных положений (точек пути) или по истечении заданного отрезка времени после их остановки. Это требует возбуждения управляющих сигналов в соответствующие моменты кинематического цикла. Таким образом, работа систем путевого управления носит дискретный во времени характер. Поэтому эти системы называют также дискретными системами управления [2]. В дальнейшем будем придерживаться первого названия.

Витебский государственный технологический университет

2 СТРУКТУРА СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Классификация систем путевого управления

Системы путевого управления предназначены для согласования состояний рабочих органов машин-автоматов.

На рис. 2.1 показана обобщенная блок-схема типовой системы путевого управления. На этой схеме обозначены: 1 – путевые переключатели, коммутирующие входные сигналы; 2 – логические элементы, формирующие сигналы в зависимости от набора (комбинации) входных сигналов; 3 – усилитель мощности выходных сигналов логических элементов; 4 – исполнительные устройства, преобразующие усиленные выходные сигналы логических элементов в определенные состояния объектов управления; 5 – элемент машины-автомата, являющийся объектом управления (привод, исполнительное устройство и т.п.).

Элементы системы управления соединены линиями связи, по которым передается информация о состояниях элементов.

На рис. 2.2 приведена блок-схема классификации систем путевого управления по физическому принципу действия структурных элементов.

Пневматические системы путевого управления включают в свой состав устройства, принцип действия которых основан на использовании сжатого воздуха, давление которого превышает атмосферное.

По конструкции устройств, реализующих управляющие функции, различают системы путевого управления с поршневыми, мембранными и струйными элементами.

Электрические системы путевого управления реализуются на электромагнитных реле и контактных устройствах.

Электронные системы путевого управления включают в свой состав полупроводниковые приборы: диоды, транзисторы, бесконтактные устройства в виде фотодиодов.

Несмотря на разнообразие физических принципов, положенных в основу функционирования элементов путевого управления, возможен общий подход как к анализу структуры, так и к проектированию этих систем.

Этот подход основан на том, что элементы систем могут находиться, как правило, в двух состояниях, что позволяет описывать соответствие между состояниями элементов системы управления с помощью логических функций [2].

Несмотря на то, что имеется литература [2, 3, 4], в которой достаточно подробно изложены элементы алгебры логики, считаем целесообразным дать необходимые сведения в настоящем учебном пособии.

Витебский государственный технологический университет

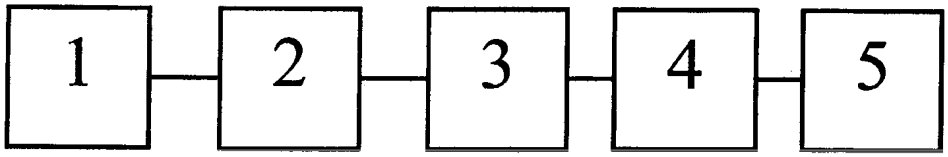


Рис. 2.1

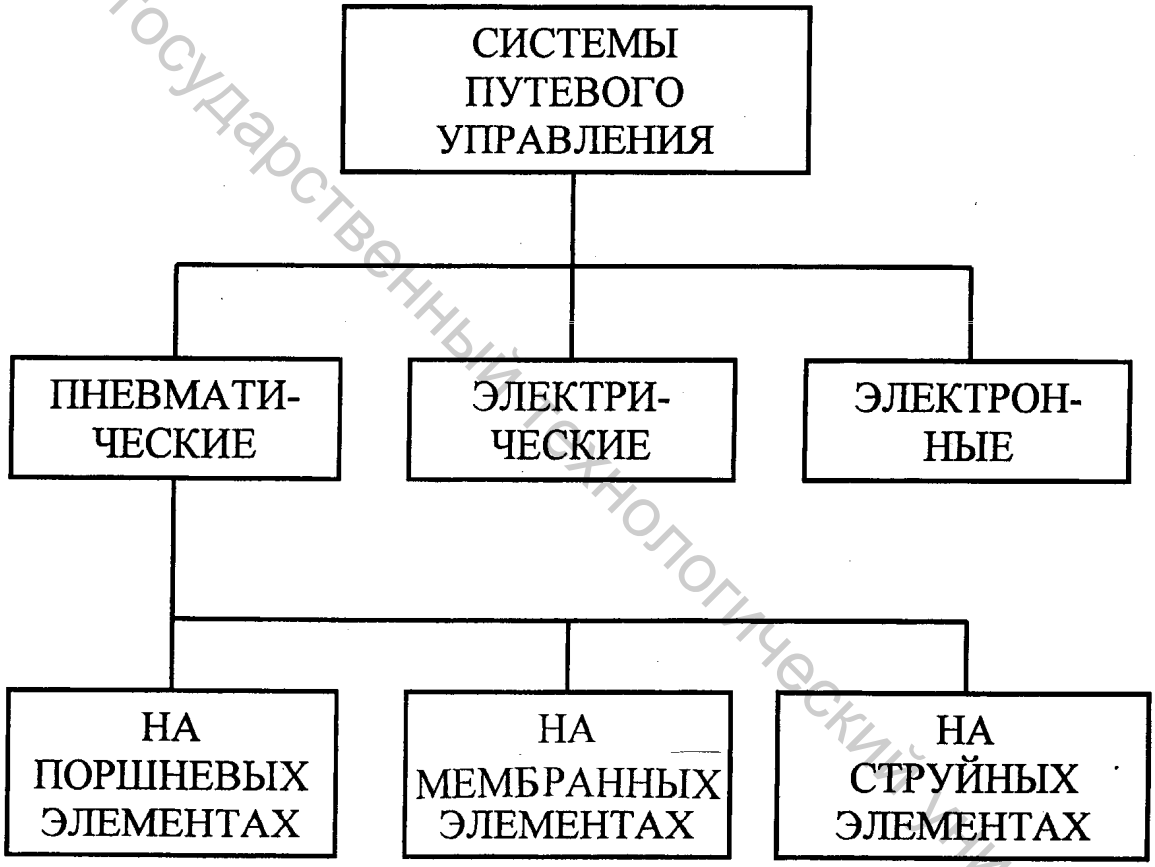


Рис. 2.2

Витебский государственный технологический университет

2.2. Сведения из алгебры логики, используемые при проектировании систем путевого управления

Алгебра логики разработана английским математиком Джорджем Булем в первой четверти 19-го века. Практическое ее использование началось почти через 100 лет.

В алгебре логики рассматриваются переменные, которые могут принимать только два значения, например, 0 и I. Обозначим независимые переменные через x_1, x_2,..., а функции - через f_1, f_2,… Рассмотрим простейшие логические функции.

Функция повторения: $f = x$ (читается: f есть x).

Функция отрицания (инверсия): $f = \bar{x}$ (f не x). В дальнейшем при наличии черточки над символом переменной будем иметь ввиду новую переменную, значение которой противоположно значению переменной, обозначенной тем же символом без черточки (x_1, x_2,..., f_1, f_2,…).

Функция логического сложения (дизъюнкция): $f = x_1 + x_2 + ... + x_n$* . Правило логического сложения формулируется следующим образом: сумма логических переменных равна 1, если хотя бы одно из слагаемых равно 1.

Функция логического умножения (конъюнкция): $f = x_1 \cdot x_2 \cdot ... \cdot x_n$*. Правило логического умножения: произведение логических переменных равно 1 только в том случае, если каждый из сомножителей равен 1. Любая логическая функция может быть представлена не только в виде аналитического выражения, но и в форме таблицы, в которой указаны значения независимых переменных и соответствующие значения функции. Последняя называется таблицей состояния. В связи с тем, что каждая из n независимых переменных, входящих в выражение функции f, может принимать только 2 значения (0 или 1), то возможное число комбинаций значений этих переменных (число состояний) равно 2^n.

На рис. 2.3-2.6 приведены таблицы состояний рассмотренных элементарных функций.

Для логического сложения и умножения справедливы следующие законы.

Переместительный закон: сложение и умножение логических переменных может производиться в любой последовательности, результат при этом не изменится. Примеры:

$x_1 + x_2 + x_3 = x_3 + x_2 + x_1 = x_2 + x_1 + x_3$;

$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_3 \cdot x_2 \cdot x_1 = x_2 \cdot x_1 \cdot x_3$.

Сочетательный закон: можно объединять скобками любое количество переменных, в любых сочетаниях. Примеры: $(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$;
$(x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3)$.

(знаки логического сложения v и умножения & отличаются от обычных, однако допустимо пользоваться последними при обозначении логических операций).

Витебский государственный технологический университет

№№ состояний	x	f
1	0	0
2	1	1

Рис. 2.3 Таблица состояний функции повторения

№№ состояний	x	f
1	0	1
2	1	0

Рис. 2.4 Таблица состояний инверсии

№№ состояний	X_1	X_2	X_3	f
1	0	0	0	0
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	0	1	1
5	1	1	0	1
6	1	0	1	1
7	0	1	1	1
8	1	1	1	1

Рис. 2.5 Таблица состояний функции логического сложения

№№ состояний	X_1	X_2	X_3	f
1	0	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	1	0	0
6	1	0	1	0
7	0	1	1	0
8	1	1	1	1

Рис. 2.6 Таблица состояний функции логического умножения

Витебский государственный технологический университет

Распределительный закон: общий сомножитель можно выносить за скобки. Пример: $x_1x_3 + x_2x_3 = x_3(x_1 + x_2)$.

Приведем ряд тождеств для функций одной и нескольких переменных, которые будут использованы в дальнейшем изложении:

$$x + \bar{x} = x, \quad (2.1) \qquad x \cdot \bar{x} = x, \quad (2.5)$$

$$x + \bar{x} = 1, \quad (2.2) \qquad x \cdot \bar{x} = 0, \quad (2.6)$$

$$x + 1 = 1, \quad (2.3) \qquad x \cdot 1 = x, \quad (2.7)$$

$$x + 0 = x, \quad (2.4) \qquad x \cdot 0 = 0, \quad (2.8)$$

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 \quad (2.9)$$

$$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \quad (2.10)$$

Справедливость тождеств (2.1) - (2.8) очевидна. В справедливости же (2.9), (2.10) можно убедиться из таблиц состояний, приведенных на рис. 2.7, 2.8.

Функции, стоящие в левых частях (2.9), (2.10), называются соответственно: «штрих Шеффера» и «стрелка Пирса».

В практических приложениях алгебры логики часто приходится решать задачу, обратную рассмотренной, а именно - задачу определения аналитического выражения логической функции по её таблице состояний.

Один из методов решения этой задачи рассмотрим на примере таблицы состояния функции, аналитическое выражение которой заранее известно. Пусть это будет таблица состояний функции «штрих Шеффера» (см. рис. 2.7).

Назовем состояния, для которых значения функции равны 1, обязательными. Для функции «штрих Шеффера» обязательными являются состояния 1, 2 и 3.

Состояния, для которых значения логической функции равны 0, назовем запрещёнными.

Способ состоит в том, что выражение логической функции записывается в виде суммы произведений независимых переменных. Количество слагаемых равно числу обязательных состояний. Каждое слагаемое ставится в соответствие одному обязательному состоянию и представляет собой произведение, включающее все независимые переменные или их инверсии. Если для данного состояния значение, независимой переменной равно 1, то эта переменная записывается в произведении символом без черточки, если же она равна 0, то записывается символом с черточкой (инверсией). Руководствуясь этим правилом, для таблицы 2.7 мы должны записать следующее выражение:

$$f = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2. \quad (2.11)$$

Форма записи (2.11) логической функции в виде суммы произведений, содержащих в качестве сомножителей все независимые переменные в прямом или инверсном виде, называется совершенной нормальной дизъюнктивной формой.

Нетрудно убедиться в том, что логическая функция (2.11) удовлетворяет таблице состояний функции «штрих Шеффера». Однако выражение (2.11) отличается от записи функции Пирса. Различие выражений свидетельствует о том, что форма записи (2.11) не является оптимальной. Выражение (2.11)

Витебский государственный технологический университет

№№ состояний	X_1	X_2	$\overline{X_1 * X_2}$	$\overline{X}_1 + \overline{X}_2$
1	0	0	1	1
2	1	0	1	1
3	0	1	1	1
4	1	1	0	0

Рис. 2.7 Таблица состояний функции "Штрих Шеффера"

№№ состояний	X_1	X_2	$\overline{X_1 + X_2}$	$\overline{X}_1 * \overline{X}_2$
1	0	0	1	1
2	1	0	0	0
3	0	1	0	0
4	1	1	0	0

Рис. 2.8 Таблица состояний функции "стрелка Пирса"

	$\overline{X}_2$	X_2
X_1	1	0
$\overline{X}_1$	1	1

Рис. 2.9

	$\overline{X}_2$		X_2	
X_1	0	1	1	0
$\overline{X}_1$	0	0	0	0
	$\overline{X}_3$	X_3		$\overline{X}_3$

Рис. 2.10

Витебский государственный технологический университет

можно упростить. Упрощение аналитического выражения логической функции называют её минимизацией. Критерием минимизации является число символов независимых переменных в аналитическом выражении функции.

Рассмотрим некоторые способы минимизации логических функций. Прежде всего, можно воспользоваться преобразованиями аналитического выражения на основе распределительного закона. Пример:

$$f = x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_3 (x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2).$$

Это преобразование дает особый эффект, когда в скобках остается выражение вида $(x + \bar{x})$, которое согласно тождеству (2.2) равно 1. Кроме того, согласно (2.7) умножение логической переменной, находящейся за скобками, на 1 даёт значение этой же переменной. В результате указанное выражение в скобках вообще исключается из записи. Пример:

$$f = x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1 \cdot x_2 (\bar{x}_3 + x) = x_1 \cdot x_2. \quad (2.12)$$

Преобразование, ведущее к умножению на сумму вида $(x + \bar{x})$, называется "склеиванием" слагаемых. В результате такого преобразования слагаемые, входящие в исходное выражение, как бы "склеиваются" в одно слагаемое, в котором исчезает одна переменная и ее инверсия.

Иногда исходное выражение логической функции можно искусственно изменить, с тем, чтобы получить возможность "склеивания" слагаемых путем неоднократного логического суммирования одних и тех же слагаемых, что согласно тождеству (2.1) не изменит значения логической функции. Этот прием может быть использован при минимизации полученного нами выражения (2.11). Для этого прибавим к сумме еще раз слагаемое $\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$:

$$f = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 =$$
$$= \bar{x}_2 \cdot (\bar{x}_1 + x_1) + \bar{x}_1 \cdot (x_2 + \bar{x}_2) = \bar{x}_2 + \bar{x}_1.$$

В результате преобразования приходим к простейшему выражению для функции «штрих Шеффера».

Универсальным является способ минимизации, основанный на представлении логической функции в виде карты Вейча. Карта Вейча может быть построена на основании таблицы состояния. Она представляет собой прямоугольник, разделенный на клетки. Число клеток, равно числу возможных состояний логических функций, которое как уже указывалось, равно 2^n, где n - число независимых переменных. Таким образом, каждому состоянию логической функции на карте Вейча соответствует определенная клетка. Карта Вейча должна быть размечена с тем, чтобы можно было для каждого состояния определить соответствующую клетку. На рис. 2.9 - 2.13 приведены разметки карт Вейча для логических функций двух, трех, четырех, пяти и шести переменных. Для каждой переменной x_i (i = 2,3,…n) половина клеток карты Вейча отводится для состояний, содержащих x_i = 1. Эта часть клеток размечается символом x_i. Другая половина карты отводится для состояний содержащих x_i = 0, она размечается символом $\bar{x}_i$. Линия, разделяющая карту на две части для значений x_i называется осью переменной x_i.

Витебский государственный технологический университет

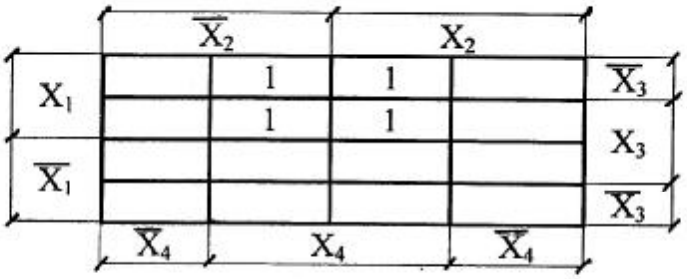


Рис. 2.11

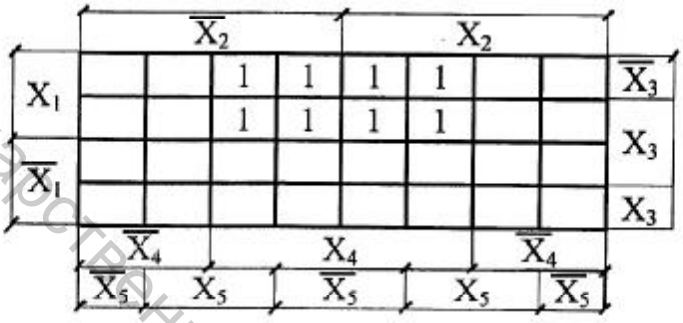


Рис. 2.12

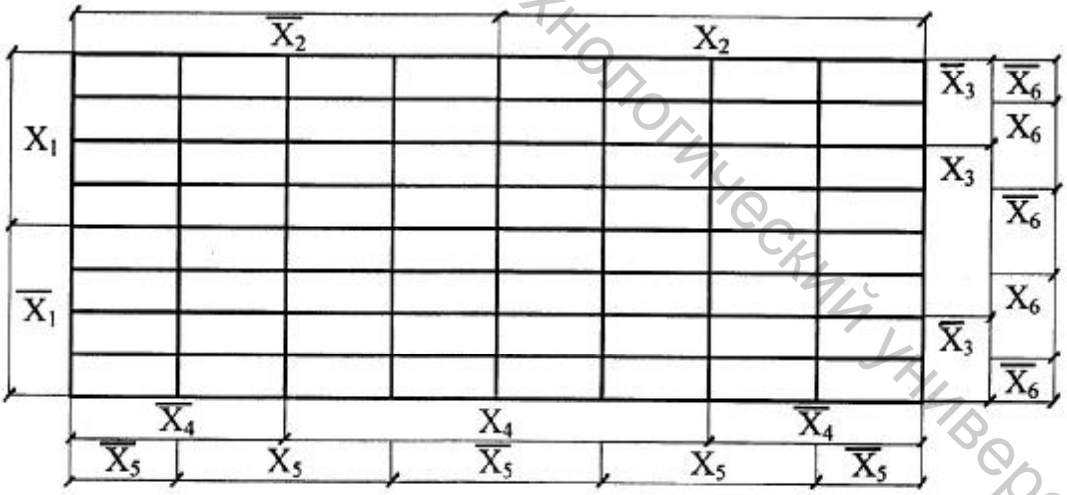


Рис. 2.13

Витебский государственный технологический университет

Для исключения неопределенности не должно быть одинаковых разметок для различных независимых переменных.

В каждую клетку вписывается значение логической функции (0 или I) для того состояния, которому эта клетка соответствует.

В качестве примера рассмотрим процесс вписывания 1 и 0 в клетки карты Вейча (рис. 2.9) по заданной таблице состояний (рис. 2.7). Состояние № 1 содержит $x_1 = 0$; $x_2 = 0$, поэтому ему соответствует клетка, расположенная в поле $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$, т.е. в нижнем левом углу. В эту клетку вписываем 1, т.к. в состоянии № 1 логическая функция равна 1. Состоянию № 2 соответствует клетка, расположенная в поле x_1 и $\bar{x}_2$, т.е. - в верхнем левом углу, т.к. $x_1 = 1$, $x_2 = 0$. В эту клетку вписываем 1. Состоянию № 3 соответствует нижняя правая клетка. В эту клетку также вписывается 1. И, наконец, последняя свободная клетка соответствует состоянию № 4, в эту клетку вписывается 0.

Аналогичным образом заполняются клетки карты Вейча для логических функций трех и более переменных.

Рассмотрим свойства карт Вейча, используемые при минимизации логических функций.

Пусть некоторая логическая функция представлена на карте Вейча (рис. 2.10) группой из двух 1, расположенных симметрично относительно оси переменной x_1. Аналитическое выражение этой функции может быть минимизировано:

$$f = x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1 \cdot x_3 \cdot (\bar{x}_2 + x_2) = x_1 \cdot x_3.$$

Таким образом, если на карте Вейча имеется группа из двух 1, расположенная симметрично относительно оси x_2, то соответствующие им слагаемые в аналитическом выражении логической функции "склеиваются" в одно слагаемое, в котором x_2 и $\bar{x}_2$ отсутствуют.

Нетрудно убедиться в том, что это правило справедливо для групп из двух 1, расположенных симметрично относительно осей других переменных: x_1, x_3. Общее правило формулируется следующим образом.

Если на карте Вейча имеется группа из двух 1, расположенных симметрично относительно оси x_i (i = 1, 2, 3...), то соответствующие им слагаемые в аналитическом выражении логической функции «склеиваются» в одно слагаемое, в котором переменная x_i и ее инверсия $\bar{x}_i$ отсутствуют.

Пусть некоторая логическая функция представлена на карте Вейча группой из четырех 1, расположенных симметрично относительно осей x_2 и x_3 (рис. 2.11).

Разделим группу на две группы из двух 1, симметричных оси x_3, и воспользуемся известным нам правилом для записи аналитического выражения логической функции:

$$f = x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 = x_1 \cdot x_4 \cdot (\bar{x}_2 + x_2) = x_1 \cdot x_4.$$

Витебский государственный технологический университет

Таким образом, четыре слагаемых в аналитическом выражении логической функции "склеиваются" в одно слагаемое, в котором отсутствуют x_2, x_3 и их инверсии.

Это правило справедливо для групп из четырех 1, симметричных относительно осей двух любых переменных.

Общее правило сформулируем следующим образом. Если на карте Вейча имеется группа из четырех 1, расположенных симметрично относительно осей двух переменных x_i и x_j, то соответствующие им слагаемые в аналитическом выражении логической функции "склеиваются" в одно слагаемое, в котором переменные x_i , x_j и их инверсии $\bar{x}_i$, $\bar{x}_j$ отсутствуют.

Пусть на карте Вейча имеется группа из восьми 1 (рис.2.12), расположенных симметрично относительно осей переменных x_2, x_3, x_5.

Представим эту группу в виде двух групп из четырех 1, симметричных относительно осей x_3 и x_5, и запишем выражение логической функции с учетом известного правила:

$$f = \bar{x}_2 \cdot x_4 + x_2 \cdot x_4 = x_4 \cdot (\bar{x}_2 + x_2) = x_4.$$

Таким образом, выражение логической функции содержит вместо восьми слагаемых только одно, в котором отсутствуют переменные x_2, x_3, x_5 и их инверсии.

Общее правило формулируется следующим образом.

Если на карте Вейча имеется группа из восьми 1, расположенных симметрично относительно осей трех переменных x_i , x_j, x_k, то соответствующие им слагаемые в аналитическом выражении логической функции "склеиваются" в одно слагаемое, в котором переменные x_i , x_j, x_k и их инверсии отсутствуют.

Укажем на одно существенное правило, используемое при объединении 1 в группы: одна и та же 1 может использоваться в различных группах. Это правило основано на том, что одно и то же слагаемое может записываться в выражении логической функции несколько раз, при этом функция не изменяется согласно тождеству (2.1).

Например, для карты Вейча на рис. 2.9 можно рассматривать две группы по две 1:

$$f = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 .$$

2.3. Элементы систем путевого управления

В блок-схеме системы путевого управления (см. рис.2.1) следует выделить элементы, выполняющие собственно функции управления: путевые переключателя 1 и логические элементы 2. Управление состоит в переключении состояний логических элементов в зависимости от состояний путевых переключателей.

В настоящем учебном пособии поставлена задача изложения общих принципов проектирования систем путевого управления. Реализация этих принципов рассмотрена на примере пневматических систем с поршневыми

Витебский государственный технологический университет

элементами, широко применяемых в машинах-автоматах легкой промышленности.

Путевые переключатели

Информация о состоянии рабочих органов машины-автомата поступает в систему управления от путевых переключателей. Пневматический поршневой путевой переключатель может быть выполнен в виде двухпозиционного трехходового распределителя (рис. 2.14) с кулачковым управлением, с возвратной пружиной. Распределитель может находиться в двух состояниях: шток не нажат, шток нажат. В распределителе имеется три линии: выходная (справа), две входные (слева), одна из них (нижняя) присоединена к магистрали, другая (верхняя) - к атмосфере.

Верхнее поле распределителя показывает соединение линий при не нажатом штоке, при этом выход связан с атмосферой. Этому состоянию выходной линии поставим в соответствие значение переменной $x = 0$. Нижнее поле распределителя показывает соединение линий при нажатом штоке, при этом выходная линия связана с магистралью. Этому состоянию поставим в соответствие значение переменной $x = 1$.

Логические элементы

На выходе логических элементов формируются переменные f, зависящие от набора значений входных переменных. Входные переменные формируются путевыми переключателями. Также как и для путевых переключателей, для выходных линий логических элементов одному из состояний ставится в соответствие значение $f = 0$, а другому $f = 1$.

Независимо от принципа действия логические элементы имеют одинаковые условные изображения на функционально-логических схемах.

На этих схемах входные сигналы обозначаются x_1, x_2,..., выходные f_1, f_2,…, а сами элементы - в виде прямоугольников. Соответствие между входными и выходными переменными логических элементов описываются логическими функциями.

Для реализации простейших логических функций имеются стандартные логические элементы.

Повторитель реализует функцию повторения $f = x$. Логическая схема повторителя приведена на рис. 2.15а. Пневматический повторитель может быть выполнен в виде двухпозиционного трехходового распределителя (рис. 2.15 б) с пневматическим управлением, с возвратной пружиной. Верхнее поле этого распределителя соответствует присоединению управляющей линии x к атмосфере ($x = 0$).

Витебский государственный технологический университет

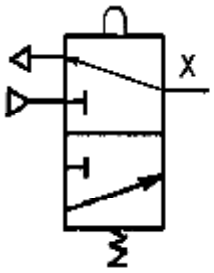


Рис. 2.14

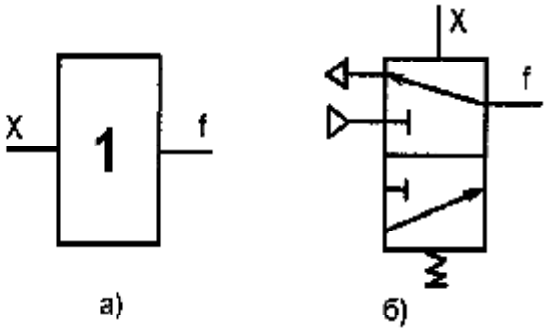


Рис. 2.15 Схемы повторителей:
а) логическая,
б) пневматическая

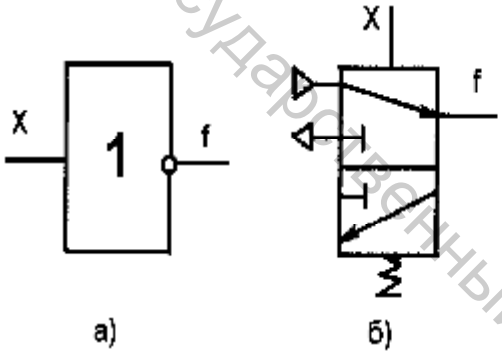


Рис. 2.16 Схема инверсоров
а) логическая
б) пневматическая

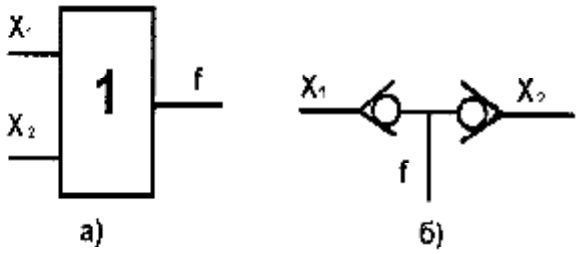


Рис. 2.17 Схема элементов "ИЛИ":
а) логическая,
б) пневматическая.

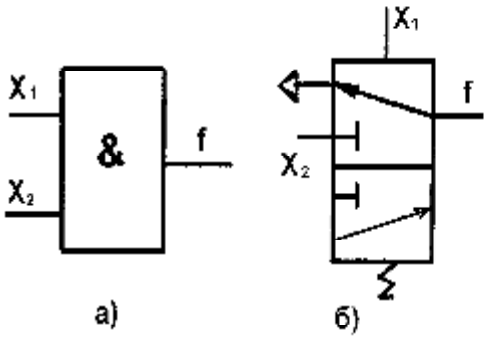


Рис. 2.18 Схема элементов "ИЛИ:
а) логическая,
б) пневматическая."

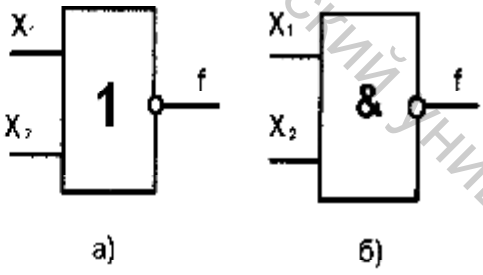


Рис. 2.19 Логические схемы элементов
а) или-не
б) и-не

Витебский государственный технологический университет

Инверсор (элемент "НЕ") реализует функцию логического отрицания (инверсию) $f = \bar{x}$. Логическая схема инверсора приведена на рис. 2.16а. Пневматический инверсор может быть выполнен на базе поршневого повторителя, если в последнем верхнюю входную линию присоединить к магистрали, а нижнюю - к атмосфере (рис. 2.16б).

Элемент "ИЛИ" реализует функцию логического сложения $f = x_1 + x_2$.

Логическая схема элемента "ИЛИ" приведена на рис. 2.17а.

Пневматический элемент "ИЛИ" может быть выполнен на базе двух обратных клапанов (рис. 2.17б) . В этом устройстве выходная линия f будет соединена с магистралью (f = 1), если хотя бы одна из входных линий x_1, x_2 будет присоединена к магистрали.

Элемент "И" реализует функцию логического умножения $f = x_1 \cdot x_2$. Логическая схема элемента "И" приведена на рис. 2.18а. Пневматический элемент "И" выполняется на базе двухпозиционного трехлинейного распределителя с пневматическим управлением с возвратной пружиной (рис. 2.18б). Выходная линия устройства будет связана с магистралью (f = 1) только в том случае, если одновременно соединены с магистралью линия управления x_1 и входная линия x_2. При этом соединение линий соответствует нижнему полю распределителя.

Функция «стрелка Пирса» $f = \overline{x_1 + x_2}$ реализуется логическим элементом "ИЛИ-НЕ". Логическая схема этого элемента приведена на рис. 2.19а. Пневматический элемент "ИЛИ-НЕ" может быть получен с помощью последовательно соединенных пневматических элементов "ИЛИ" (рис. 2.17б) и "НЕ" (рис. 2.16б).

Функция «штрих Шеффера» $f = \overline{x_1 \cdot x_2}$ реализуется логическим элементом "И - НЕ". Логическая схема этого элемента приведена на рис. 2.19б. Пневматический элемент "И - НЕ" может быть получен с помощью последовательно соединенных пневматических элементов "И" (рис. 2.18б) и "НЕ" (рис. 2.16б).

До сих пор мы рассматривали такие логические элементы, в которых соответствующие состояния входных и выходных переменных совмещены по времени. Такие логические элементы называются комбинационными.

В системах путевого управления применяются также такие логические элементы, в которых требуемые состояния выходных переменных следуют после соответствующих состояний входных, т.е. указанные состояния не совмещены по времени. Такие элементы можно получить соединением комбинационных логических элементов. На рис. 2.20 показано соединение двух элементов "ИЛИ-НЕ", при котором выход одного элемента соединен с входом другого. В новом устройстве независимыми логическими переменными являются только x_1 и x_4, так как $x_2 = f_2$ и $x_3 = f_1$.

Рассмотрим таблицу состояний нового устройства (рис.2.21), имея в виду для каждого элемента "ИЛИ-НЕ" таблицу состояний на рис. 2.8.

Витебский государственный технологический университет

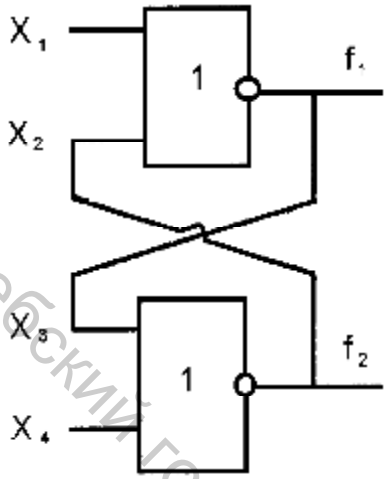


Рис. 2.20 Соединение двух элементов "или-не"

NN сост	X_1	X_2	f_1	X_3	X_4	f_2
1	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	1	1	0
3	0	0	1	1	0	0
4	1	1	0	0	0	1
5	0	1	0	0	0	1

Рис. 2.21

NN сост	X_1	X_4	f
1	0	0	0
2	0	1	1
3	0	0	1
4	1	0	0
5	0	0	0

Рис. 2.22

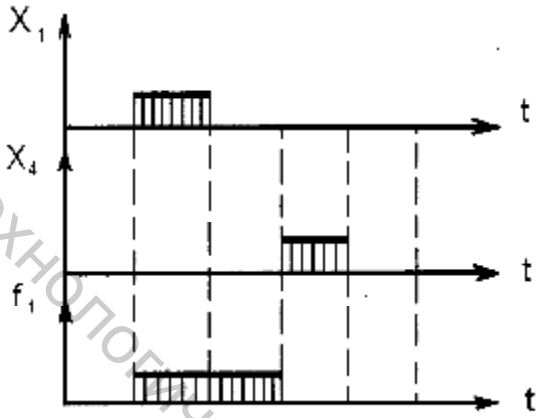


Рис. 2.23

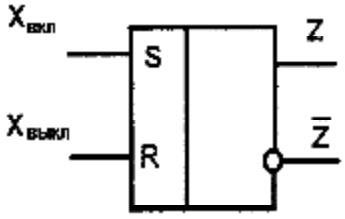


Рис. 2.24

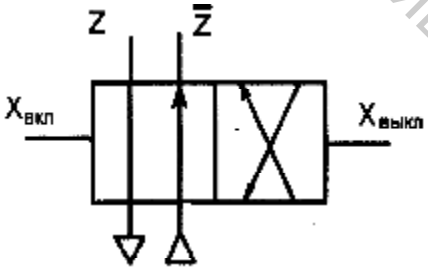


Рис. 2.25

Витебский государственный технологический университет

Пусть в исходном состоянии №1 $x_1 = 0$, $x_4 = 0$, $f_1 = 0$. Тогда состояния остальных переменных определяется однозначно:

$$x_2 = f_2 = 1; x_3 = f_1 = 0.$$

Рассмотрим следующее состояние № 2, в котором $x_4 = 1$. В результате изменения значения x_4 происходит несколько последовательных изменений состояний переменных. Сначала при $x_3 = 0$ (для состояния №1) и $x_4 = 1$ изменится значение переменных f_2 и x_2: $f_2 = 0$; $x_2 = 0$. Затем для $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ для первого элемента «ИЛИ-НЕ» получим $f_1 = 1$ и для второго элемента: $x_3 = f_1 = 1$. Таким образом, в результате изменения состояния x_4 с 0 на 1, изменяются состояния выходных функций f_1 и f_2.

Переходим к анализу состояния № 3 устройства. В этом состоянии $x_4 = 0$. В результате изменения x_4 происходит следующее: так как $x_3 = 1$ (для состояния № 2) и $x_4 = 0$, то $f_2 = 0$, т.е. состояние f_2, а следовательно и x_2 не изменятся, не изменятся и состояния f_1 и x_3. Таким образом, изменение состояния x_4 не приводит к изменениям состояний выходных переменных f_1 и f_2. Это дает основание говорить о том, что после снятия $x_4 = 1$ "запоминается" состояние № 2.

Рассмотрим далее состояние № 4, при котором $x_1 = 1$. В результате изменения значения x_1 происходит следующее: вследствие того, что $x_1 = 1$, $x_2 = 0$ (для состояния № 3) изменяется значение f_1 и x_3, $f_1 = x_3 = 0$; затем в связи с тем, что $x_3 = 0$, $x_4 = 0$ изменятся состояния f_2 и x_2: $f_2 = 1$, $x_2 = 1$. Таким образом, изменение x_1 приводит к изменению состояний выходных функций f_1 и f_2. Наконец в состоянии № 5 $x_1 = 0$. В результате изменения значения x_1 состояния выходных переменных f_1 и f_2 не изменяются, что дает основание говорить о "запоминании" предыдущего состояния № 4.

Заметим, что для состояний №№ 1...5 справедливо равенство $f_1 = \overline{f}_2$, т.е. переменные f_1 и f_2 являются инверсиями. Учитывая, что $x_2 = f_2$, $x_3 = f_1$ перепишем таблицу состояний устройства в виде рис.2.22.

В этой таблице показаны состояния входных переменных x_1, x_4 и выходной переменной f_1. Обратим внимание на то, что для состояний № 1 и № 3 при одинаковых наборах значений x_1 и x_4 значения выходной функции f_1 различны, что невозможно для комбинационных логических переменных.

На рис. 2.22 построены временные диаграммы переменных x_1, x_4 и f_1 при переходе от состояния 1 в состояние 2 и т.д. до состояния 5. Обратим внимание на то, что значение 1 переменной x_4 устанавливает функцию f_1 из состояния 0 в состояние 1, а затем это состояние сохраняется (запоминается) и после того, как значение x_4 изменяется на 0. Причем длительность состояния №3 может быть сколько угодно продолжительной. Напротив, значение 1 входной переменной x_1 переключает функцию f_1 из состояния 1 в состояние 0, последнее сохраняется (запоминается) и после того, как значение x_1 изменится с 1 на 0.

Таким образом, мы имеем дело с качественно новым логическим элементом, в котором "запоминается" состояние выходной функции f_1. Этот элемент называется "триггером". Вход x_1 называется включающим входом, а вход x_4 - выключающим. Указанный логический элемент широко используется

Витебский государственный технологический университет

в системах управления и имеет в связи с этим особое обозначение, которое приведено на рис. 2.24. Входы триггера обозначаются латинскими буквами S и R, в соответствии с английскими словами Set - установка и Reset - сброс. Сам триггер называют S-R триггером с раздельными входами.

Пневматический триггер может быть выполнен соответствующим соединением пневматических элементов «ИЛИ-НЕ». Однако более простое исполнение триггера - в виде двухпозиционного, четырехлинейного распределителя с двухсторонним пневматическим управлением (рис. 2.25). Состоянию $x_{вкл.} = 1$ соответствует правое поле.

Принцип работы этого распределителя понятен из схемы и не нуждается в пояснениях.

К числу логических элементов отнесем также элемент задержки функции во времени (реле времени). Назначение этого элемента состоит в том, чтобы на выходе иметь функцию, появляющуюся на время $t_З$ позже, чем независимая переменная на входе. На рис. 2.26а показано изображение элемента задержки на логических схемах, на рис. 2.26б - временная диаграмма входной и выходной переменных.

Пневматический элемент задержки выполняется на базе пневматической емкости (ресивера), обратного клапана, регулируемого дросселя и двухпозиционного трехлинейного распределителя с пневматическим управлением, с возвратной пружиной (рис. 2.27).

Вход x элемента задержки может присоединяться к магистрали (при этом $x = 1$) или к атмосфере (при этом $x = 0$).

Состояние $f = 1$ на выходе устанавливается через некоторое время $t_З$ после появления значения $x = 1$. Время задержки $t_З$ изменяется регулировкой дросселя.

Другие элементы систем путевого управления

Такие элементы систем путевого управления как усилитель мощности 3 (см. рис. 2.1), исполнительные устройства 4 и объект управления 5 не выполняют собственно управляющих функций. Их назначение состоит в усилении и преобразовании выходных функций логических элементов (сигналов).

В пневматических системах путевого управления, выполненных на поршневых элементах, нет необходимости в усилении выходных сигналов, так как поршневые элементы работают на высоком давлении воздуха.

Исполнительные устройства этих систем управления выполняются, как правило, в виде пневмоцилиндров.

Объектами управления могут служить пневматические распределители исполнительных устройств машин-автоматов. Возможно подключение сигналов логических элементов, минуя распределитель, непосредственно к пневмоцилиндрам исполнительных устройств машин-автоматов.

Белорусский государственный технологический университет

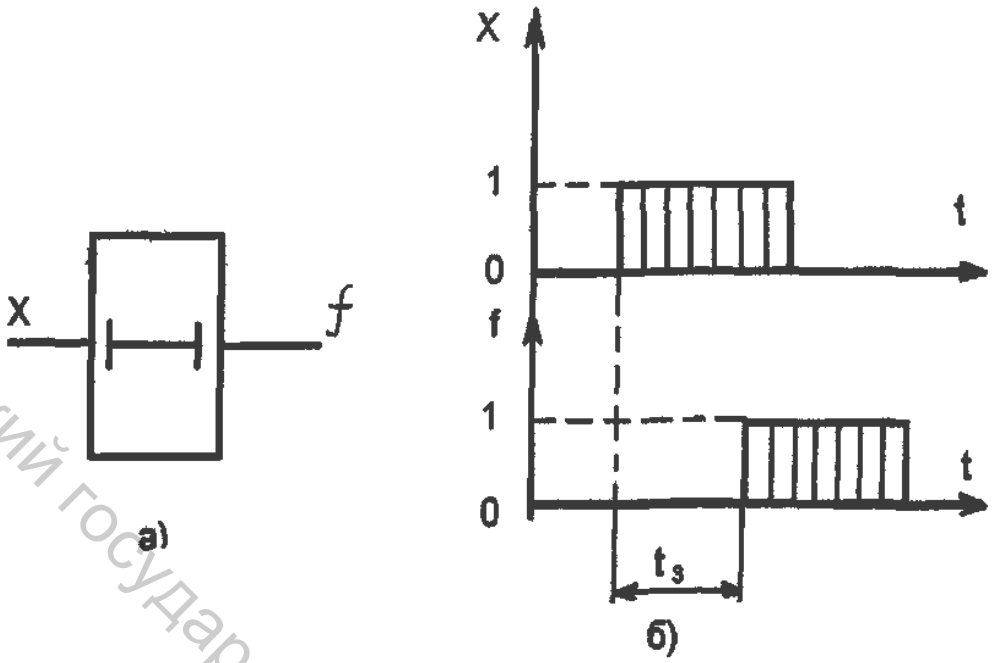


Рис. 2.26

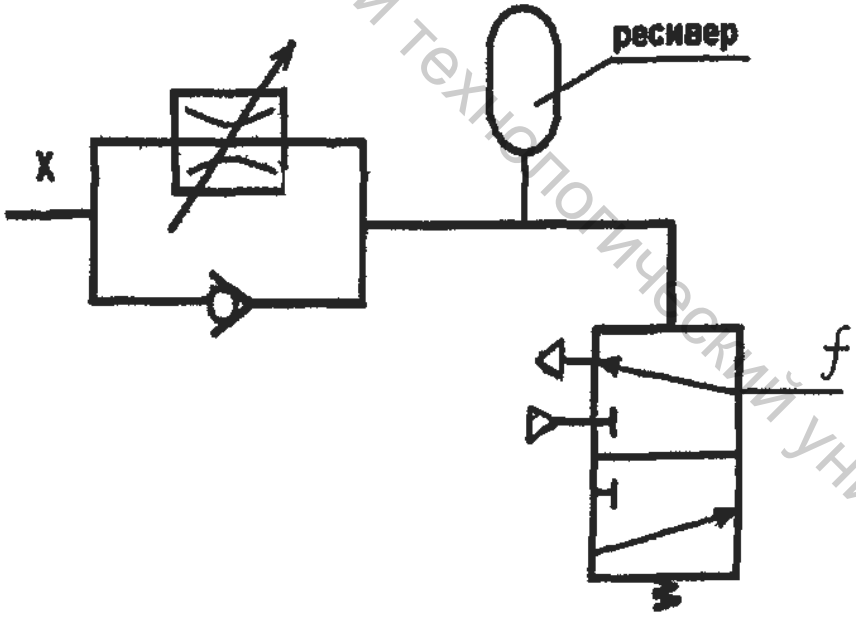


Рис. 2.27. Пневматический элемент задержки

Витебский государственный технологический университет

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1. Постановка задачи проектирования систем путевого управления

Исходные данные на проектирование.

Системы путевого управления предназначены для согласования состояний рабочих органов машин-автоматов в соответствии с заданной тактограммой. Поэтому необходимым исходным документом на проектирование является тактограмма машины-автомата.

Системы путевого управления используются в основном в машинах-автоматах легкой промышленности с пневмо- и гидроприводом [4].

На рис. 3.1 приведена принципиальная схема пневмопривода машины-автомата. Схема включает в себя распределительные устройства в виде пневматических двухпозиционных распределителей Р1 и Р2 с пневматическим управлением и возвратной пружиной; исполнительные устройства, состоящие из пневмоцилиндров Ц1, Ц2 и поршней П1, П2.

На рис. 3.2 приведен пример тактограммы машины-автомата. Тактограмма отражает полуавтоматический режим работы машины-автомата, характерный для большинства машин-автоматов легкой промышленности. В соответствии с этим режимом в 1-ом этапе рабочие органы П1 и П2 находятся в исходных состояниях, в конце первого такта происходит ручной запуск машины-автомата, далее в последующих тактах осуществляется автоматический режим работы, обеспечиваемый системой путевого управления.

Определение количества путевых переключателей и объектов управления.

Объектами управления системы путевого управления машины-автомата (рис. 3.1) являются распределители Р1 и Р2. Тип управления распределителями определяет и тип системы управления. Так на рис. 3.1 тип управления пневматический и соответствующая система управления должна быть пневматической.

Из тактограммы (рис. 3.2) следует, что изменения состояний рабочих органов происходят в крайних положениях рабочих органов, следовательно, для коммутации входных сигналов требуется установить путевые переключатели в крайних положениях рабочих органов П1 и П2. Максимальное их число – 4 соответствует общему числу крайних положений. В дальнейшем в ходе проектирования системы управления число путевых переключателей может быть уточнено в сторону уменьшения. Воздействие на штоки путевых переключателей Х1, Х2, Х3, Х4 осуществляется кулачками К1 и К2, установленными на штоках поршней П1 и П2.

Путевые переключатели являются источниками входных сигналов x_1, x_2, x_3, x_4. Если путевые переключатели нормально закрытые, то при нажатии на их штоки на выходе коммутируется сигнал $x = 1$.

На управляющие линии распределителей Р1 и Р2 подаются пневматические сигналы f_1 и f_2, являющиеся выходными для системы путевого

Витебский государственный технологический университет

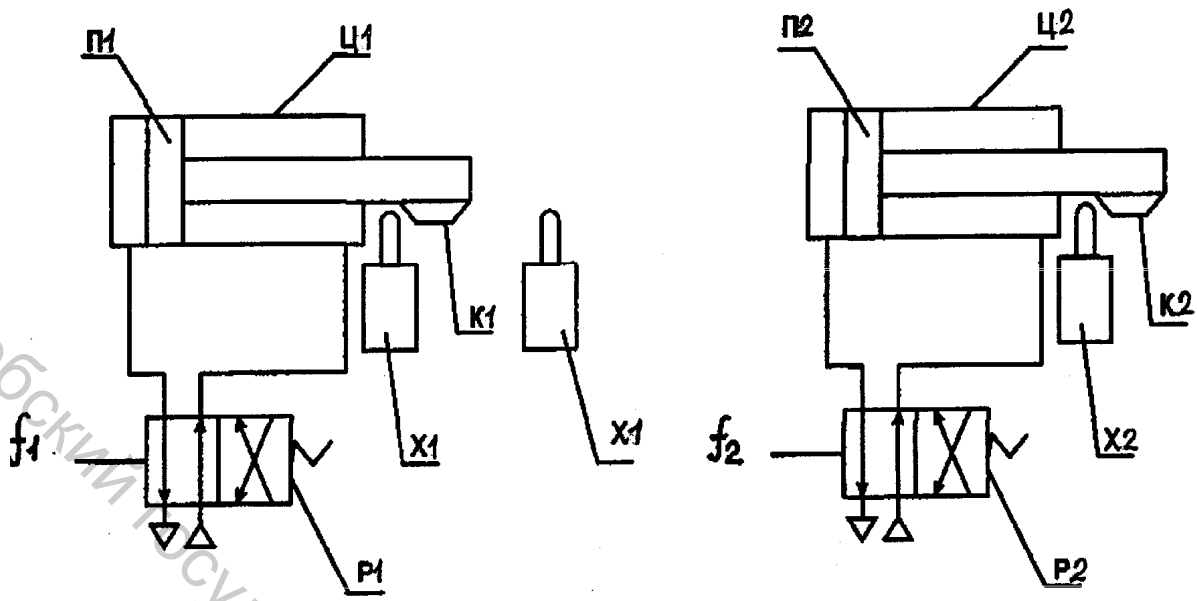


Рис. 3.1

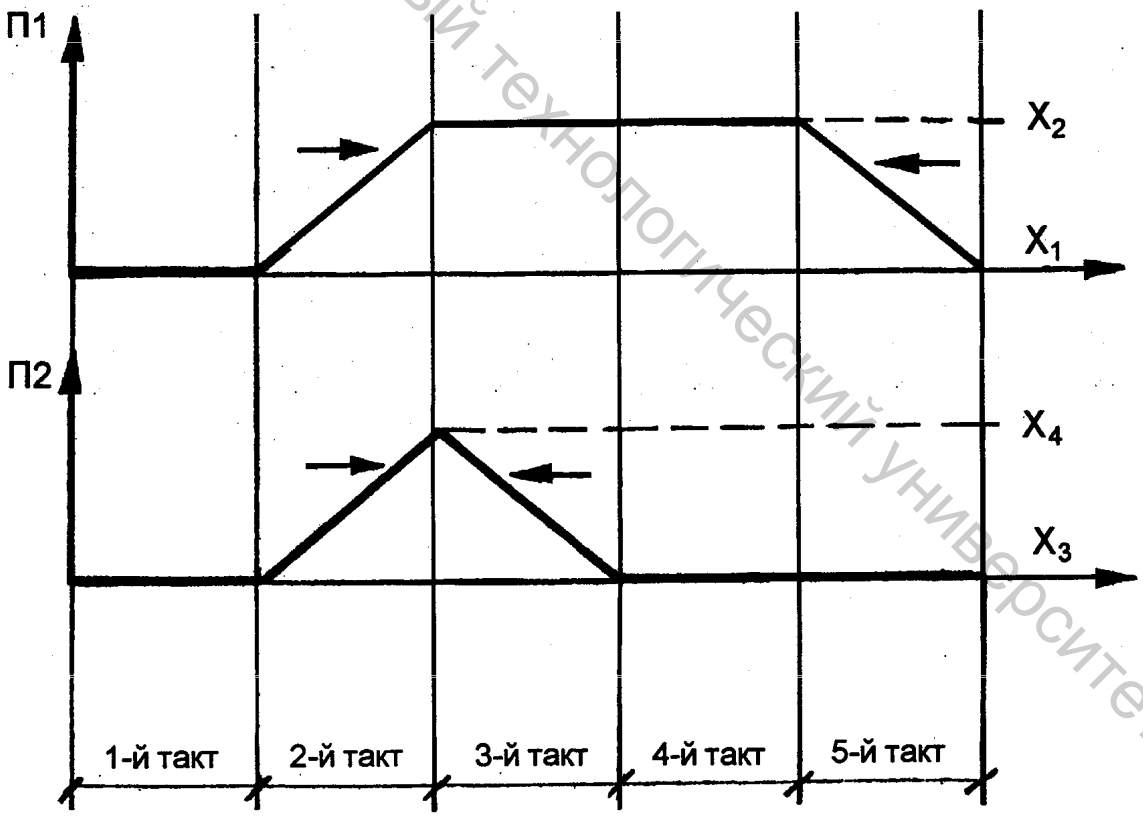


Рис. 3.2

Витебский государственный технологический университет

управления. Необходимо условиться об уровне сигналов f_1 и f_2, соответствующих правому и левому полям распределителей. Пусть, например, уровню f = 1 соответствуют правые поля распределителей. Тогда уровню f = 0 соответствуют левые поля. После этого легко установить соответствия между состояниями рабочих органов и уровнями сигналов f_1 и f_2.

Так при f_1 = 1 (правое поле Р1) поршень П1 может находиться в 2-х состояниях: движение вправо и остановка в крайнем правом положении. При f_1 = 1 (левое поле Р1) поршень П1 движется влево, либо стоит в крайнем левом положении.

Построение временных диаграмм входных и выходных сигналов.

Временной диаграммой логической переменной является чертеж, на котором по горизонтальной оси отложены отрезки времени равной длины, соответствующие тактам тактограммы, а для каждого такта горизонтальными отрезками показаны состояния логической переменной. Если состояние переменной равно 0, то отрезок совпадает с горизонтальной осью, если состояние равно 1, то отрезок расположен выше горизонтальной оси, а площадь между отрезком и осью заштрихована, как это показано на рис. 3.3.

Временные диаграммы входных переменных x_1, x_2, … и выходных f_1, f_2… строятся из условия, что заданная тактограмма (см. рис. 3.2) реализуется. Например, в первом такте оба поршня П1 и П2 находятся в исходных состояниях, при этом кулачки К1 и К2 нажимают на штоки путевых переключателей Х1 и Х3 и на выходах переключателей установлены сигналы x_1 = 1, x_3 = 1. Штоки путевых переключателей Х2 и Х4 в первом такте не нажаты, поэтому x_2 = 0, x_4 = 0.

Распределители Р1 и Р2 осуществляют соединение входных и выходных отверстий в соответствии с левыми полями, при этом f_1 = 0; f_2 = 0. Рассуждая аналогичным образом для других тактов, получаем временные диаграммы логических переменных x_1, x_2, x_3, x_4, f_1, f_2, изображенные на рис. 3.3. Обратим внимание на то, что путевой переключатель Х4 нажат только в момент изменения направления движения поршня П2 на границе второго и третьего тактов. Такой характер включения назовем импульсным и будем изображать его на временной диаграмме вертикальной жирной линией, расположенной на границе тактов.

Назовем входные сигналы, имеющие импульсный характер включения импульсными, а входные сигналы, имеющие длительность включения не менее одного такта, – потенциальными.

Возможно задание таких тактограмм, при которых один и тот же входной сигнал на протяжении кинематического цикла может иметь импульсный и потенциальный характер включения. Такие входные сигналы по характеру включения являются комбинированными.

Отметим, что выходные сигналы f_1, f_2,… могут быть только потенциальными.

Витебский государственный технологический университет

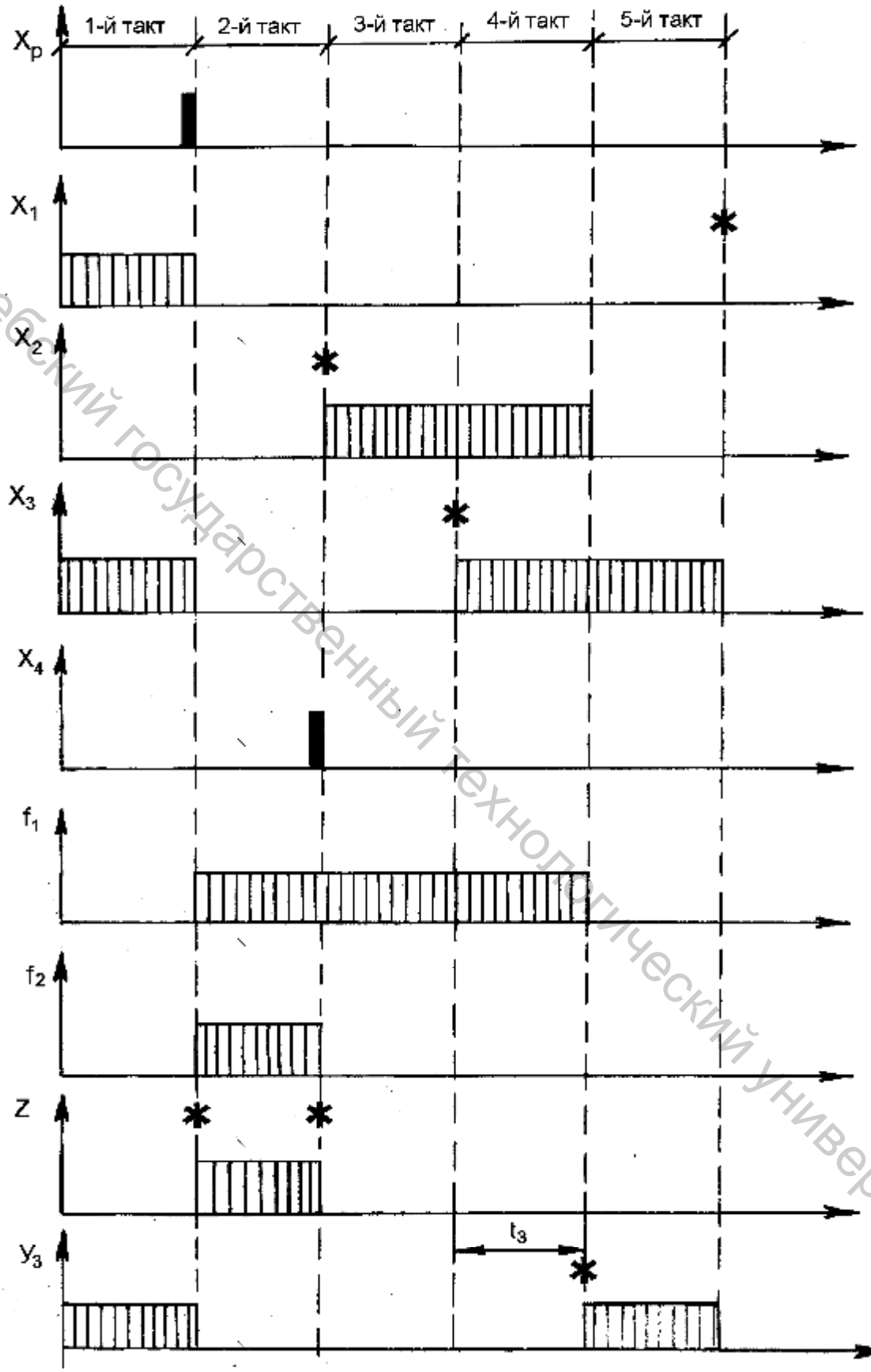


Рис.3.3

Витебский государственный технологический университет

Условия переключения выходных функций.

Для того, чтобы реализовать временные диаграммы выходных функций f_1, f_2,… необходимо осуществить их переключения на границах тактов. Для рассматриваемых диаграмм необходимо переключить f_1 в конце первого и четвертого тактов, а f_2 – в конце первого и второго тактов. Это возможно только посредством переключения входных потенциальных сигналов. Переключение входных потенциальных сигналов может осуществляться автоматически или вручную – посредством нажатия на переключатель с ручным управлением. В зависимости от способа переключения входных сигналов различают системы:

1) с автоматическим управлением;

2) с полуавтоматическим управлением.

В системах с автоматическим управлением требуемое переключение входных потенциальных сигналов должно осуществляться только автоматически посредством нажатия кулачком штока поршня. В системах с полуавтоматическим управлением переключение входных потенциальных сигналов в конце подготовительного (первого) такта осуществляется вручную, в остальных тактах – автоматически.

Рассмотрим условие, при котором возможно автоматическое переключение входных потенциальных сигналов x_1, x_2,…, x_n. Очевидно, что это возможно лишь в конце тактов движения рабочих органов. Отметим на временных диаграммах x (см. рис. 3.3) те моменты, для которых возможно автоматическое переключение входных потенциальных сигналов. В конце второго и пятого тактов движения поршня П1 возможно автоматическое переключение соответственно входных потенциальных сигналов x_2 и x_1. Отметим это на временных диаграммах x_2 и x_1 знаками *. В конце 3-го такта движения поршня П2 возможно автоматическое переключение входного потенциального сигнала x_3. Отметим это на временной диаграмме x_3 знаком *. Переключение выходной функции f_1 должно происходить в конце первого и четвертого тактов (рис. 3.3), а переключение выходной функции f_2 – в конце первого и второго тактов. Так как в конце первого и четвертого тактов не происходит автоматического переключения входных потенциальных сигналов x_1, x_2, x_3 (знаки * в эти моменты отсутствуют), то переключение f_1 и f_2 в указанные моменты невозможно с помощью x_1, x_3.

Выход из сложившейся ситуации может быть найден, если в систему управления ввести дополнительные потенциальные сигналы элементов памяти и реле времени. Переключение последних должно производиться входными сигналами x_1, x_2,… как потенциальными, так и импульсными.

Например, для проектируемой системы управления можно ввести в систему управления элемент памяти z и включать его в состояние 1 нажатием на ручную кнопку пуска ХР, а переключать автоматически в состояние 0 – импульсным входным сигналом x_4. Соответствующие временные диаграммы x_p и z приведены на рис. 3.3. Моменты, соответствующие переключению потенциального входного сигнала z обозначим знаками *. С введением

Белорусский государственный технологический университет

входного потенциального сигнала z появляется возможность переключения выходных функций f_1 и f_2 в конце первого такта и переключения выходной функции f_1 в конце второго такта.

Остается ввести в систему управления входной сигнал, выключающий выходную функцию f_2 в конце 4-го такта.

Таким элементом может быть реле времени y_3 с задержкой на включение, с входным сигналом x_3. Время задержки t_3 реле устанавливается равным времени 4-го такта. Выходной сигнал y_3 реле времени автоматически включается в конце 4-го такта. Соответствующая временная диаграмма выходного сигнала y_3 реле времени приведена на рис. 3.3. Реле времени есть дополнительный входной потенциальный сигнал. Момент автоматического включения реле времени обозначим значком *. С введением реле времени появится возможность выключения выходной функции f_1 в конце 4-го такта. Таким образом, возможность переключения выходных функций f_1, f_2 реализуется при введении дополнительных потенциальных входных сигналов z и y_3, коммутируемых элементом памяти и реле времени.

После построения временных диаграмм входных логических переменных, коммутируемых путевыми переключателями, элементами памяти и реле времени можно составить таблицу состояний выходных функций f_1, f_2. При этом каждому из тактов тактограммы соответствует свое состояние. Например, для первого такта тактограммы, изображенной на рис 3.2, согласно временным диаграммам (см. рис. 3.1), значения входных и выходных переменных будут следующими: $x_1 = 1$; $x_2 = 0$; $x_3 = 1$; $x_4 = 0$; $z = 0$; $y_3 = 1$; $f_1 = 0$; $f_2 = 0$. Аналогично устанавливаются значения входных и выходных переменных для остальных тактов. Составив таблицы состояний выходных функций f_1 и f_2, можно получить с помощью карт Вейча минимальные аналитические выражения этих функций и реализовать эти функции с помощью комбинационных логических элементов, элементов памяти и реле времени.

3.2. Порядок проектирования систем путевого управления

На основании изложенного в подразделе 3.1 порядок проектирования системы путевого управления может быть следующим.

1. Определяется максимальное число путевых переключателей n = 2N, где N – число исполнительных (рабочих) органов машины-автомата. Число ручных переключателей XP, предназначенных для запуска автоматической части цикла, обычно равно 1. В том случае, когда необходимо блокировать возможность попадания рук оператора в опасную зону предусматривается запуск цикла одновременным нажатием двумя руками на два ручных переключателя XP1, XP2.

2. Производится индексация путевых переключателей X1, X2…XN и ручной кнопки XP и коммутируемых ими входных сигналов x_1, x_2,…x_N, x_P.

3. Производится индексация объектов управления, пусть это будут распределители P1, P2,…, и подаваемых на них выходных сигналов f_1, f_2,…

Витебский государственный технологический университет

4. Строятся временные диаграммы входных сигналов x_1, x_2,…x_N, x_P и выходных функций f_1, f_2,… (см. рис.3.3).

5. Проверяем, выполняется ли «правило автоматических переключений» выходных функций f_1, f_2,… Это правило, исходя из рассуждений, приведенных на стр. 34-35 настоящего пособия, можно сформулировать следующим образом. Автоматическое переключение выходных функций f_1, f_2,… возможно в том случае, если в моменты переключений происходит автоматическое переключение потенциальных входных сигналов x_i, или элементов памяти ZJ, или потенциальных сигналов реле времени y_K. Сначала определяется возможность автоматического переключения выходных сигналов f_1, f_2,… посредством автоматического переключения потенциальных входных сигналов x_i. Для этого знаками * отмечаются те моменты временных диаграмм, где возможно их автоматическое переключение (в конце тактов движения соответствующих исполнительных органов).

Если автоматическое переключение f_1, f_2,… невозможно только с использованием потенциальных входных сигналов x_i (см. рис. 3.3), то вводят элементы памяти z_j, а при необходимости, и реле времени y_K.

6. Как показывает практика проектирования систем путевого управления, моменты переключения элементов памяти совпадают с моментами включения импульсных входных сигналов x_i, а количество элементов памяти зависит от числа импульсных сигналов x_i. В таблице 3.1 приведено рекомендуемое число элементов памяти в зависимости от числа импульсных сигналов x_i.

Таблица 3.1.

Рекомендуемое количество элементов памяти

Число входных импульсных сигналов x_i	1-2	3-4	5-6
Число элементов памяти	1	2	3

Если число элементов памяти больше 1, то они индексируются Z1, Z2,…, а соответствующие выходные сигналы обозначаются z_1, z_2,…

Например, для временных диаграмм на рис. 3.3 имеем два импульсных сигнала x_P и x_4, поэтому вводится один элемент памяти z. После определения числа элементов памяти Z1, Z2,… для соответствующих входных сигналов z_1, z_2,… строятся временные диаграммы (см. рис.3.3), после чего определяются входные импульсные сигналы x_i, подаваемые на входы включения и выключения каждого элемента памяти. Например, из диаграммы z на рис. 3.3 следует: $x_{ВКЛ} = x_P$; $x_{ВЫКЛ} = x_4$. Если элементов памяти несколько (z1, z2,…), то для каждого элемента памяти определяются импульсные сигналы x_i, подаваемые на входы включения $x_{ВКЛ1}$, $x_{ВКЛ2}$,… и входы выключения $x_{ВЫКЛ1}$, $x_{ВЫКЛ2}$,… этих элементов. При этом один и тот же импульсный сигнал x_i может одновременно подаваться на входы включения или выключения нескольких элементов памяти.

7. Если после введения элементов памяти Z1, Z2,… задача переключения выходных функций f_1, f_2,… все равно не решается, то вводятся реле времени.

Витебский государственный технологический университет

Практика проектирования показывает, что необходимость введения реле времени появляется в том случае, если на тактограмме (см. рис. 3.2) имеется хотя бы один такт (кроме 1-го), на протяжении которого все рабочие органы машины-автомата находятся в состоянии покоя. На рис. 3.2 таковым является 4-й такт, для прерывания 4-го такта и перехода к 5-му такту нужно переключить функцию f_1, это возможно, если ввести реле времени, с задержкой времени на включение, которое включается в конце 4-го такта. На вход реле времени должен быть подан потенциальный сигнал x_i, включаемый автоматически не позднее конца 3-го такта и выключаемый не позднее конца 4-го такта. Таковым на рис. 3.3 является сигнал x_3. Время задержки t_3 выходного сигнала реле времени y_3 устанавливается равным времени 4-го такта. С учетом этого строится временная диаграмма выходного сигнала y_3 реле времени. В этом случае обеспечивается автоматическое переключение выходного сигнала y_3 реле времени и выключение выходного сигнала f_1 в конце 4-го такта (см. рис. 3.3).

Аналитическое описание выходного сигнала реле времени может быть представлено в виде $y_3 = x_3$, где знак означает, что имеет место временное смещение включения сигналов y_3 и x_3 в соответствии с временными диаграммами сигналов y_3 и x_3.

8. Составляется сводная таблица переключений элементов памяти, выходных функций f_1, f_2,… и реле времени. Для рассматриваемого примера таблица имеет вид.

Таблица 3.2.

Таблица переключений выходных функций, элемента памяти и реле времени

Наименование сигналов и функций	Сигнал включения	Сигнал выключения
z	x_P	x_4
f_1	z	y_3
f_2	z	z
y_3	x_3	x_3

9. На основании временных диаграмм сигналов x_i, элементов памяти, реле времени и выходных функций f_1, f_2,… составляются таблицы состояний выходных функций f_1, f_2,… В качестве входных переменных в таблицу состояний включаются все потенциальные входные сигналы x_i, указанные в таблице переключений (для рассматриваемого примера это x_3), а также включенные в таблицу переключений сигналы элементов памяти и реле времени (z, y_3 для рассматриваемого примера, см. таблицу 3.3).

Витебский государственный технологический университет

Таблица 3.3.

Таблица состояний выходных функций f_1 и f_2

№№ тактов	№№ состояний	x_3	z	y_3	f_1	f_2
1	1	1	0	1	0	0
2	2	0	1	0	1	1
3	3	0	0	0	1	0
4	4	1	0	0	1	0
5	1	1	0	1	0	0

В первом столбце таблицы 3.3 указаны №№ тактов, во втором столбце - №№ состояний. Число состояний может быть меньше числа тактов, если для некоторых тактов имеются одинаковые значения входных и выходных функций. Например, в таблице 3.3. такты 1 и 5 одинаковы, поэтому число состояний равно четырем.

10. Для выходных функций f_1, f_2,… составляются карты Вейча. На рис. 3.4, 3.5 приведены карты Вейча для функций f_1, f_2 проектируемой системы управления.

В нижних углах клеточек карт Вейча указываются №№ состояний включенных в таблицу состояний.

11. С помощью карт Вейча определяются минимальные аналитические выражения выходных функций. При минимизации функций f_1, f_2,… в аналитических выражениях функций должны быть сохранены переменные, указанные для этой функции в таблице переключений (таблица 3.2). Например, в выражении функции f_1 (табл. 3.2) должны сохраниться переменные z и y_3 (или их инверсии $\overline{z}$ и $\overline{y}_3$), для функции f_2 – переменная z (или ее инверсия $\overline{z}$).

Так для функции f_1 на карте Вейча (см. рис. 3.4) имеющиеся 3 единицы можно объединять в две группы по две клетки, содержащие 1 и (-) симметричные оси перемещений x_3. В результате получим $f_1 = \overline{z} \cdot \overline{y}_3 + z \cdot \overline{y}_3$.

Для функции f_2 (см. рис. 3.4), имеющую одну единицу, можно включить в группу из четырех клеток с тремя (-). В результате получим $f_2 = z$.

12. Пользуясь таблицей переключений (таблица 3.2), составляется логическая функциональная схема системы управления. Для проектируемой системы управления логическая функциональная схема приведена на рис. 3.6.

13. Логическая функциональная схема реализуется с помощью конкретных элементов. Для проектируемой системы управления на рис. 3.7 приведена принципиальная пневматическая схема.

Витебский государственный технологический университет

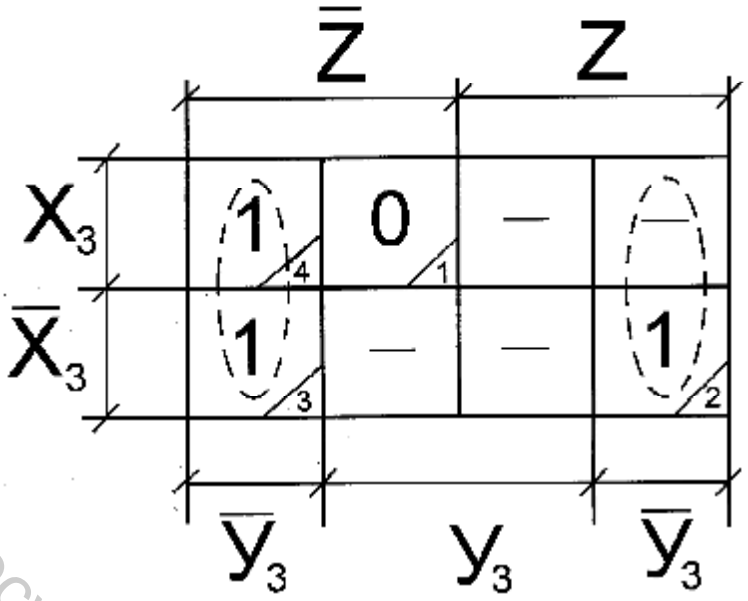


Рис. 3.4. Карта Вейча для функции f_1

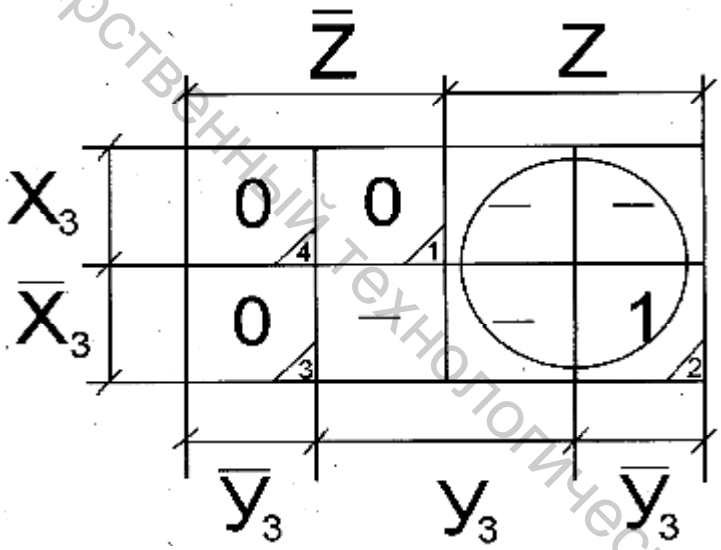


Рис. 3.5. Карта Вейча для функции f_2

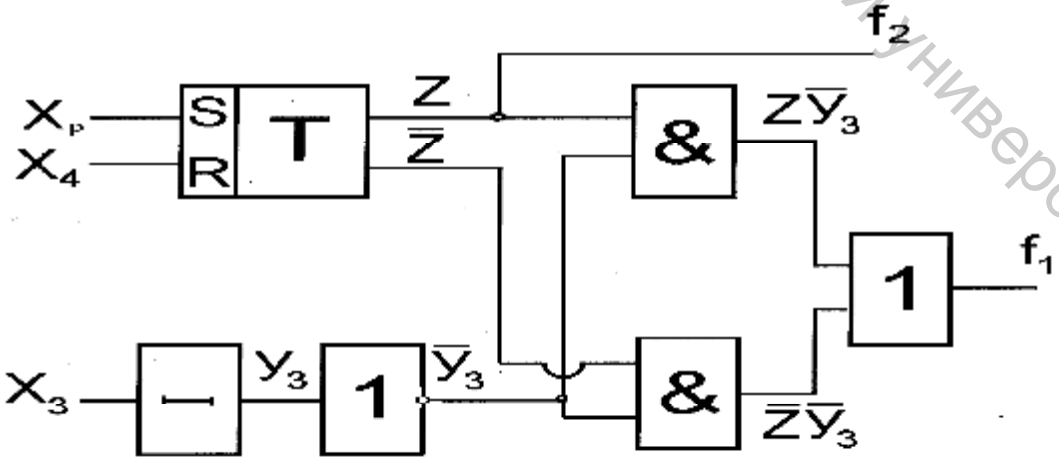


Рис. 3.6. Логическая функциональная схема системы управления

Витебский государственный технологический университет

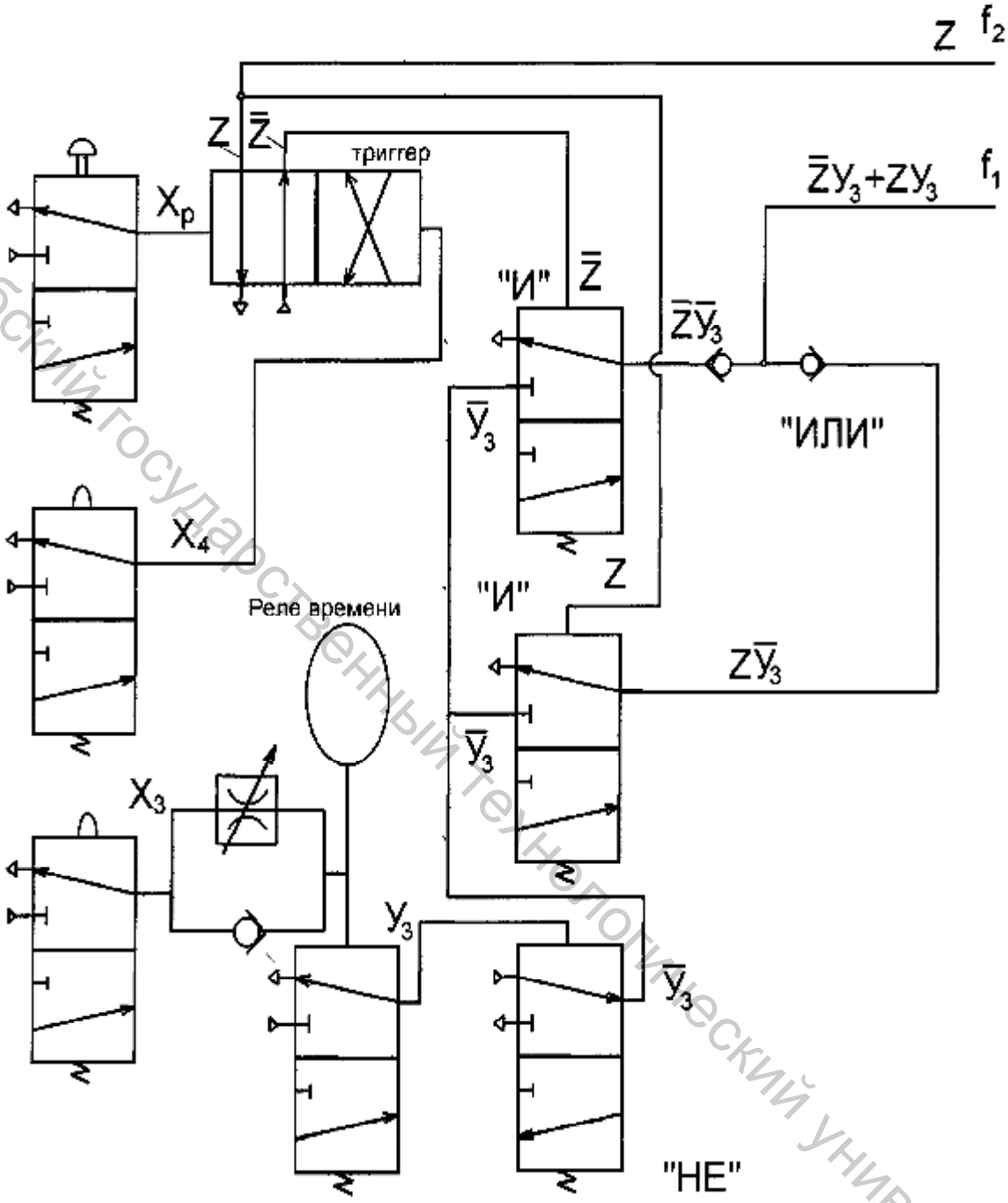


Рис. 3.7 Принципиальная пневматическая схема системы управления на поршневых элементах

Витебский государственный технологический университет

4 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ранее была рассмотрена реализация систем путевого управления на пневматических поршневых элементах. Теперь рассмотрим реализацию на других элементах, представленных в классификации на рисунке 2.2.

4.1. Пневматические системы путевого управления на мембранных элементах

Системы управления на мембранных элементах разработаны институтом автоматики Академии наук СССР и получили наименование УСЭППА [3] (универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики). В настоящее время разработан и выпускается новый комплекс элементов и модулей пневмоавтоматики (КЭМП), отличающийся меньшими габаритами элементов.

Можно отметить следующие преимущества мембранных элементов перед ранее рассмотренными поршневыми:

- более низкие давления воздуха (избыточное давление составляет 0,04 МПа по сравнению с 0,1…0,5 МПа), что способствует уменьшению габаритов элементов;
- более высокая долговечность из-за отсутствия трения в подвижных элементах;
- модульный принцип построения, что снижает стоимость систем управления;
- меньшее время срабатывания (0,01с против 0,1с в поршневых элементах).

К недостаткам мембранных элементов можно отнести:

- необходимость усиления выходного сигнала;
- сложность отладки.

Мембранные элементы применяются в системах управления швейных полуавтоматов (625 класса ОАО «Завод швейных машин»), обувных машин.

Рассмотрим конструктивные схемы и условные обозначения на принципиальных схемах мембранных элементов.

Путевые переключатели (рис. 4.1) могут выполняться в виде пусковых кнопок с кулачковым управлением. На рис. 4.1 обозначены: 1 – шток, 2 – корпус, 3 – мембрана, 4 – нажиматель, 5 – клапан, 6 – пружина. В исходном положении шток не нажат, выходное отверстие связано с атмосферой. При нажатии на шток 1 прогибается мембрана 3, нажиматель 4 воздействует на клапан 5, который соединяет выходное отверстие с магистралью.

На рис. 4.2 приведено условное изображение путевого переключателя. Отличие от изображения поршневого путевого переключателя состоит лишь в ином изображении подключения входных линий к атмосфере и магистрали (рис. 4.5).

Витебский государственный технологический университет

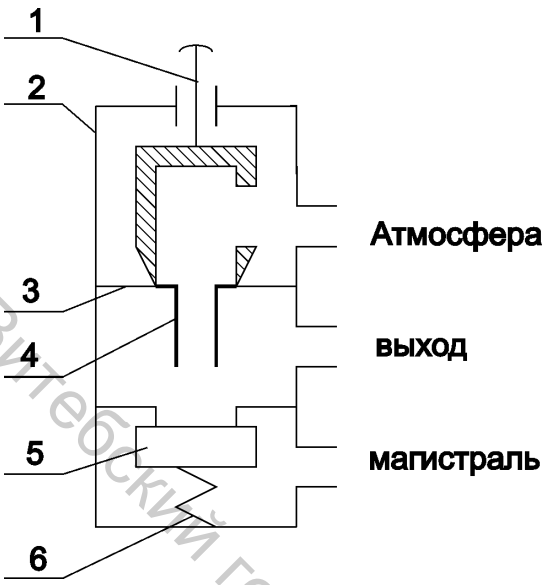


Рис. 4.1. Конструктивная схема путевого переключателя

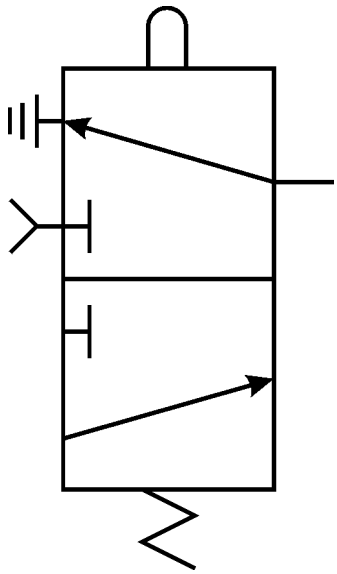


Рис. 4.2. Условное обозначение путевого переключателя

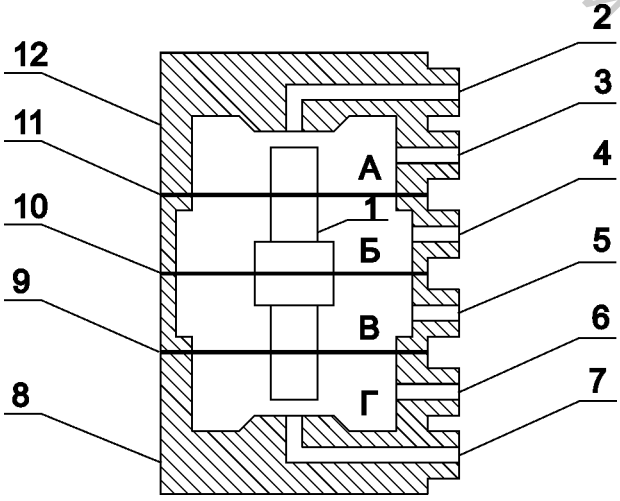


Рис. 4.3. Конструктивная схема трехмембранного пневматического реле

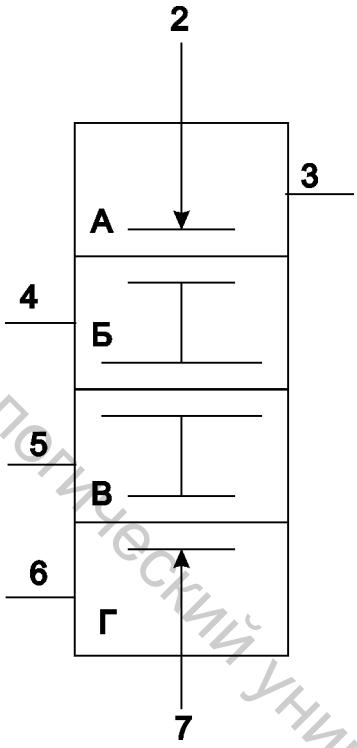


Рис. 4.4. Условное изображение пневматического реле

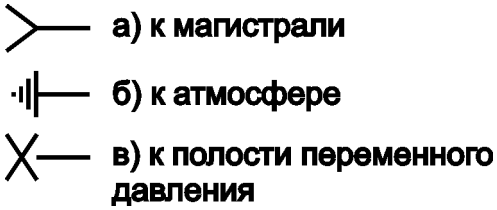


Рис. 4.5. Условное изображение присоединения входных каналов

Витебский государственный технологический университет

Логические элементы формируются на базе трехмембранного реле (рис. 4.3).

Реле состоит из корпуса, двух крышек 8 и 12 и жесткого центра 1, соединенного с мембранами 9, 10 и 11. В реле имеются шесть входных и выходных каналов 2…7. При подаче сжатого воздуха в один из средних каналов 4 и 5 жесткий центр перемещается соответственно вниз и вверх, при этом своим торцом перекрывает канал 7 или 2, разобщая между собой нижние каналы 6 и 7 или верхние каналы 2 и 3. Если через каналы 4 и 5 подать сжатый воздух одновременно, но разного давления, то жесткий центр также перемещается вверх или вниз в зависимости от того, в какой из средних полостей давление будет больше.. Обычно в таких реле к одному из каналов 4 или 5 постоянно подводится сжатый воздух давления меньше магистрального (через регулятор давления).

Условное изображение реле показано на рис. 4.4. Входные и выходные каналы обозначены теми же номерами 2…7, что и на рис.4.3.

Входные каналы реле могут подсоединяться к:

- источнику постоянного давления Рм магистрали системы управления Рм = 0,14 МПа (Рм - избыточное давление);
- источнику постоянного давления Рп подпора, меньшего, чем давление Рм, Рп = 0,3Рм или Рп = 0,8Рм;
- атмосфере, атмосферное давление Ра;
- полости переменного давления Рвх=Рм; Рвх = Ра.

В последнем случае говорят, что на вход реле подается переменный сигнал х.

Давлению Рвх = Ра соответствует уровень сигнала х = 0, давлению Рвх= Рм соответствует уровень сигнала х = 1. Если входных сигналов несколько, то они обозначаются индексами: x_1; x_2…

Выходной канал реле подсоединяется или к усилителю давления, или непосредственно к исполнительному элементу системы управления (например, пневмоцилиндру, золотнику с пневматическим управлением и т.п.). В полости, присоединяемой к выходному каналу реле, давление может быть равным Ра или Рм. Выходной сигнал обозначают f . Уровень выходного сигнала равен 1 при Рвых = Рм и равен 0 при Рвых = Ра.

Обозначения различных способов присоединения входных каналов показаны на рис. 4.5. Камера реле, присоединенная к подпору, т.е. к полости давления, Рп<Рм обозначается штриховкой (рис. 4.7). На базе трехмембранного пневматического реле можно получить элементы, реализующие простейшие логические функции. Например, если (рис. 4.4) канал 2 присоединить к магистрали, канал 6 - к атмосфере, канал 4 - к подпору, канал 5 - к полости переменного давления (т.е. к источнику переменного сигнала х), каналы 3 и 7 соединить в один общий выходной канал f, то получим логический элемент, реализующий логическую функцию НЕ (рис. 4.7).

Витебский государственный технологический университет

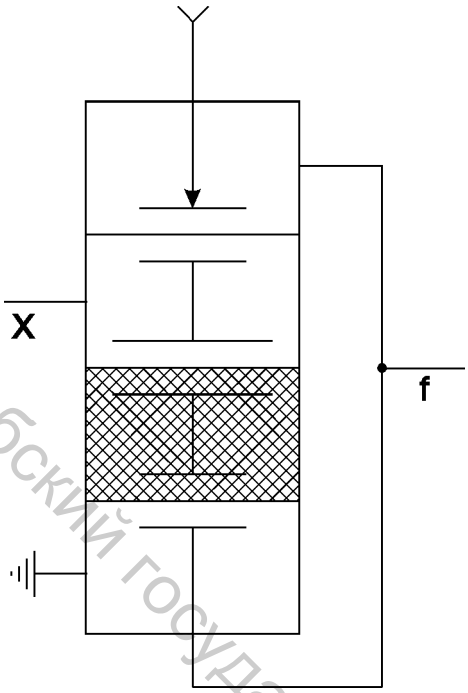


Рис. 4.6. Логический повторитель

$f = X$

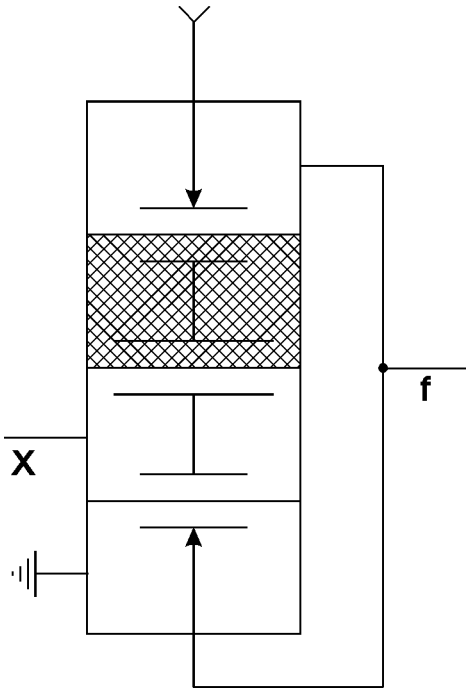


Рис. 4.7. Логический элемент «НЕ»

$f = \bar{X}$

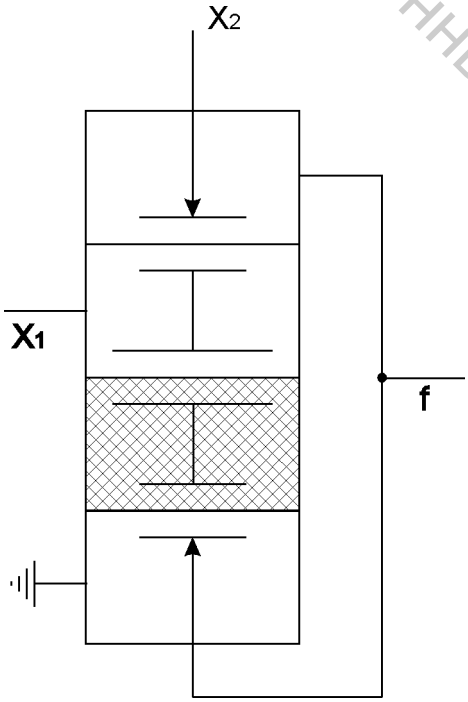


Рис. 4.8. Логический элемент «И»

$f = X_1 * X_2$

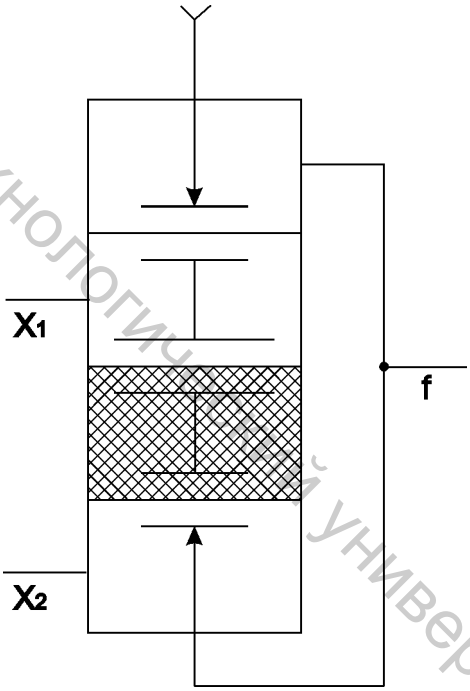


Рис. 4.9. Логический элемент «ИЛИ»

$f = X_1 + X_2$

Витебский государственный технологический университет

Составим таблицу состояний этого элемента:

Вход x	Выход f
0	1
1	0

Действительно, если на входе x давление равно атмосферному (x = 0), то центральный шток 1 (рис. 4.3) под действием давления подпора в камере Б опустится вниз (за счет того , что эффективная площадь мембраны 10 больше эффективной площади мембраны 11) и закроет канал 7, при этом каналы 2 и 3 соединяются через камеру А (рис. 4.3). В результате на выходном канале давление будет равно Рм, т.е. f = 1. При подаче давления Рм на вход 5 (рис. 4.4) создается равнодействующая сила на штоке 1, направленная вверх (за счет того, что Рм > Рп). В результате перекрывается канал 2, а канал 7 соединяется через канал 6 с атмосферой (рис. 4.7). В результате на выходе f установится атмосферное давление; при этом f = 0. Таким образом, элемент, изображенный на рис. 4.7, реализует логическую функцию отрицания: $f = \overline{x}$.

На рис. 4.6, 4.8, 4.9 показано условное изображение логических элементов, реализующих логические функции повторения: f = x (рис. 4.6), умножения (рис. 4.8): $f = x_1 \cdot x_2$, сложения (рис.4.9): $f = x_1 + x_2$.

Последовательным соединением простейших логических элементов, НЕ, И, ИЛИ можно реализовать более сложные логические функции. Например, на рис. 4.10 показано устройство, реализующее функцию НЕ-И: $f = \overline{x_1 \cdot x_2}$. Оно состоит из последовательно соединенных логических элементов И и НЕ. На рис. 4.11 показано устройство, реализующее функцию НЕ-ИЛИ $f = \overline{x_1 + x_2}$.

Реле памяти может быть реализовано соединением двух устройств НЕ-ИЛИ по логической схеме, приведенной на рис. 2.20. Схема мембранного реле памяти приведена на рис. 4.12.

Мембранное реле времени может быть сформировано аналогично реле времени на поршневых элементах (см. рис. 2.27), если в последнем поршневой повторитель заменить мембранным. Схема мембранного реле времени приведена на рис. 4.13.

Выходные сигналы системы управления на мембранных элементах требуется усиливать по величине давления (по мощности). Это возможно сделать с помощью мембранного усилителя мощности, формируемого на базе мембранного повторителя (см. рис. 4.6). На вход x повторителя подается выходной сигнал f системы управления, на вход «магистраль» подается требуемое давление магистрали (от 0,2 до 0,6 МПа). Тогда на выходе f имеем сигнал f = 1 (давление магистрали Рм = 0,2…0,6 МПа).

На рис. 4.14 приведена схема мембранного усилителя мощности на базе повторителя.

На рис. 4.15 приведена принципиальная схема системы управления на мембранных элементах, реализующая логическую функциональную схему, приведенную на рис. 3.6.

Витебский государственный технологический университет

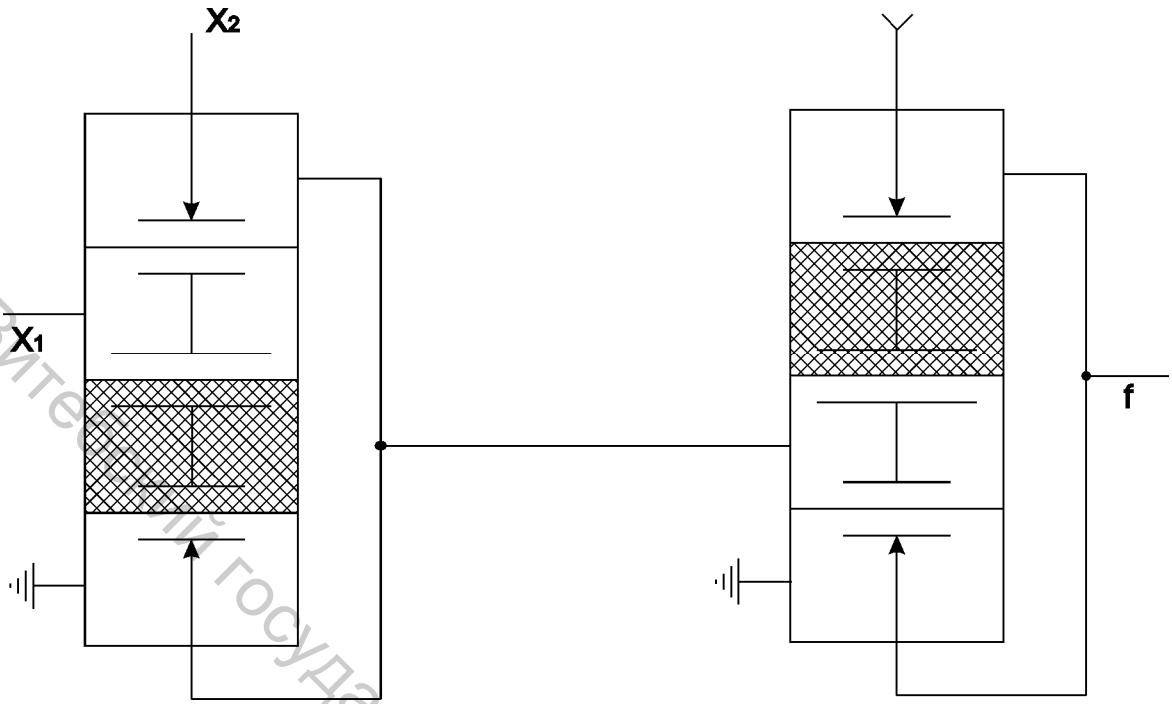


Рис. 4.10. Устройство для реализации функции «НЕ - И»;

$$f = \overline{X_1 * X_2}$$

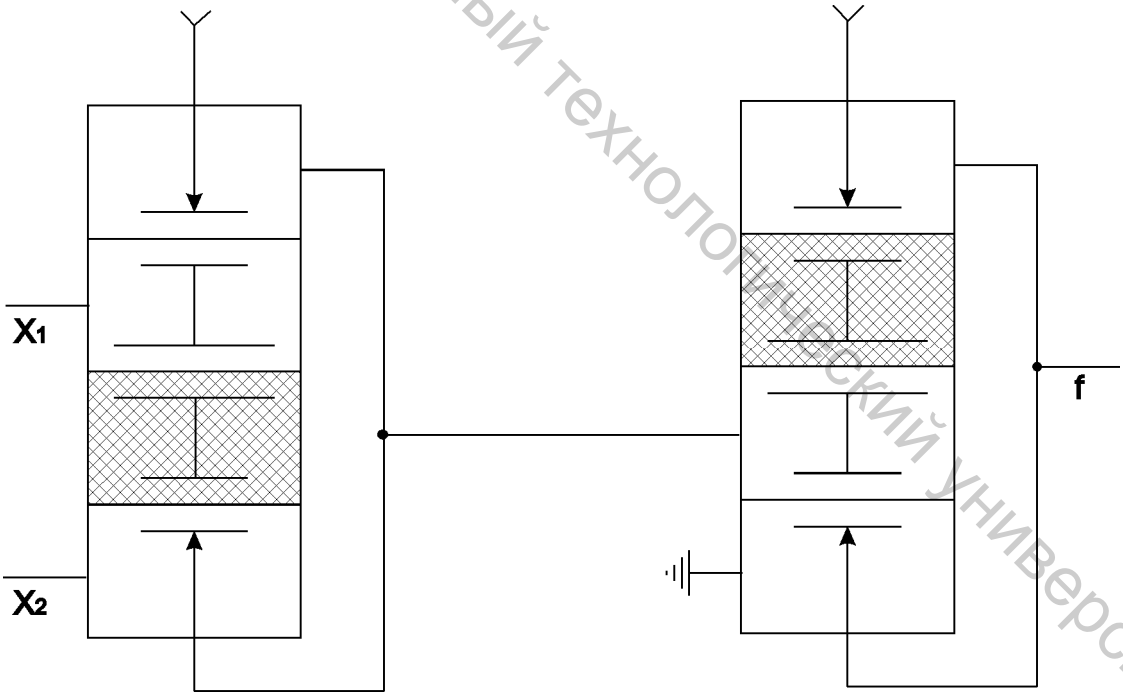


Рис. 4.11. Устройство для реализации функции «НЕ - ИЛИ»; $f = \overline{X_1 + X_2}$

Витебский государственный технологический университет

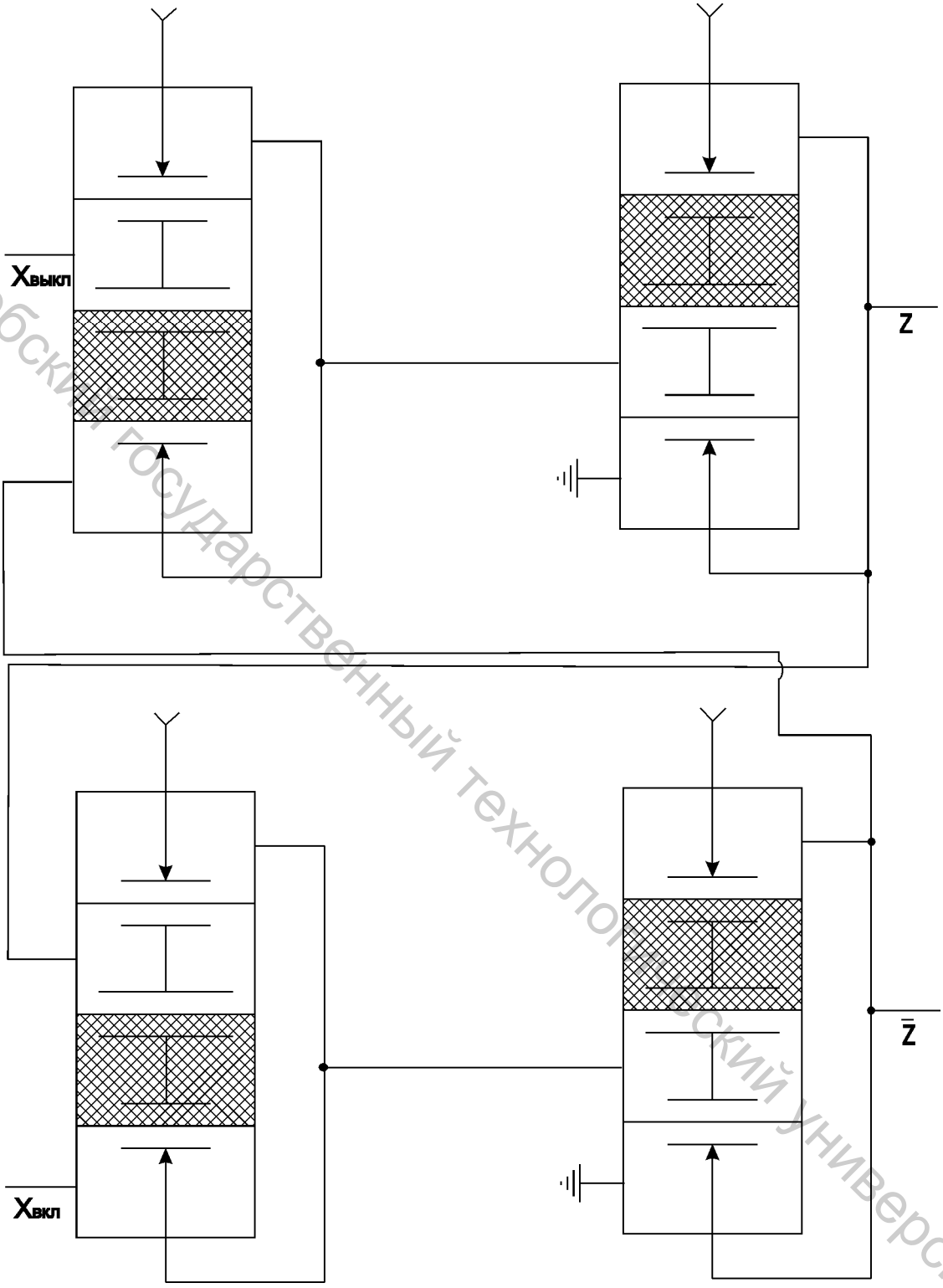


Рис. 4.12. Мембранное реле памяти

Витебский государственный технологический университет

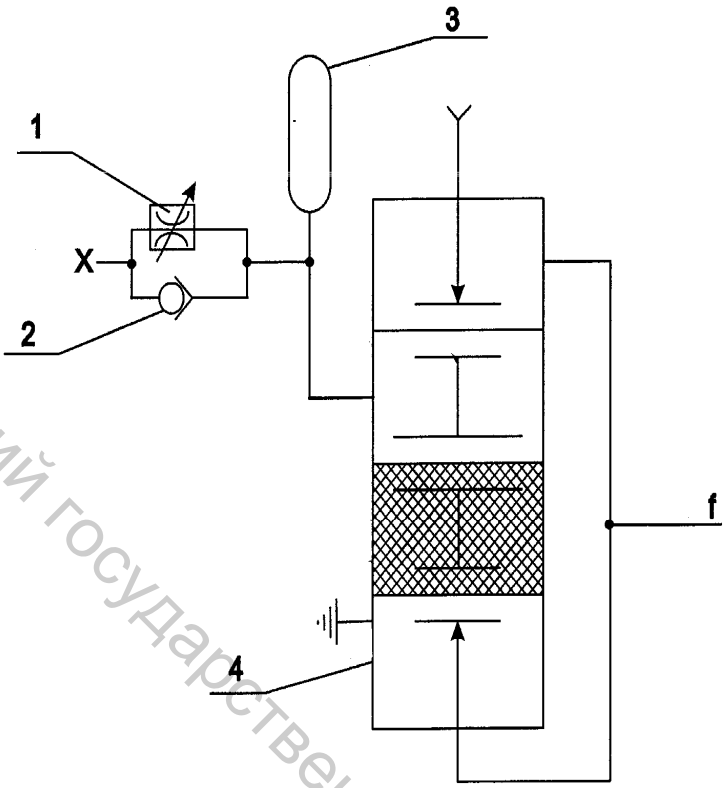
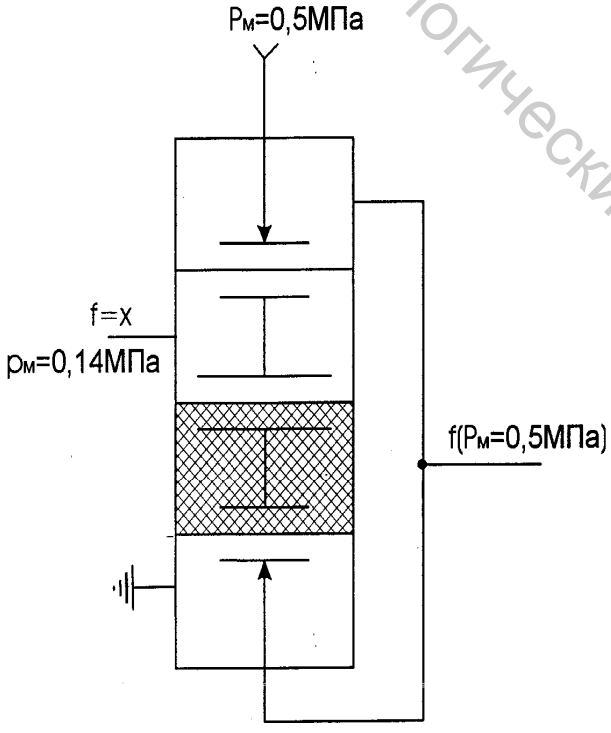


Рис. 4.13. Мембранное реле времени
1 – регулируемый дроссель;
2 – обратный клапан;
3 – ресивер;
4 – мембранный повторитель.



4.14. Мембранный усилитель мощности

Витебский государственный технологический университет

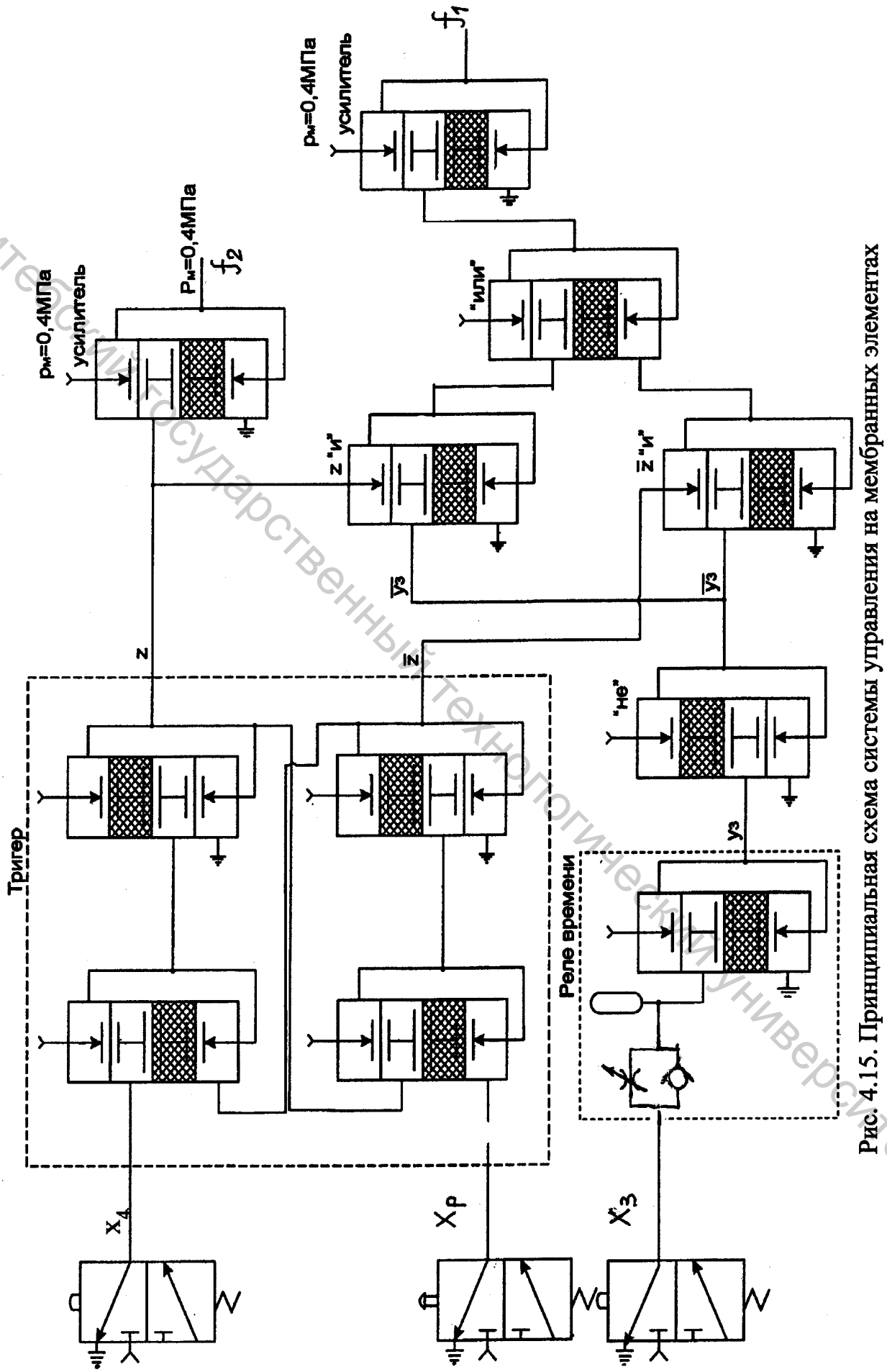


Рис. 4.15. Принципиальная схема системы управления на мембранных элементах

Витебский государственный технологический университет

4.2. Пневматические системы путевого управления на струйных элементах

Принцип действия струйных элементов основан на использовании аэродинамических эффектов, имеющих место при взаимодействии струй или при обтекании стенок струями.

К основным преимуществам струйных пневматических элементов перед мембранными можно отнести следующие:

- неограниченный срок службы ввиду отсутствия механических частей;
- работоспособность в условиях, вызывающих коррозию металлов (повышенная кислотность, наличие щелочей и т.п.);
- работоспособность при низких и высоких температурах в диапазоне 5°…50° по Цельсию;
- работоспособность в условиях вибрации, ударных нагрузок;
- более высокое быстродействие (время срабатывания до 0,001с);
- низкие рабочие давления (в диапазоне 0,002…0,1 МПа).

Струйные логические элементы «Волга» разработаны Волжским филиалом Всероссийского научно-исследовательского института абразивов и шлифования (ВНИИАШ).

Рассмотрим принцип действия и условные обозначения типовых струйных элементов.

На рис. 4.16 приведен пример конструктивного устройства путевого переключателя. Лепесток 4, перемыкающий сопла путевого переключателя, имеет толщину 1,5…2 мм, ширина паза 4…5 мм, диаметры отверстий входного и выходного штуцеров не менее 4 мм.

На рис. 4.17 показаны условные обозначения струйных путевых переключателей на принципиальных схемах.

Принцип действия многофункционального логического элемента ИЛИ-НЕ-ИЛИ основан на эффекте взаимодействия струи с твердой стенкой. Элемент имеет управляющие входы x_1, x_2 (рис. 4.18), два выхода y_1, y_2, реализующие функции соответственно НЕ-ИЛИ и ИЛИ, питающее сопло Р и атмосферные каналы a_1, a_2, a_3.

При отсутствии управляющих сигналов питающая струя, выходящая из сопла Р, за счет конструктивных особенностей элемента прижимается к левой стенке и направляется в выход y_1. При подаче управляющих сигналов (одного или двух вместе) питающая струя перебрасывается к противоположной стенке и направляется в выход y_2. При снятии управляющих сигналов струя возвращается в исходное положение.

Таблица состояний элемента ИЛИ-НЕ ИЛИ имеет вид:

x_1	x_2	y_1	y_2
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

Витебский государственный технологический университет

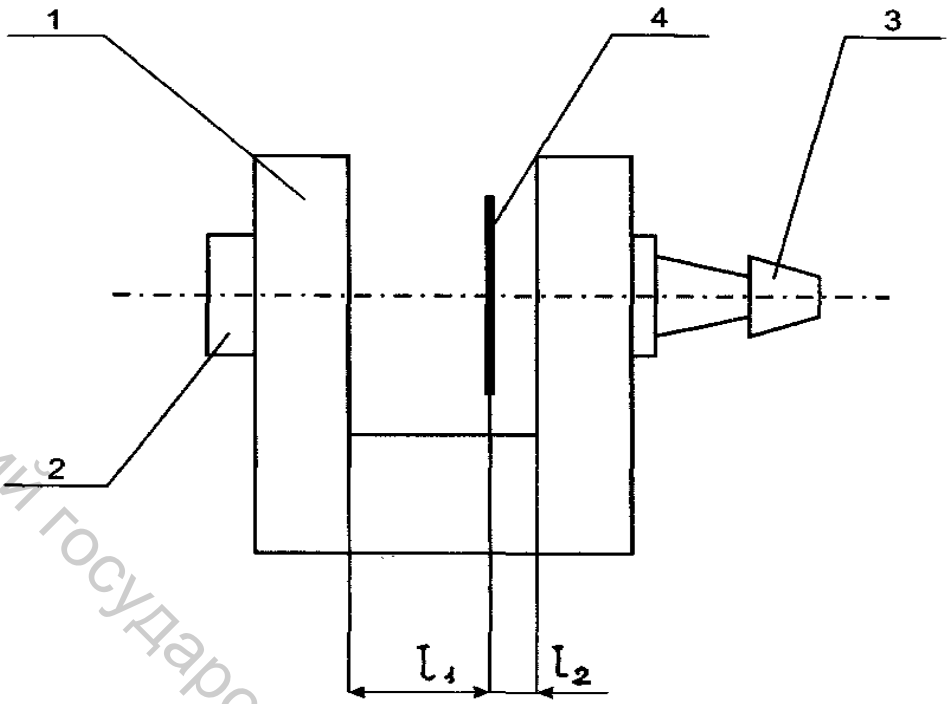


Рис. 4.16. Конструктивная схема структурного путевого переключателя:
1 – корпус;
2 – входной штуцер;
3 – выходной штуцер;
4 – лепесток

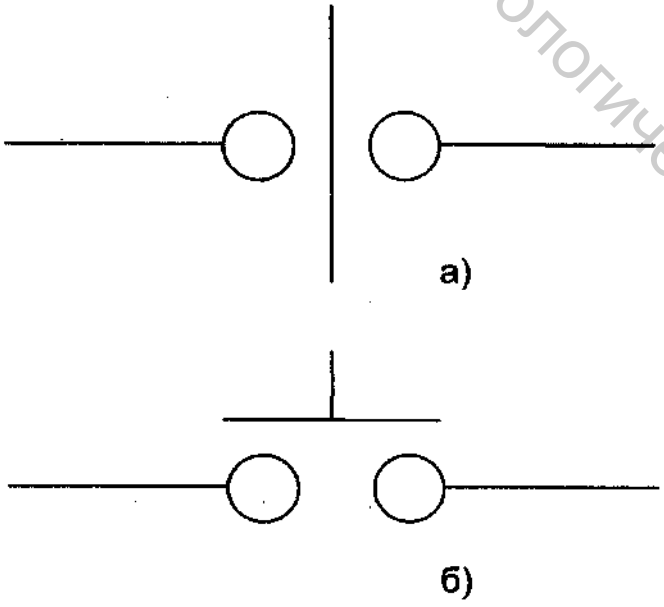


Рис. 4.17. Условное обозначение струйных путевых переключателей:
а) с автоматическим управлением;
б) с ручным управлением

Витебский государственный технологический университет

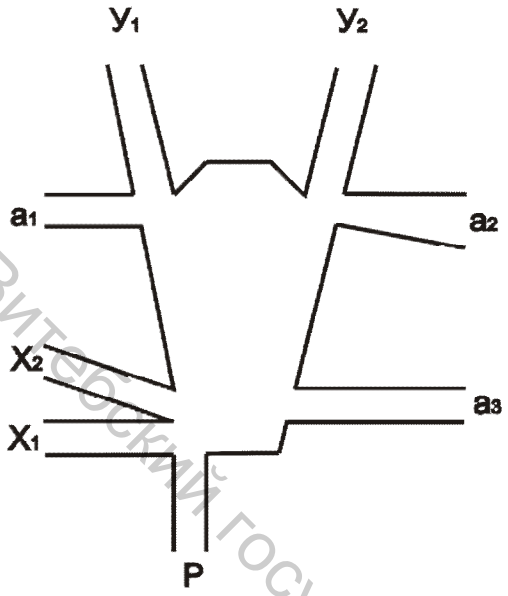


Рис. 4.18.

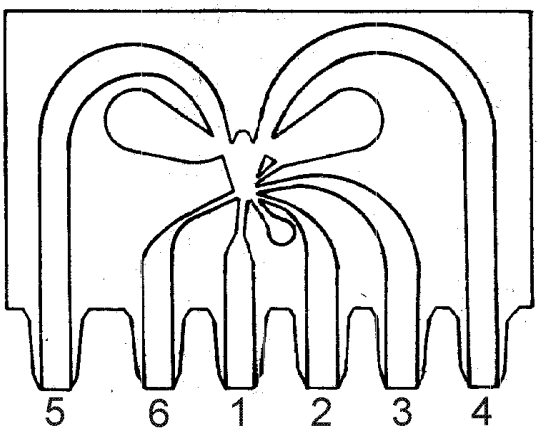


Рис. 4.19. Конфигурация рабочей камеры струйного элемента “или-не или”

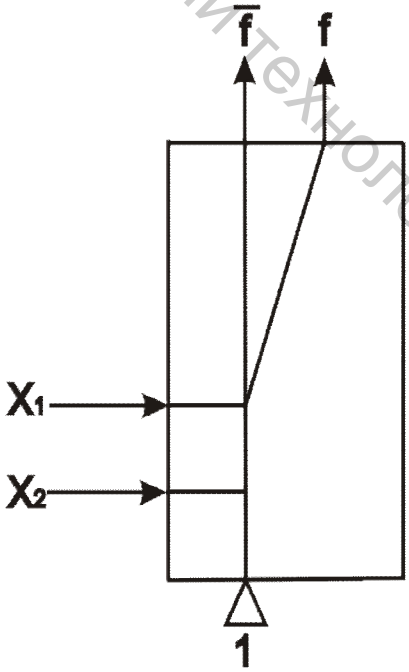


Рис. 4. 20. Условное обозначение элемента “или-не или”

Витебский государственный технологический университет

Из таблицы следует, что на выходе y_2 реализуется логическая функция ИЛИ, а на выходе y_1– НЕ ИЛИ. Логический элемент ИЛИ – НЕ ИЛИ типа СТ-41 (рис. 4.18) представляет собой функциональную плату, на которой в виде углублений выполнены рабочая камера с подводящими и отводящими каналами, штифты для фиксации относительно крышки и половины штуцеров. Крышка содержит отверстия для штифтов и другие половины штуцеров. Плата и крышка склеиваются между собой по периферии, а штуцера – по образующей. Размер сечения питающего сопла 0,75х1,2 мм. Материал платы и крышки – полистирол ударопрочный.

На рис. 4.19 показана конфигурация рабочей камеры элемента ИЛИ – НЕ ИЛИ. Обозначения штуцеров: 1 – подвод питающей струи; 2, 3 – входы x_1, x_2; 4 – выход НЕ ИЛИ; 5 – выход ИЛИ; 6 – вход «запрет».

На рис. 4.20 показано условное изображение струйного элемента ИЛИ – НЕ ИЛИ на принципиальных схемах. На базе элемента ИЛИ – НЕ ИЛИ могут быть реализованы: повторитель, если использовать один вход и один выход f (см. рис. 4.20); элемент НЕ, если использовать один вход и выход $\overline{f}$; элемент ИЛИ, если использовать оба входа и один выход f; элемент НЕ ИЛИ, если использовать оба входа и один выход $\overline{f}$. Условные обозначения указанных элементов приведены на рис. 4.21…4.24.

На рис. 4.25 показана конфигурация рабочей камеры струйного элемента И – НЕ И на два входа. Входные каналы расположены таким образом, что на выходе И появляется сигнал 1 только в том случае, если на оба входных канала поданы 1. Назначение штуцеров: 1 – подвод питания; 2, 3 – входы; 4 – выход НЕ И; 5 – выход И; 6 - атмосферный канал.

На рис. 4.26 показано условное обозначение струйного элемента И – НЕ И на принципиальных схемах.

На базе элемента И – НЕ И могут быть реализованы элементы И, если использовать оба входа и один выход f (см. рис.4.26) и элемент НЕ И, если использовать оба входа и один выход $\overline{f}$. Условные обозначения указанных элементов приведены на рис. 4.27 и 4.28.

На рис. 4.29 показана конфигурация рабочей камеры триггера (элемента памяти). Назначение штуцеров: 1 – подвод питания; 2, 3, 6 – входы; 4, 5 – выходы. Питающая струя прилипает к одной из стенок и подается на выход 4 или 5. Переброс струи к противоположной стенке производится подачей управляющего сигнала со стороны стенки, к которой прилипает струя. При снятии управляющего сигнала, питающая струя сохраняет свое положение. Входы 3, 6 служат для переключения струи при работе в схеме, а вход 2 – для установки в исходное положение перед запуском системы.

На рис. 4.30 показано условное изображение струйного триггера на принципиальных схемах. Принцип действия струйных реле времени аналогичен принципу действия реле времени на поршневых (см. рис. 2.27) и мембранных (см. рис. 4.13) элементах, т.е. основан на заполнении воздухом емкости. Принципиальная схема струйного реле времени приведена на рис. 4.31. Условимся изображать струйное реле времени на принципиальных схемах

Витебский государственный технологический университет

согласно рис. 4.32. Для усиления мощности выходных сигналов в струйных системах используются мембранные усилители (см. рис. 4.14). Условимся изображать такой усилитель на принципиальных схемах струйных систем согласно рис. 4.33.С учетом приведенных условных изображений на рис. 4.34 приведена принципиальная схема пневматической системы управления на струйных элементах, реализующая логическую функциональную схему, приведенную на рис. 3.6.

Витебский государственный технологический университет

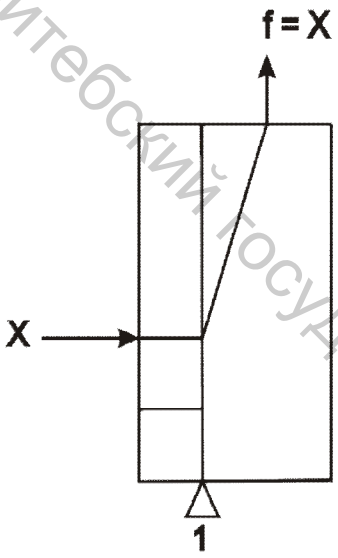


Рис. 4.21 Схема струйного повторителя на базе элемент “или-не или”

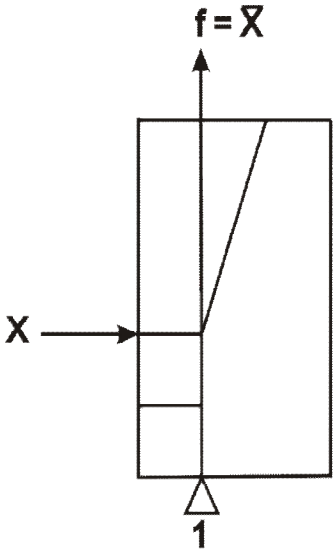


Рис. 4.22 Схема струйного элемента “НЕ” на базе элемента “ИЛИ - НЕ ИЛИ”

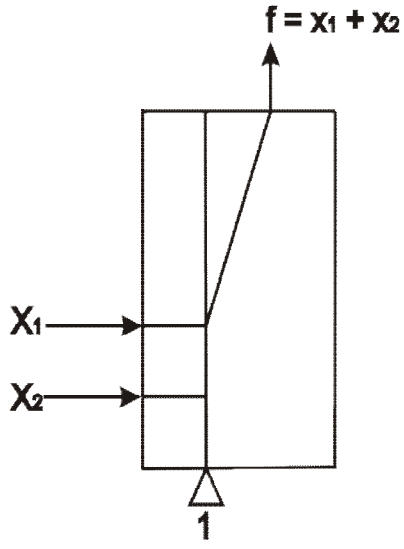


Рис. 4.23 Схема струйного элемента “ИЛИ” на базе элемента “ИЛИ - НЕ ИЛИ”

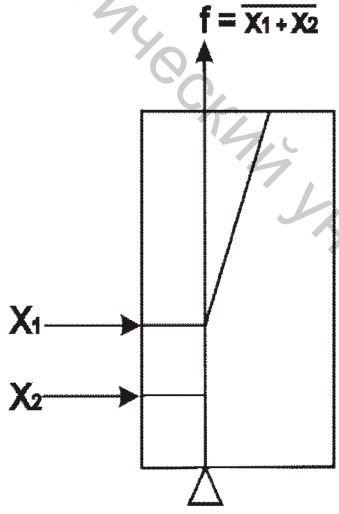


Рис. 4.24 Схема струйного струйного элемента “НЕ - ИЛИ ” на базе элемента “ИЛИ - НЕ ИЛИ”

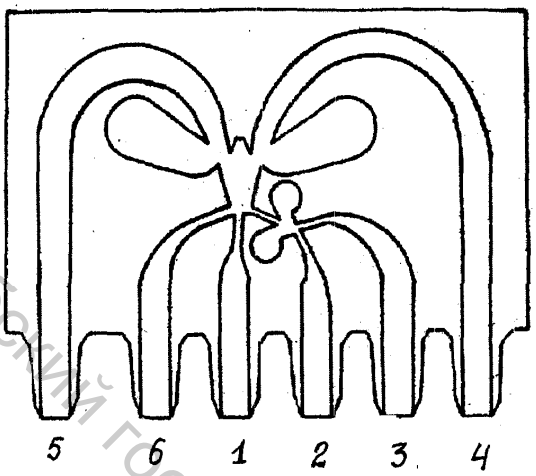


Рис. 4.25 Конфигурация рабочей камеры струйного элемента "И - НЕ И"

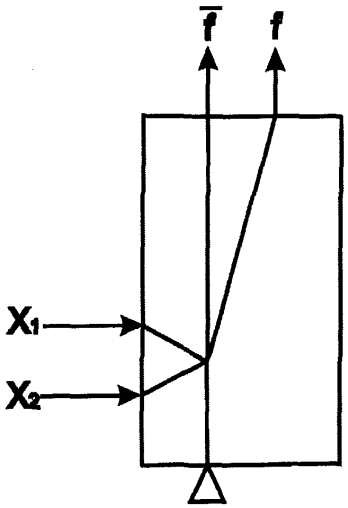


Рис. 4.26 Условное обозначение струйного элемента "И-НЕ И" $f = x_1 * x_2$

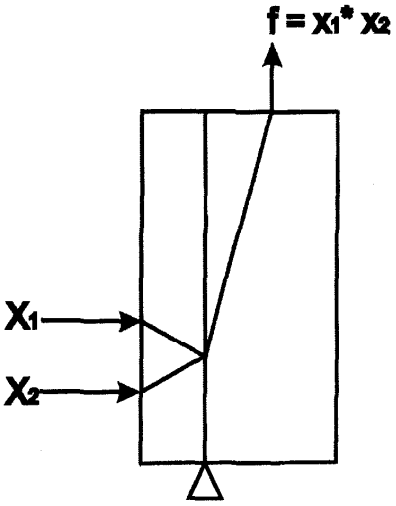


Рис. 4.27 Условное обозначение струйного элемента "И" на базе элемента " И - НЕ И"

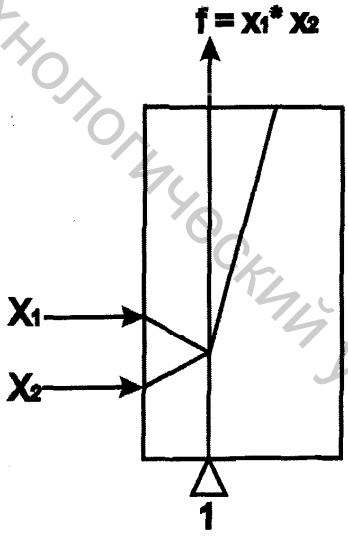


Рис. 4.28 Условное обозначение струйного элемента "и-не" на базе элемента " И - НЕ И"

Витебский государственный технологический университет

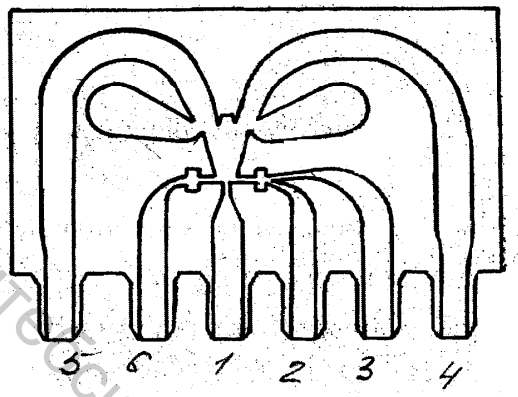


Рис. 4.29. Конструкция рабочей камеры струйного триггера с раздельными входами

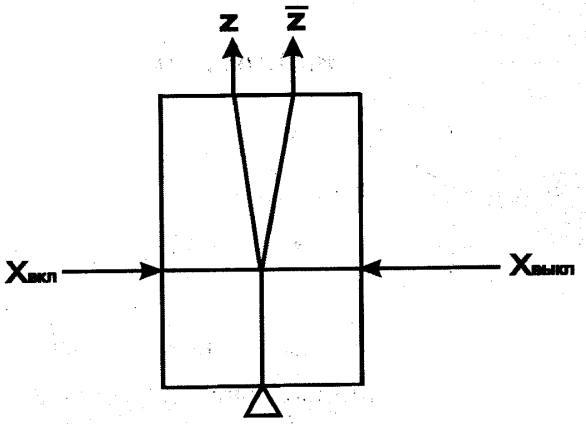


Рис. 4.30. Условное обозначение струйного триггера на принципиальных схемах

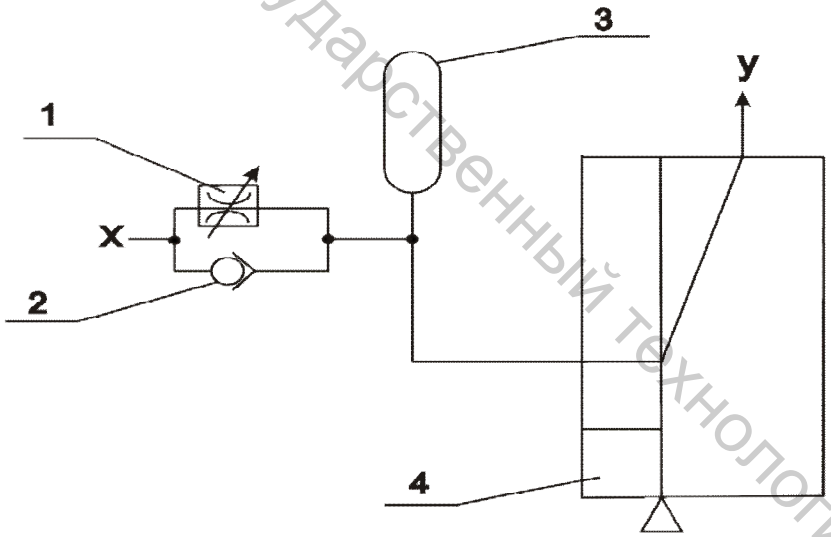


Рис. 4.31. Принципиальная схема струйного реле времени:
1 – регулирующий дроссель;
2 – обратный клапан;
3 – емкость;
4 – струйный повторитель

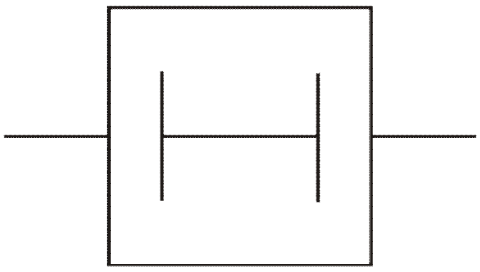


Рис. 4.32. Условное обозначение струйного реле времени на принципиальных схемах

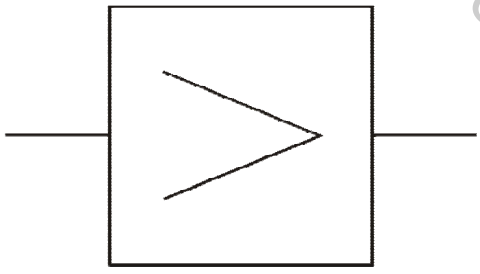


Рис. 4.33. Условное обозначение струйного усилителя на принципиальных схемах

Витебский государственный технологический университет

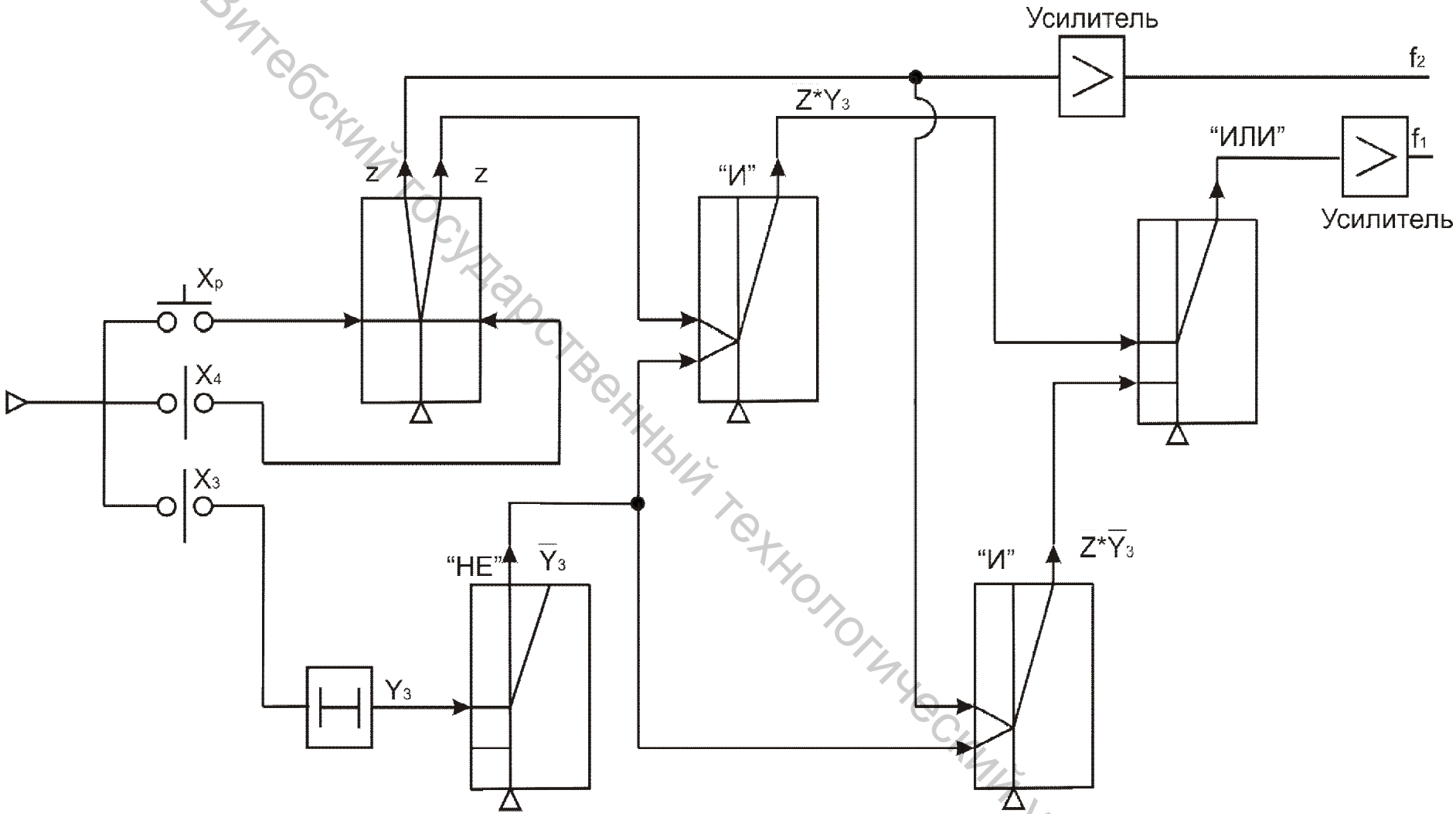


Рис. 4.34. Принципиальная схема пневматической системы управления на струйных элементах

Витебский государственный технологический университет

5. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

5.1. Системы путевого управления на электрических элементах

К электрическим элементам систем путевого управления отнесем контактные устройства и электромагнитные реле [5].

В качестве коммутирующих устройств служат контактные устройства. Их условные обозначения на принципиальных электрических схемах регламентируются ГОСТ 2.755-74. Схемы контактных соединений показаны на рис. 5.1.

Логические комбинационные элементы выполняются на базе электромагнитных реле. Реле состоит из входной и выходной электрических цепей. Входная цепь включает в свой состав путевые и нажимные переключатели, катушку электромагнита, якорь и связанную с ним механическую систему, осуществляющую при движении якоря замыкание или размыкание выходной электрической цепи посредством контактных соединений (контактов реле). Выходная электрическая цепь включает в состав контакты реле и нагрузку в виде катушек исполнительных электромагнитов, статоров электродвигателей и т.п.

Напряжение, подаваемое на входную цепь, обычно не превышает 12 В, напряжение выходной цепи может составлять от 24 до 127 В.

Условные изображения электромагнитных реле регламентируются ГОСТ 2756-56 «Воспринимающая часть электромеханических устройств».

На рис. 5.2 приведены условные изображения контактов реле.

На рис. 5.3 приведена схема электромагнитного реле. На рис. обозначены: $u_{вх}$, $u_{вых}$ – напряжения входной и выходной электрических цепей, x – путевой переключатель с замыкающим контактом, установленный во входной электрической цепи, P – катушка электромагнита реле, P_1, P_2 – замыкающий и размыкающие контакты реле P, установленные в выходной цепи, f_1, f_2 – катушки исполнительных устройств, например, электромагнитов.

Время срабатывания электромагнитных реле составляет 10^{-2}с, а срок службы – 10^6 циклов. Меньшее время срабатывания и больший срок службы достигается в электромагнитных реле с герметичными контактами. Схема реле с герметичными контактами (герконами) приведена на рис. 5.4. Магнитоуправляемые контакты 3 и 5 помещены в стеклянный баллон, из которого выкачан воздух. Время срабатывания герконов составляет 10^{-3}с, а срок службы достигает 10^8-10^{12}циклов.

На рис. 5.2 в показано условное обозначение герметичных контактов электромагнитных реле.

На рис. 5.5 приведена схема электромагнитного реле с автоматическим выключателем x, катушкой реле P, установленных во входной цепи и контактом P_1 и катушкой f – в выходной цепи. Это реле может быть представлено как повторитель. При разомкнутом выключателе x ток во входной цепи отсутствует: x = 0; катушка реле P обесточена, контакт P_1 разомкнут, в

Витебский государственный технологический университет

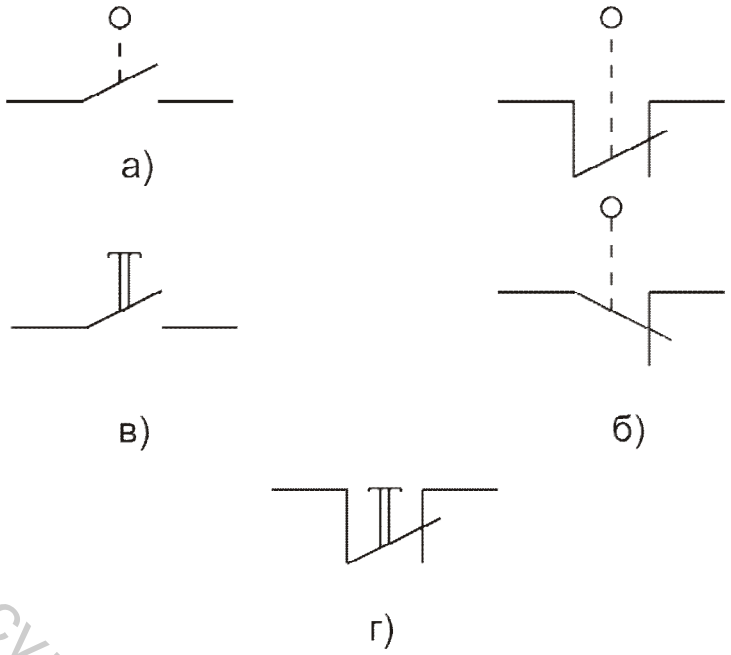


Рис. 5.1. Схемы контактных соединений

а) выключатель путевой однополюсный с замыкающим контактом, с автоматическим управлением;

б) выключатель путевой однополюсный с размыкающим контактом, с автоматическим управлением;

в) выключатель кнопочный нажимной с замыкающим контактом, с ручным управлением;

г) выключатель кнопочный нажимной с размыкающим контактом, с ручным управлением

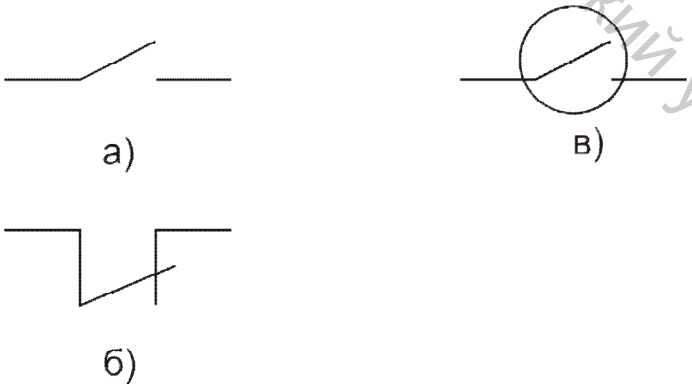


Рис. 5.2. Обозначение контактов реле:
а) замыкающий;
б) размыкающий;
в) герметичный (геркон)

Витебский государственный технологический университет

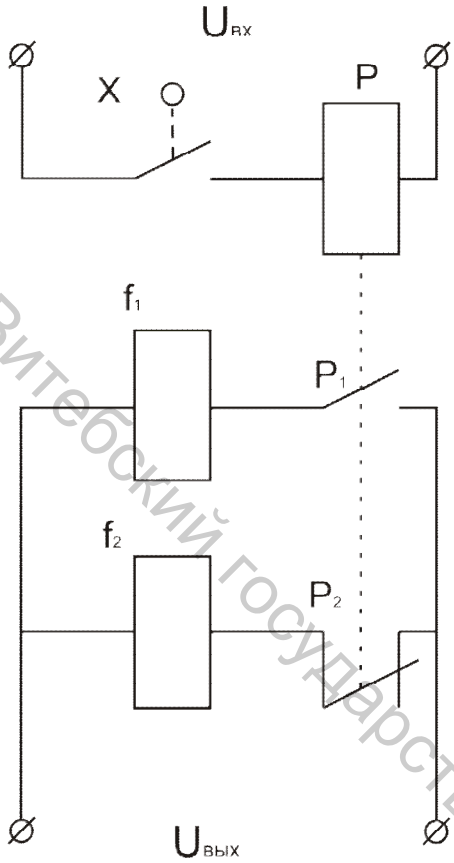


Рис. 5.3. Схема электромагнитного реле

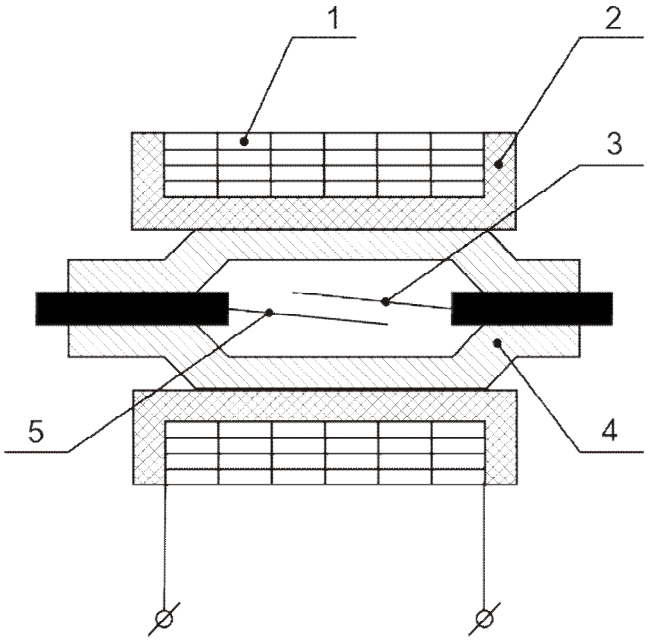


Рис. 5.4. Конструктивная схема реле с герметичными контактами:
1 – катушка электромагнита;
2 – корпус;
3, 5 – магнитоуправляемые контакты;
4 – стеклянный баллон

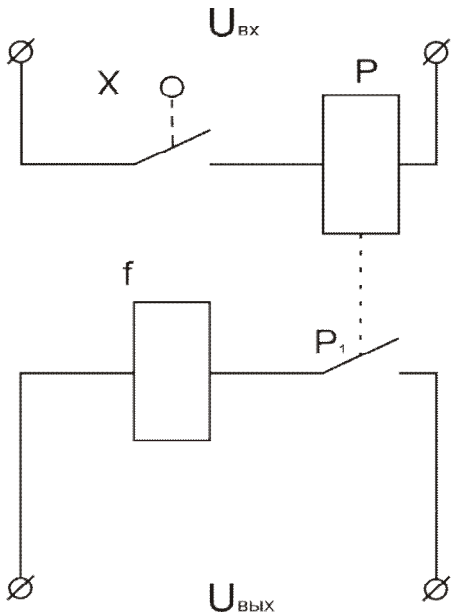


Рис. 5.5. Схема повторителя на базе электромагнитного реле, $f = x$

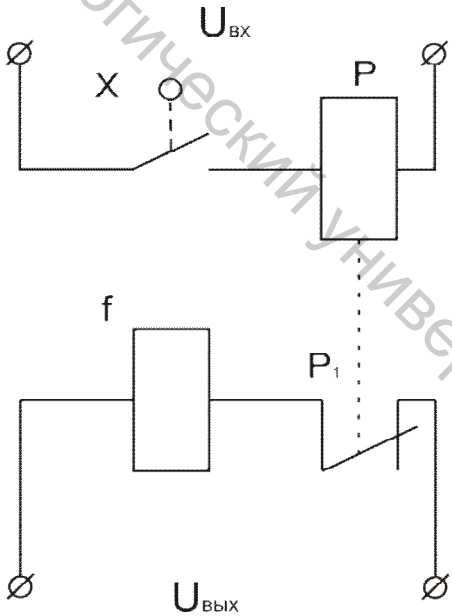


Рис. 5.6. Схема логического элемента «НЕ» на базе электромагнитных элементов

Витебский государственный технологический университет

выходной цепи ток отсутствует f = 0. При замыкании переключателя x во входной цепи появляется ток x = 1, контакт P_1 реле замыкается, в выходной цепи появляется ток f = 1. Таким образом, устройство реализует функцию повторения f = x.

Если в указанном электромагнитном реле (см. рис. 5.5) в выходной цепи установить размыкающий контакт P_1 (рис. 5.6), то получим устройство, реализующее логическую функцию $f = \overline{x}$.

Если во входной цепи электромагнитных реле установить параллельно два путевых переключателя x_1, x_2, а в выходной цепи – замыкающий контакт P_1 (рис. 5.7), то получим логический элемент, реализующий функцию логического сложения $f = x_1 + x_2$.

Если путевые переключатели x_1, x_2 расположить последовательно, то получим элемент, реализующий функцию логического умножения $f = x_1 \cdot x_2$ (рис. 5.8).

На рис. 5.9, 5.10 приведены схемы логических элементов «НЕ ИЛИ» и «НЕ И» на базе электромагнитного реле. Они получены из элементов «ИЛИ» (см. рис. 5.7) и «И» (см. рис. 5.8), если в последних замыкающие контакты реле P_1 заменить на размыкающие.

На рис. 5.11 показана схема элемента памяти (триггера), полученного из двух элементов «НЕ ИЛИ» в соответствии с логической схемой, приведенной на рис. 2.20. Для осуществления обратной связи на входы катушек 1P и 2P электромагнитных реле включены размыкающие контакты $2P_2$ и $1P_2$ этих реле. Схема аналогичного реле памяти на базе одного электромагнитного реле приведена на рис. 5.12. Из схемы видно, что это реле выполняет практически те же функции, что и реле, показанное на рис. 5.11.

Электромагнитное реле, у которого время срабатывания или отпускания больше 1с, называется реле времени. Замедление движения якоря осуществляется путем использования механических, гидравлических, пневматических или иных устройств.

В реле часового типа перемещение якоря осуществляет часовой механизм. В моторных реле замыкание контактов производится электродвигателем посредством передаточного механизма. Отличие в изображении реле времени состоит только в ином обозначении контактов.

На рис. 5.13 показаны условные изображения контактов реле времени.

На рис. 5.14 показана принципиальная схема системы управления на электрических элементах, реализующая логическую схему, приведенную на рис. 3.6.

Схема содержит путевые переключатели x_p и x_4, включающие и выключающие катушку реле памяти z. Путевой переключатель x_3 включает катушку реле времени РВ. Катушка f_2 в выходной цепи включается контактом z_2 реле памяти, при этом реализуется логическая функция $f_2 = z$. Катушка f_1 включается системой контактов $РВ_1$ и $РВ_2$ реле времени РВ и контактов z_3, z_4 реле памяти z таким образом, что реализуется логическая функция $f_2 = \overline{z} \cdot \overline{y}_3 + z \cdot \overline{y}_3$.

Витебский государственный технологический университет

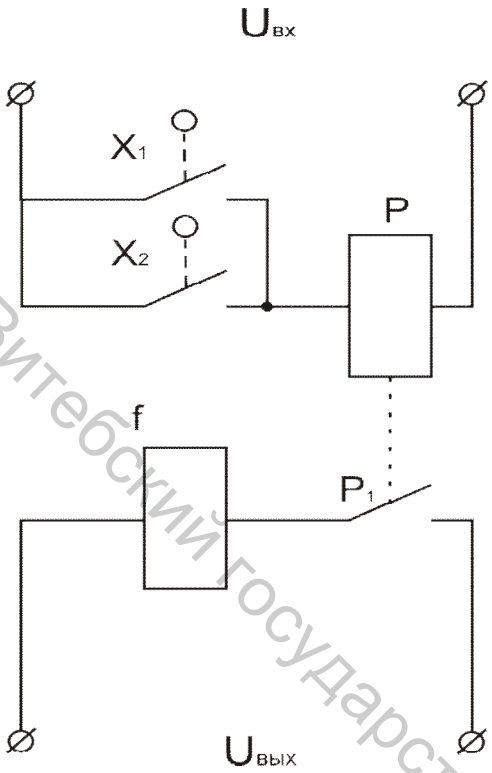


Рис. 5.7. Схема логического элемента «ИЛИ» на базе электромагнитного реле

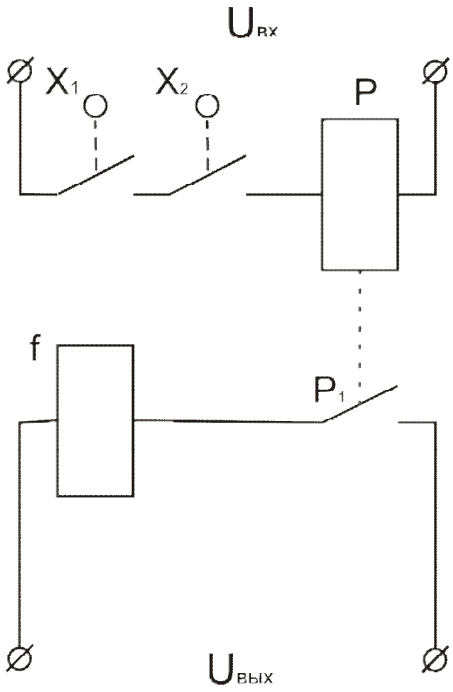


Рис. 5.8. Схема элемента «И» на базе электромагнитного реле

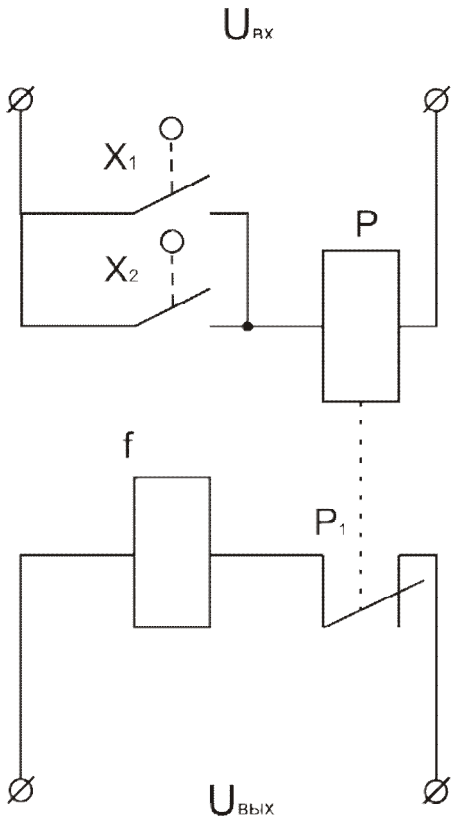


Рис. 5.9. Схема логического элемента «НЕ-ИЛИ» на базе электромагнитного реле

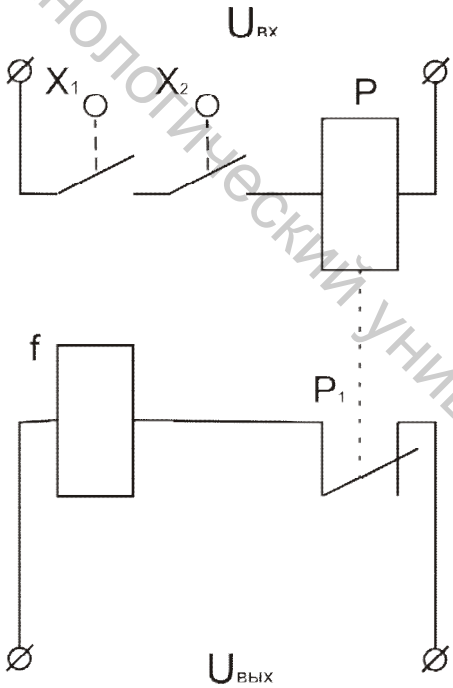


Рис. 5.10. Схема логического элемента «НЕ И» на базе электромагнитного реле

Витебский государственный технологический университет

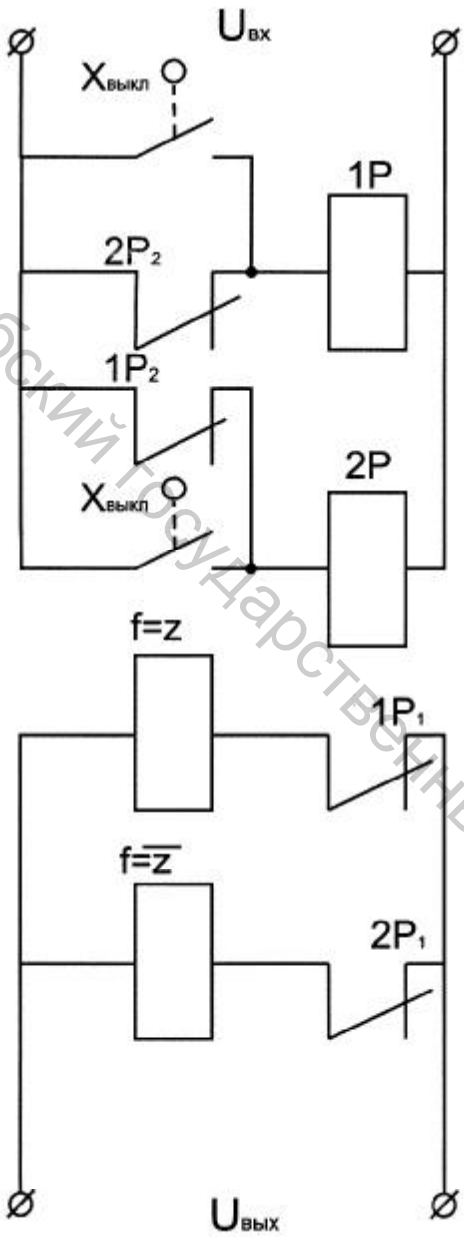


Рис. 5.11. Схема триггера на базе двух электромагнитных реле

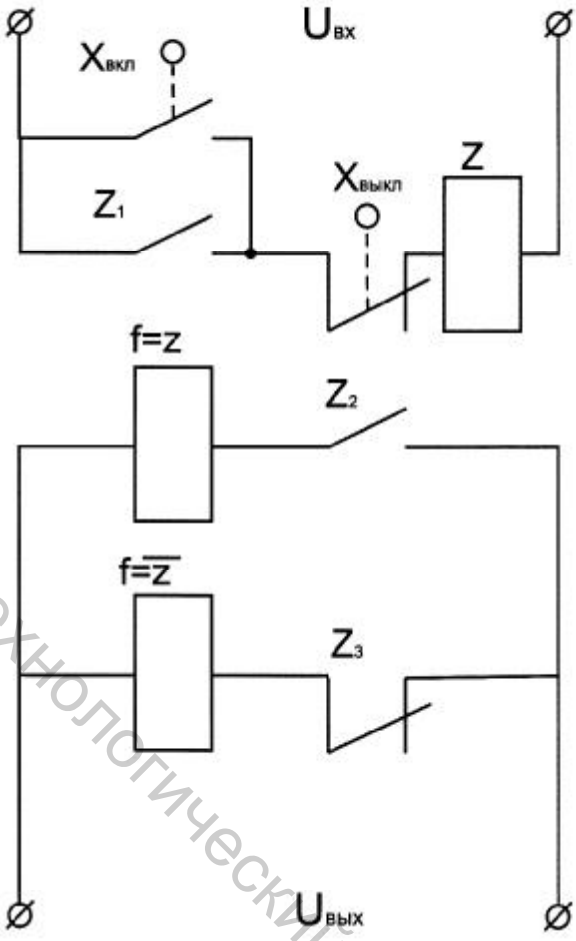


Рис. 5.12. Схема триггера на базе одного электромагнитного реле

Витебский государственный технологический университет

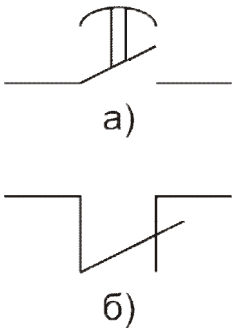


Рис. 5.13. Условное изображение контактов реле времени:
а) замыкающий контакт с выдержкой времени на замыкание;
б) размыкающий контакт с выдержкой времени на отпускание

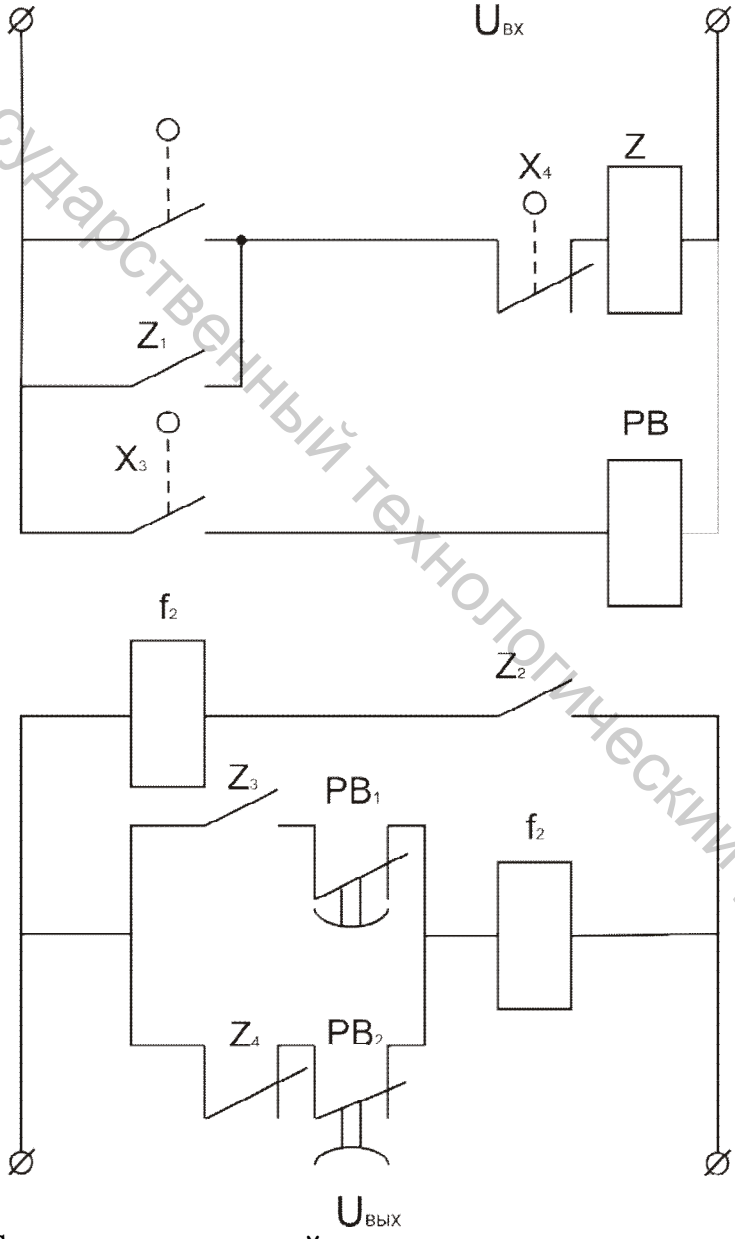


Рис. 5.14. Схема электрической системы путевого управления, реализующей логическую схему, приведенную на рис 3.6

Витебский государственный технологический университет

5.2. Системы путевого управления на электронных элементах

К электронным элементам систем управления отнесем бесконтактные коммутирующие устройства и полупроводниковые приборы.

Электронные системы управления имеют следующие преимущества перед электрическими:

-более высокое быстродействие (время срабатывания элементов до 10^{-8}с);

- значительно меньшие габариты.

К недостаткам электронных систем управления можно отнести следующие:

- необходимость усиления сигналов (с 1…4 В - в элементах управления, до 24…127 В – в силовых исполнительных устройствах);

- необходимость защиты от электромагнитных помех;

- более высокая стоимость.

В качестве путевых бесконтактных переключателей используются оптические датчики. В общем случае оптический датчик состоит из трех элементов: источника света, световода и приемника света.

В качестве источника света могут использоваться лампы накаливания, газоразрядные лампы, полупроводниковые устройства. В лампах накаливания достигаются высокие уровни освещенности. Газоразрядные лампы имеют значительные габариты и часто не совмещаются с интегральными схемами.

Полупроводниковый источник света – светодиод представляет собой излучающий p-n переход. При прохождении тока через p-n переход происходит световое излучение. Условное обозначение светодиода приведено на рис. 5.15. В случае необходимости передачи светового сигнала на значительные расстояния и при наличии препятствий для прямой передачи этого сигнала приемнику света применяются световоды. Световод представляет собой трубку, состоящую из волокон стекла. Свет передается по отдельному волокну, не выходя за его пределы, вследствие полного внутреннего отражения. В качестве полупроводниковых приемников света используются фотодиоды.

Фотодиод – полупроводник, на выходах которого появляется э.д.с. при воздействии на него светового потока – фото э.д.с. Фото э.д.с. может быть использована для создания тока в нагрузочном сопротивлении, включенном во внешнюю цепь прибора. При этом фотодиод работает в режиме фотогенератора без постороннего источника напряжения, непосредственно преобразуя световую энергию в электрическую. Схема такого прибора показана на рис. 5.16.

Фотодиод может работать совместно с внешним источником электрической энергии. Под действием напряжения источника в цепи фотодиода, включенного в непроводящем направлении, при отсутствии освещения будет протекать небольшой темновой ток I. При освещении фотодиода ток во внешней цепи возрастает. Величина тока зависит от светово-

Витебский государственный технологический университет

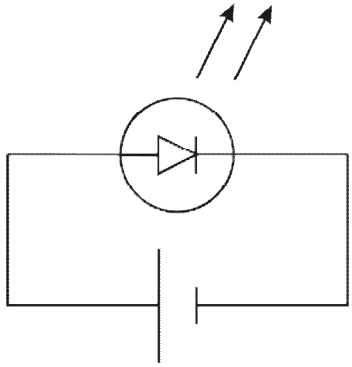


Рис. 5.15. Условное изображение светодиода

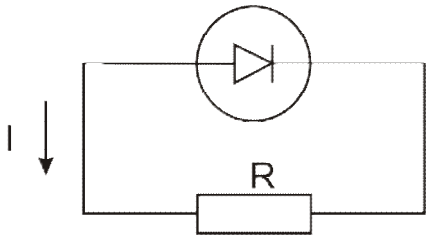


Рис. 5.16.Схема фотодиода, работающего в режиме фотогенератора

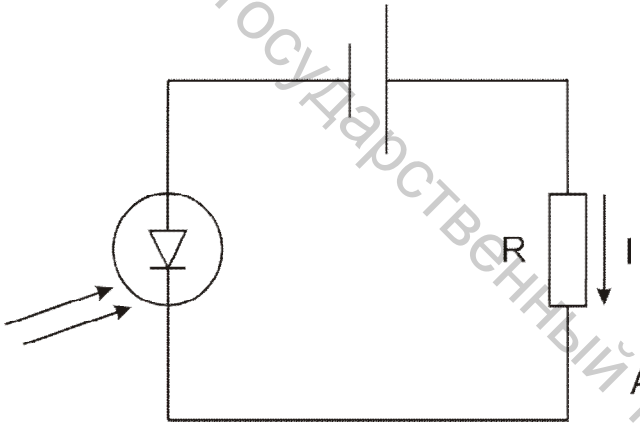


Рис. 5.17.Схема фотодиода, работающего в режиме ключа

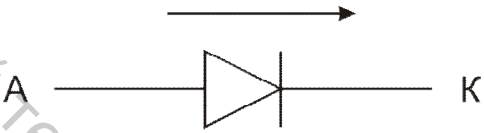


Рис. 5.18. Условное изображение диода: А – анод; К - катод

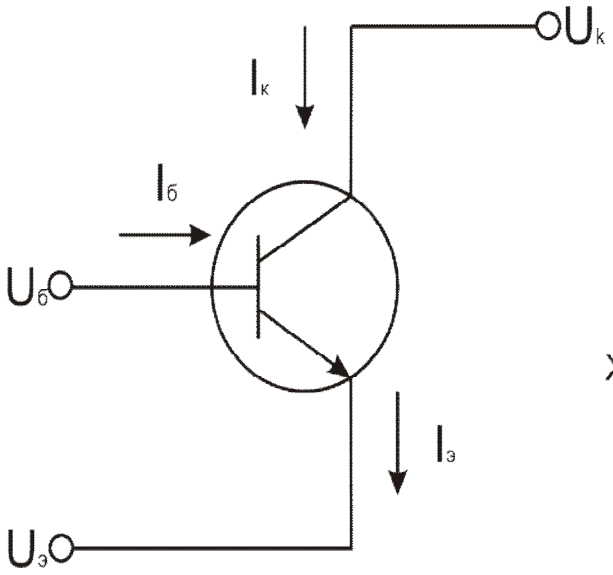


Рис. 5.19. Схема транзистора, включенного с общим эмиттером

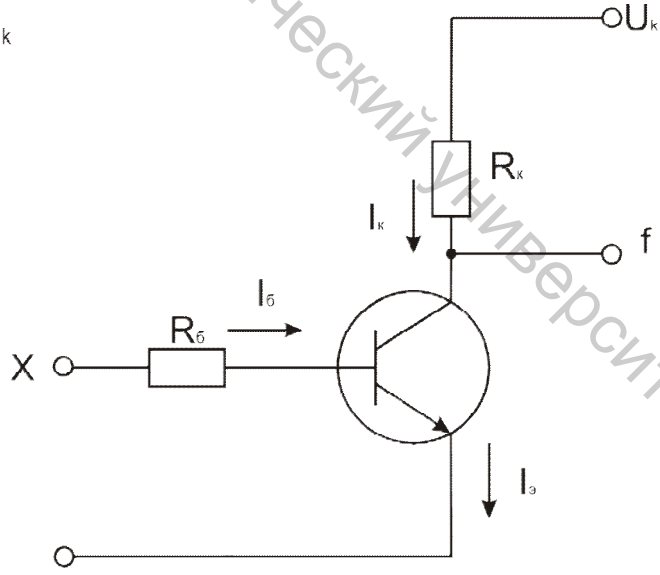


Рис. 5.20. Схема элемента НЕ на базе транзистора

Витебский государственный технологический университет

го потока. Схема прибора с фотодиодом, работающем в режиме ключа, приведена на рис. 5.17.

Логические элементы выполняются на базе полупроводниковых диодов и транзисторов.

Диод – двухэлектродный элемент, обладающий односторонней проводимостью. В полупроводниковых диодах односторонняя проводимость обусловливается применением полупроводниковой структуры, сочетающей в себе два слоя, один из которых обладает дырочной (p), а другой – электронной (n) электропроводностью. Условное изображение диода приведено на рис. 5.18.

Транзистор – управляемый полупроводниковый триод, имеющий трехслойную структуру с чередующимся типом электропроводности слоев (дырочной или электронной) p-n-p или n-p-n. Один из слоев транзистора называется базой, два других – коллектором и эмиттером. Эмиттер инжектирует носители зарядов в базу, коллектор производит сбор носителей заряда, прошедших через базу.

На рис. 5.19 показано условное обозначение транзистора с p-n-p переходом, включенного с общим эмиттером. Эмиттер присоединен к общей шине (-), а на вход $u_б$ и $u_к$ подается (+). Транзистор может работать в режиме ключа и усилителя. При $u_б = 0$ транзистор закрыт, при этом токи базы, коллектора и эмиттера практически равны 0: $I_б = I_к = I_э = 0$. При подаче напряжения $u_б$ на вход базы транзистор открыт, при этом $I_э = I_б + I_к$; $I_к/I_б = \beta$, $\beta = 9…99$. Ток базы многократно усиливается и ток коллектора $I_к = \beta I_б$.

Элемент, реализующий функцию отрицания НЕ, образуется из транзистора (рис. 5.20). Если на входе базы x отсутствует напряжение, то x = 0, транзистор закрыт и на выходе f имеется потенциал E, т.е. f = 1. Если на вход x подано напряжение, то x = 1, транзистор открыт, выход f связан через транзистор с общей шиной, разность потенциалов на выходе f отсутствует: f = 0.

На рис. 5.21 показана схема элемента ИЛИ с тремя входами x_1, x_2, x_3 на базе диодов.

Если на один из входов подается потенциал, то соответствующий диод становится проводимым и на выход f подается потенциал. Аналогично, если потенциал подается на два любых входа или на все, то на выходе f появляется потенциал. Таким образом, устройство реализует функцию логического сложения $f = x_1 + x_2 + x_3$.

На рис. 5.22 приведена схема элемента И с тремя входами x_1, x_2 и x_3 на базе диодов. При отсутствии потенциала хотя бы на одном из входов соответствующий диод становится проводимым и соединяет выход f с нулем, в результате на выходе f потенциал равен нулю.

Если на всех входах имеется потенциал ($x_1 = x_2 = x_3 = 1$), то все диоды закрыты и выход f соединен с потенциалом E, в результате на выходе f имеется потенциал: f = 1.

Витебский государственный технологический университет

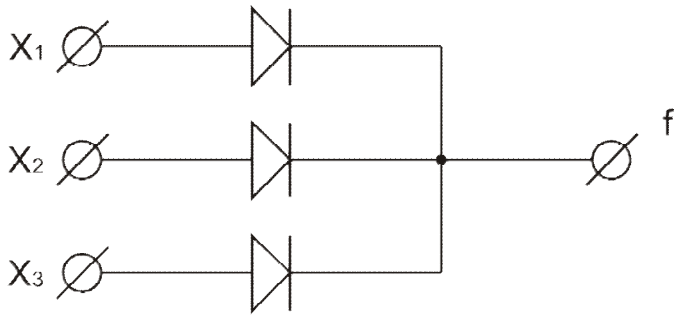


Рис. 5.21. Схема элемента ИЛИ на три входа на базе диодов

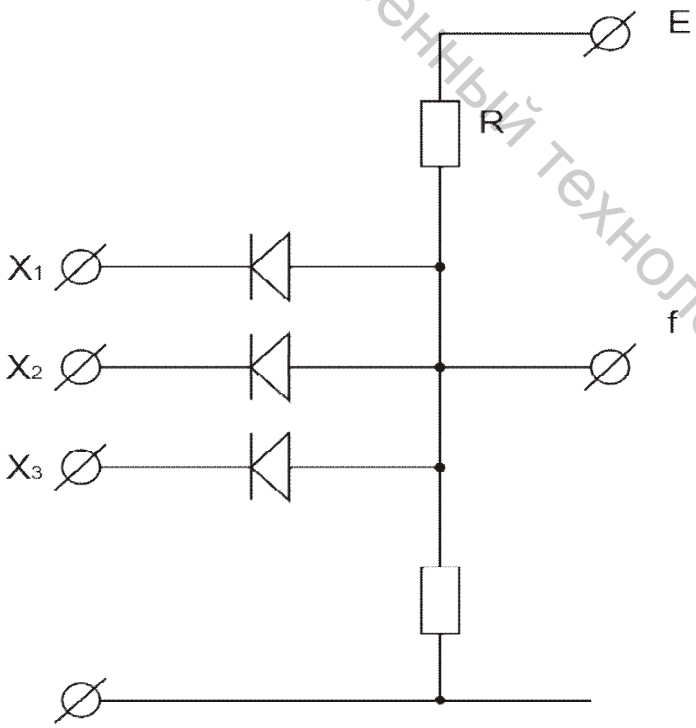


Рис. 5.22. Схема элемента И на три входа на базе диодов

Витебский государственный технологический университет

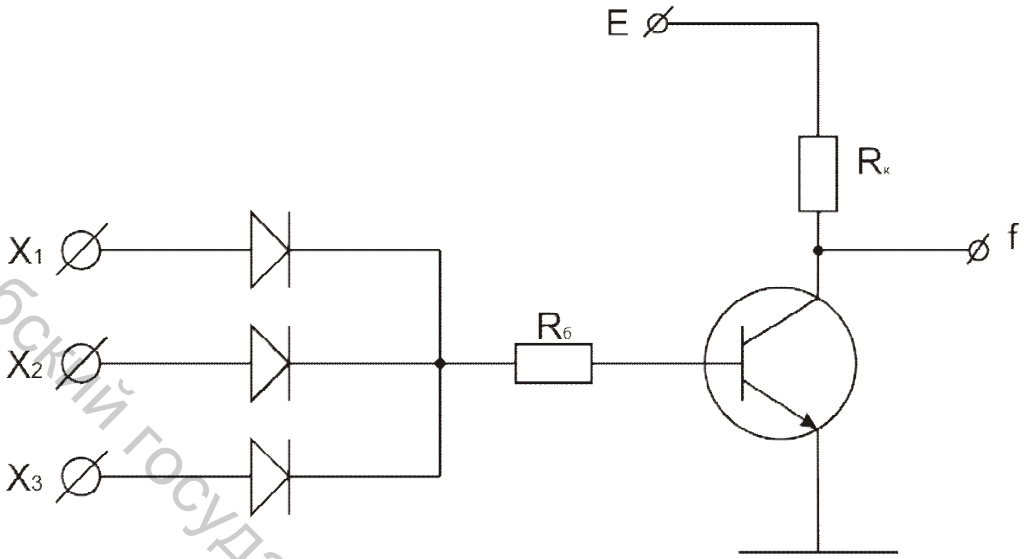


Рис. 5.23. Схема элемента «НЕ ИЛИ» на базе диодов и транзистора

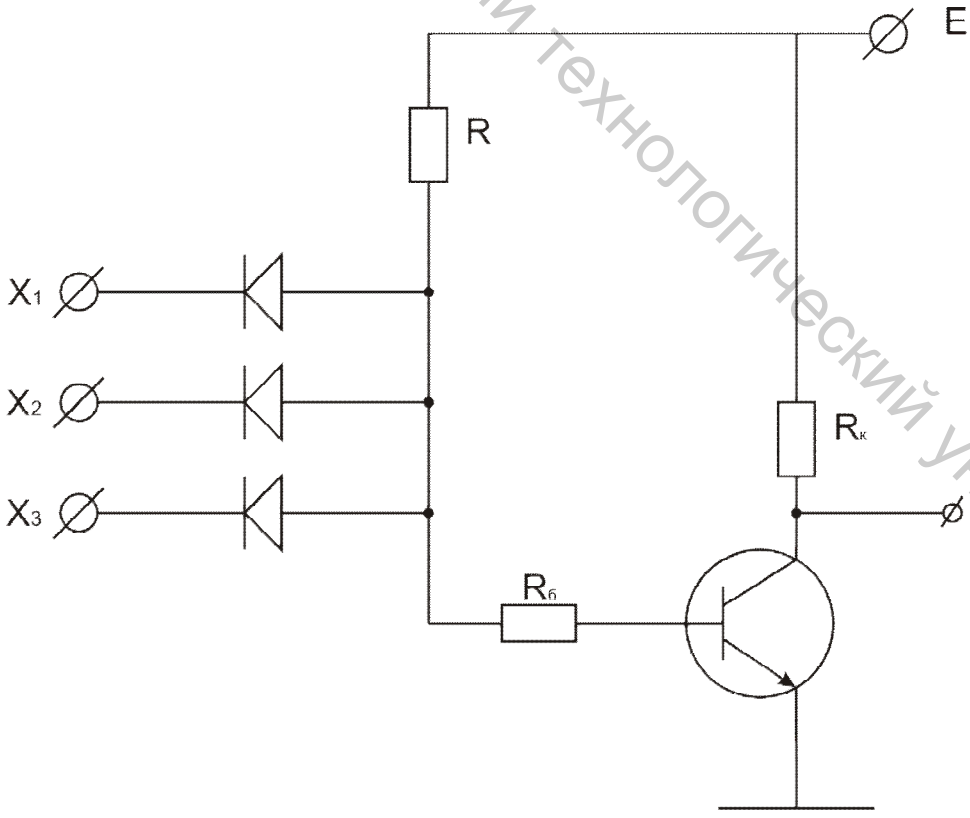


Рис. 5.24. Схема элемента «НЕ И» на базе диодов и транзистора

Витебский государственный технологический университет

Если последовательно соединить элементы ИЛИ и И с элементом НЕ, то получим соответственно элементы НЕ ИЛИ (рис. 5.23) и НЕ И (рис. 5.24) на базе диодов и транзистора.

Элемент памяти на базе диодов и транзисторов может быть получен путем соединения двух элементов НЕ ИЛИ по логической схеме, приведенной на рис. 2.20.

Схема такого триггера приведена на рис. 5.25. Вход $x_{вкл}$ служит для установки триггера в состояние 1 на выходе z, вход $x_{выкл}$ служит для сброса сигнала 1 на выходе z и установки на нем нуля. Выход $\bar{z}$ является инверсией выхода z.

Существует несколько вариантов исполнения реле времени на базе полупроводниковых приборов. Один из этих вариантов приведен на рис. 5.26. В схему реле входит стабилитрон Ст, проводимость которого достигается при приложении напряжения пробоя в непроводящем направлении. При подаче потенциала на вход x начинается выдержка времени. Вначале на выходе f отсутствует потенциал (f = 0), так как цепь разомкнута стабилитроном. Напряжение на конденсаторе С растет. Когда оно достигнет напряжения пробоя стабилитрона, сопротивление стабилитрона становится равным нулю и на выходе f появляется потенциал.

Выдержка времени между появлением на входе x и выходе f зависит от емкости конденсатора С, которая при необходимости регулирования времени задержки может быть регулируемой.

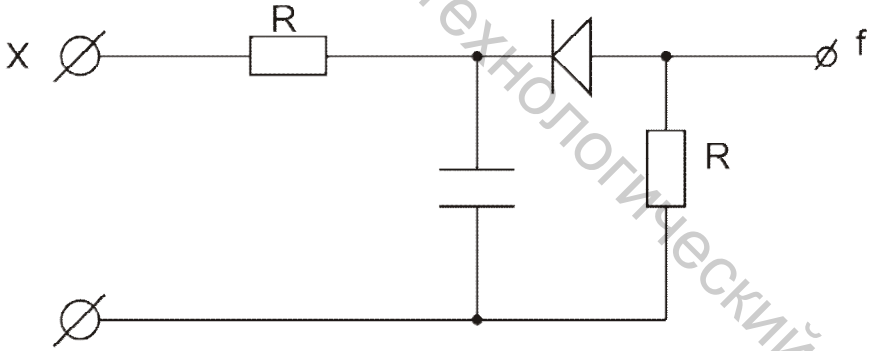


Рис. 5.26. Схема реле времени на базе стабилитрона и емкости

На рис. 5.27 показана схема системы путевого управления, реализующая алгоритм управления согласно логической схеме, приведенной на рис. 3.6.

Входные сигналы $x_р$, x_3, x_4 коммутируются одноименными диодами, включенными в схему в режиме ключей. Один из выводов диодов подключается к источнику постоянного потенциала Е, другие соответственно: $x_р$ – к включающему входу триггера, x_4 – к выключающему входу триггера, x_3 – к входу реле времени. Выход реле времени подается на вход элемента НЕ. Выход элемента НЕ подается на входы двух элементов ИЛИ, на другие входы последних подаются выходные сигналы z и $\bar{z}$ триггера. Выходы элементов ИЛИ подаются на вход элемента И, на выходе последнего получаем сигнал f_1. Сигнал f_2 получают непосредственно с выхода z триггера.

Витебский государственный технологический университет

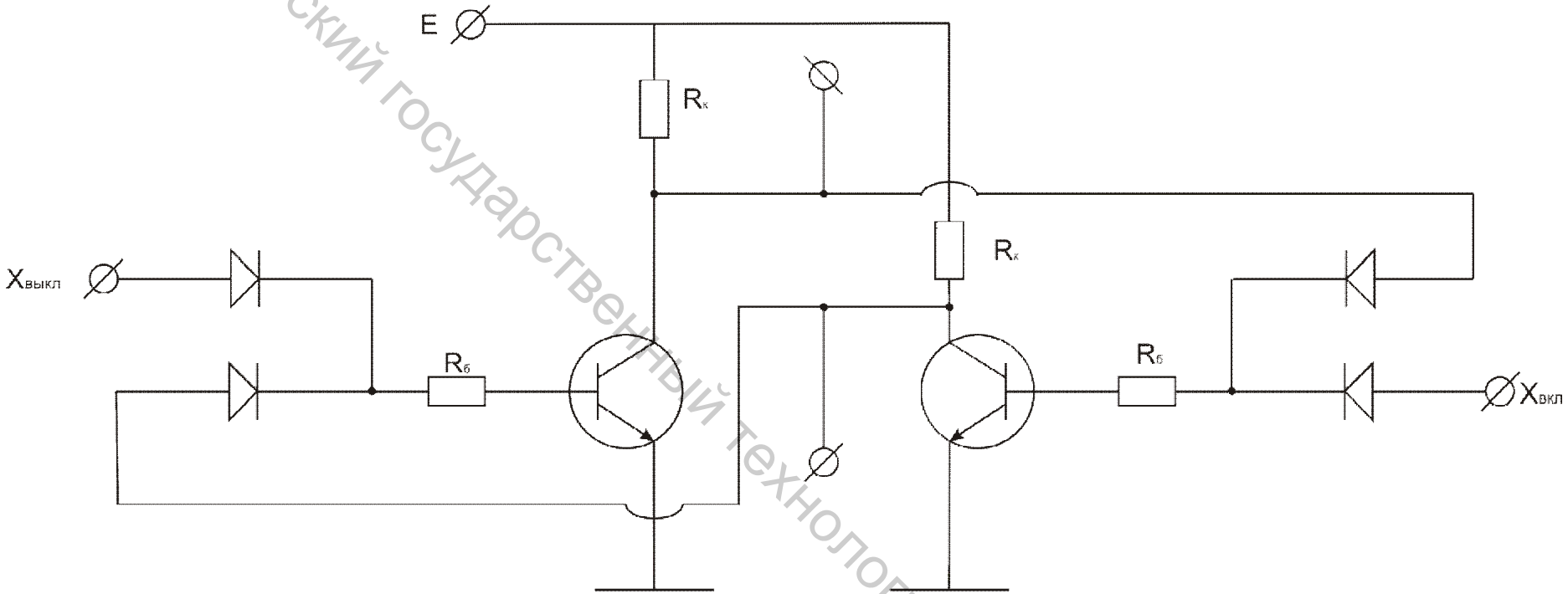


Рис. 5.25. Схема триггера на базе диодов и транзисторов

Витебский государственный технологический университет

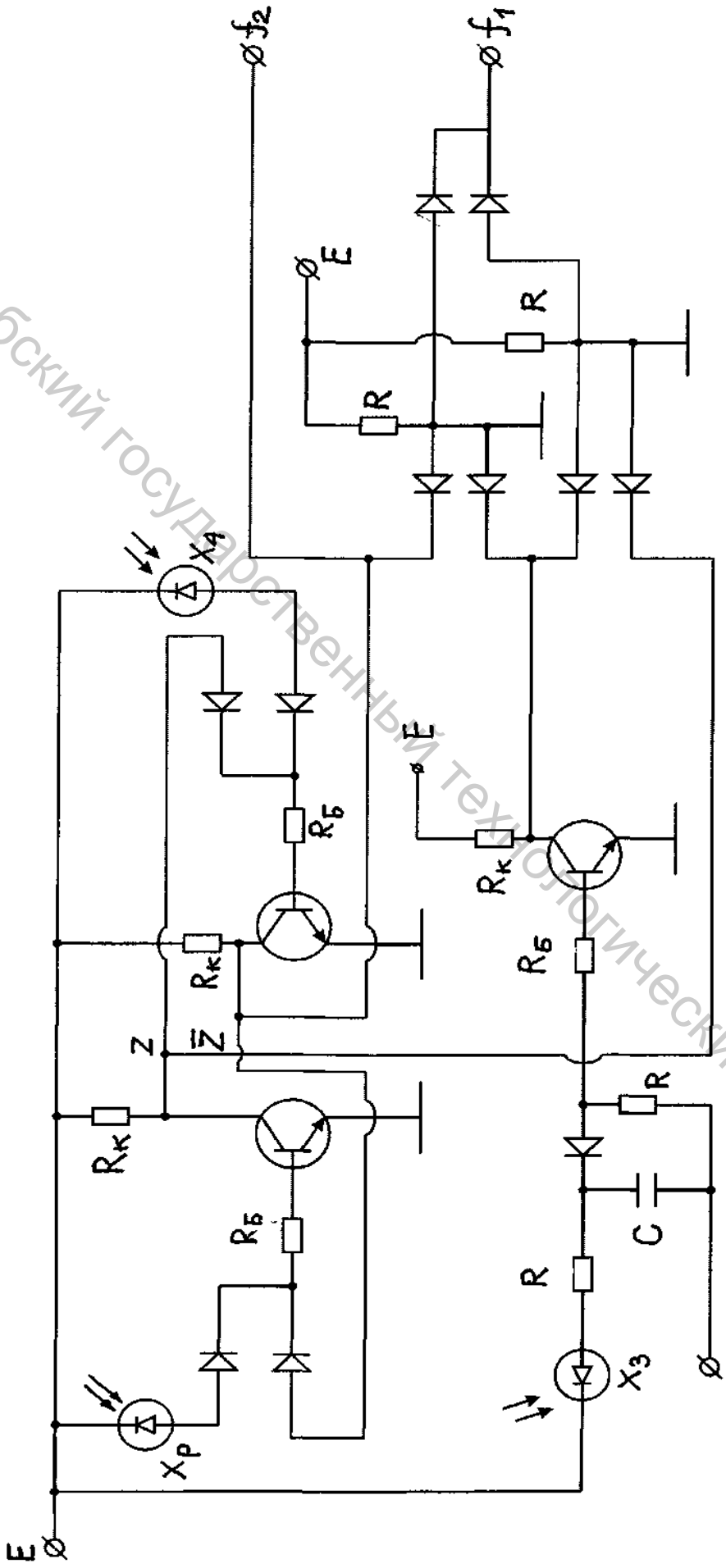


Рис. 5.27. Схема системы путевого управления на электронных элементах

Витебский государственный технологический университет

6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Появление систем числового программного управления (ЧПУ) связано с созданием шаговых электродвигателей. Шаговый электродвигатель синхронно отрабатывает точные дискретные перемещения ротора при подаче импульсов напряжения в обмотку статора. Число N импульсов определяет угол поворота ротора, а их частота f – угловую скорость ротора.

Системы ЧПУ нашли применение в металлорежущих станках в начале 50-х годов XX столетия. В 70-х годах системы ЧПУ стали применяться в швейных полуавтоматах, сначала – в вышивальных, а затем – в полуавтоматах, предназначенных для сборки верха обуви, закрепочных, петельных и др. Известны также разработки в области вырубочных прессов с ЧПУ.

В настоящем разделе даются наиболее общие сведения о системах с ЧПУ с целью дать представление о структуре систем ЧПУ, функциях, выполняемых структурными элементами.

6.1. Классификация систем ЧПУ

Системы ЧПУ можно классифицировать по различным признакам [7]. По принципу реализации алгоритма управления различаются СЧПУ:

- с жесткой структурой реализации алгоритма управления (схемно-аппаратной);
- с гибкой структурой реализации алгоритма управления;
- со смешанной структурой реализации алгоритма управления.

В СЧПУ первого типа функциональное назначение каждого блока жестко определено его структурой.

В СЧПУ второго типа блоки могут работать по любому программному алгоритму, задаваемому программой управления.

В СЧПУ третьего типа часть блоков работает по жесткой структуре, другие - по программному алгоритму.

По виду управления движениями рабочих органов различают СЧПУ:

- позиционные;
- контурные;
- универсальные.

В позиционных СЧПУ осуществляется управление позиционированием рабочих органов. Этими системами оснащаются сверлильные, расточные станки, кузнечно-прессовые машины, позиционные промышленные роботы, вырубочные пресс-автоматы и т.п.

В контурных СЧПУ осуществляется управление движениями рабочих органов по заданным траекториям с заданными скоростями подач. Этими системами оснащаются швейные полуавтоматы для шитья по контуру, вышивальные полуавтоматы, токарные и фрезерные станки, контурные промышленные роботы.

Витебский государственный технологический университет

В универсальных СЧПУ осуществляется управление позиционированием и движениями по заданным траекториям, с заданными скоростями подачи. Этими системами оснащаются многоцелевые станки, роботизированные технологические комплексы.

По типу задания управляющей программы (УП) и ее хранению, типу программоносителей и способу обработки информации различают СЧПУ типа:

- NC (Numerical Control);
- HNC (Hand Numerical Control);
- SNC (Speicher Numerical Control);
- CNC (Computor Numerical Control);
- DNC (Direct Numerical Control).

В СЧПУ типа NC в качестве программоносителя используется перфолента, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) вмещает небольшой объем информации (не более двух кадров), отработка управляющих программ происходит в естественной форме (линейные программы).

В СЧПУ типа HNC управляющая программа вводится вручную с помощью клавиш, возможен просмотр, редактирование УП, работа в диалоговом режиме.

В СЧПУ типа SNC имеется оперативная и архивная память, в которую может загружаться управляющая программа и отрабатываться с вызовом в оперативную память.

В СЧПУ типа CNC имеется микроЭВМ, специальные интерфейсы для связи с объектом управления и периферийными устройствами.

В СЧПУ типа DNC имеется миниЭВМ, которая обеспечивает управление комплексным оборудованием, при этом в отдельных объектах управления могут применяться СЧПУ указанных выше типов.

По типу применяемых электроприводов различают СЧПУ:

- с асинхронными позиционными электродвигателями на базе электромагнитных муфт;
- с шаговыми электродвигателями;
- со следящим электроприводом (постоянного тока или асинхронным с тиристорным управлением).

6.2. Структура систем ЧПУ

В системе ЧПУ можно выделить подсистемы, выполняющие определенные функции. Эти подсистемы представлены в виде блок-схемы структуры системы ЧПУ на рис. 6.1.

Управляющая программа (УП) – совокупность технологических, программных и технических средств, представляющих заданный закон движения рабочих органов машины-автомата в виде кодированной числовой информации. К числу этих средств относятся: исходная технологическая информация, язык программирования.

Витебский государственный технологический университет

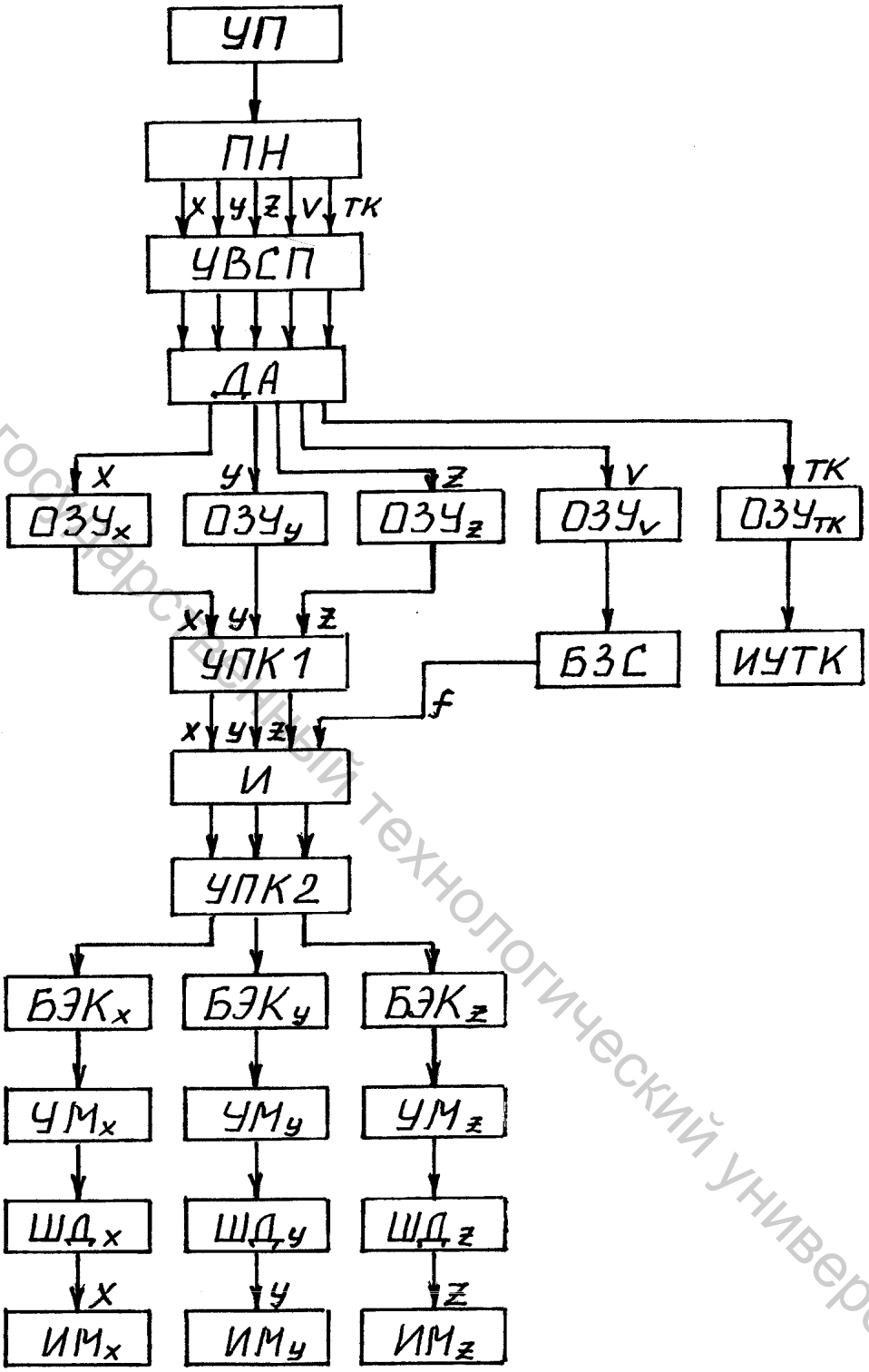


Рис. 6.1

Блок-схема структуры системы ЧПУ

Витебский государственный технологический университет

Программоносители (ПН) – средства записи программ в кодированном виде: перфоленты, магнитные ленты, магнитные диски (гибкие и жесткие), постоянные запоминающие устройства ПЗУ в виде микросхем и др.

Устройства ввода и считывания программ (УВСП) – технические средства, предназначенные для ввода управляющей программы в систему управления. Структура УВСП определяется видом программоносителя. Информация с перфолент и магнитных лент вводится с помощью лентопротяжных устройств, считывающих головок (фотоэлектрических и электромагнитных). Информация с магнитных дисков считывается с помощью дисководов, несущих магнитные головки. На выходе УВСП получается последовательно-параллельный код электрических импульсов.

Дешифратор адресов (ДА) служит для распознавания адресной части программы и распределения числовой части программы по каналам системы управления, управляющим перемещениями рабочих органов по координатам X, У, Z, скоростью перемещения V и технологическими командами ТК.

С дешифратора адресов электрические импульсы направляются в регистры оперативных запоминающих устройств каналов $ОЗУ_X$, $ОЗУ_У$, $ОЗУ_Z$, $ОЗУ_V$, $ОЗУ_{ТК}$. В регистрах каналов $ОЗУ_X$, $ОЗУ_У$, $ОЗУ_Z$ записываются коды числовой информации перемещений по координатам X, У, Z. В регистрах канала $ОЗУ_V$ записываются коды контурной скорости перемещений рабочего органа. В регистрах $ОЗУ_{ТК}$ записываются коды (0,1) технологических команд, управляющих приводом, инструментами и т.п. В последующем эти коды отрабатываются соответствующими исполнительными устройствами (ИУТК).

Блок задания скорости (БЗС) обеспечивает заданную скорость перемещения рабочего органа, режим разгона и торможения. Устройство преобразования кода УПК 1 преобразует информацию, введенную с программоносителя (в двоично-десятичном или ином коде) в двоичный методом вычислений с помощью специального процессора. Интерполятор И представляет собой специализированный процессор для расчета траектории движения рабочего органа и выдачи импульсов на управляемые координаты X, У, Z. Устройство преобразования кода УПК 2 преобразует двоичный код в десятичный, т.е. в заданное число импульсов. Блоки электронного коммутатора $БЭК_X$, $БЭК_У$, $БЭК_Z$ распределяют импульсы, поступающие с УПК 2 в сигналы возбуждения обмоток шаговых электродвигателей $ШД_X$, $ШД_У$, $ШД_Z$. Предварительно эти сигналы возбуждения усиливаются с помощью усилителей мощности $УМ_X$, $УМ_У$, $УМ_Z$. Шаговые электродвигатели ($ШД_X$, $ШД_У$, $ШД_Z$) преобразуют сигналы возбуждения обмоток статора в угловые перемещения роторов в соответствии с управляющей программой. Исполнительные механизмы ($ИМ_X$, $ИМ_У$, $ИМ_Z$) преобразуют вращение ротора в заданные движения рабочего органа по координатам X, У, Z.

Витебский государственный технологический университет

7 УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

7.1. Представление законов движения рабочих органов в виде числовой информации

Законы движения рабочих органов могут быть заданы в виде множества его позиций относительно обрабатываемого материала, или траектории рабочего органа.

Сначала рассмотрим, как можно представить в виде числовой информации множество позиций рабочего органа относительно обрабатываемого изделия на примере пресс-автомата для вырубки деталей обуви из листовых материалов. Пресс-автомат разработан на кафедре «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ» под руководством доцента Амирханова Д.Р.

Раскрой материала на детали низа обуви производится в соответствии с раскладкой (рис. 7.1). Раскладка представляет собой лист бумаги с такими же габаритными размерами, как и лист материала, на котором размещены контуры деталей (рис. 1.6).

Положение i-той детали определим в подвижной, привязанной к листу материала, системе координат $x_M 0_M y_M$, координатами $x_Д y_Д$ центра детали $0_Д$ и углом $\alpha_Д$ между осью $0_M x_M$ и осью детали. Требуется представить для данной раскладки законы движения рабочих органов пресс-автомата в виде чисел-координат. Схема рабочих органов пресс-автомата представлена на рис. 7.2.

Пластина 1, на которой закреплен лист материала, совершает поступательное движение. С пластиной свяжем подвижную систему координат $x_M 0_M y_M$. Положение пластины 1 будем определять координатой y точки 0_M в неподвижной системе координат $x_П 0_П y_П$, привязанной к станине пресса. Конструктивные параметры пресса обозначим L и l_X (см. рис. 7.2). Тогда

$$y = -y_{Д.} \qquad (7.1)$$

Каретка 2 (см. рис.7.2) перемещается вдоль оси $x_П$. Держатель резака 3 перемещается вместе с кареткой 2 вдоль оси $x_П$. В держателе 3 жестко закреплен резак 4, контур которого идентичен контуру детали. Обозначим $0_Р$ – центр резака, он совпадает с центром поворота держателя резака 3 относительно каретки 2. Положение каретки 2 будем определять точкой $0_Р$, а координату последней в неподвижной системе координат $x_П 0_П y_П$ обозначим x. Так как $0_Р$ совмещается с центром $0_Д$, то

$$x = L - l_X + x_{Д.} \qquad (7.2)$$

Положение держателя 2 будем определять угловой координатой z оси резака относительно оси $0_П x_П$. Так как ось резака должна совмещаться с осью детали на раскладке, то

$$z = a_{Д.} \qquad (7.3)$$

Таким образом, равенствами (7.1 - 7.3) установлены соотношения между координатами, определяющими положение рабочих органов пресс-автомата и

координатами детали на раскладке. Теперь рассмотрим алгоритм расчета перемещений рабочих органов.

Витебский государственный технологический университет

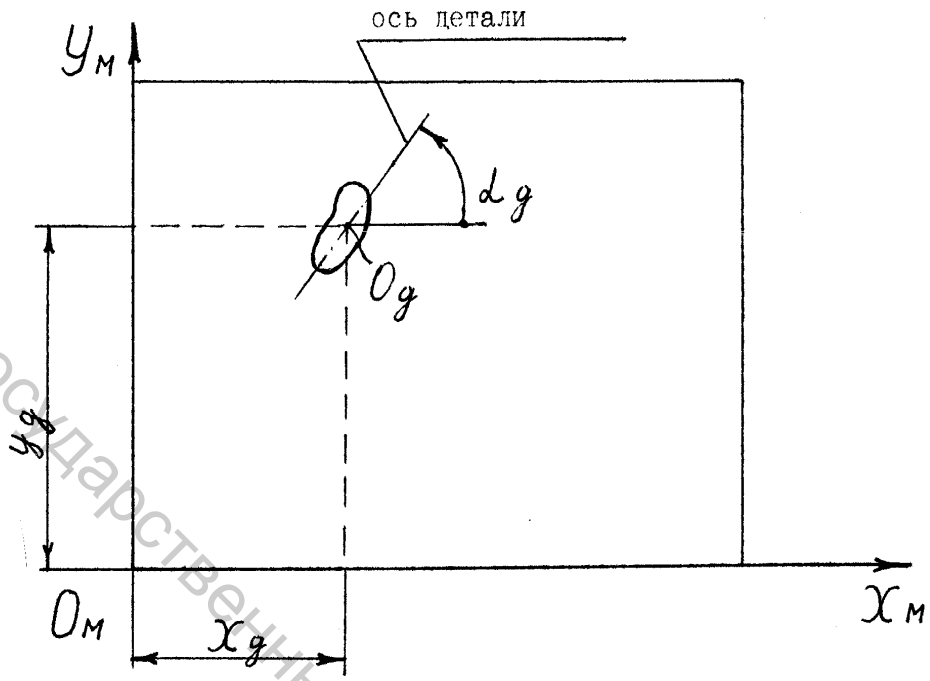


Рис. 7.1

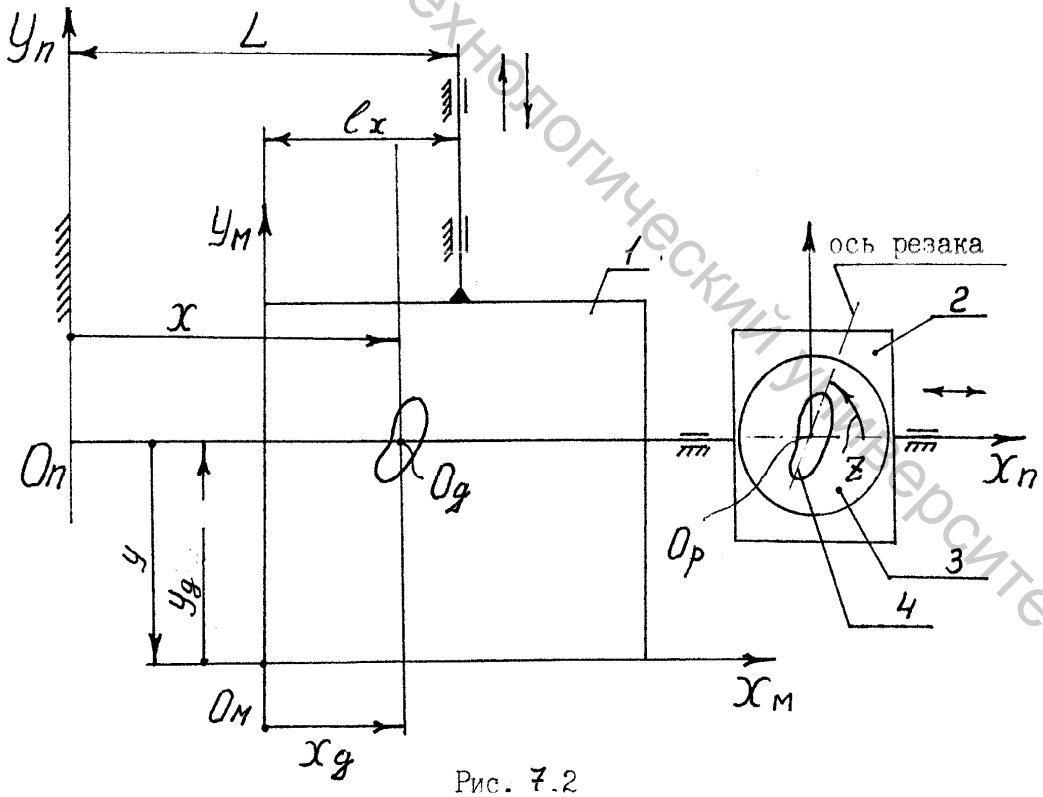


Рис. 7.2

Витебский государственный технологический университет

Дано: L, l_X, параметры пресса-автомата, $x_0y_0z_0$ – начальные координаты рабочих органов пресса-автомата, $\{x_{Дi}, y_{Дi}, a_{Дi}\}$ – массив чисел, определяющих раскладку, i=1,2,…,N, N – число деталей в раскладке. Нумерация позиций производится таким образом, чтобы обеспечить кратчайший маршрут обхода всех позиций, $\Delta S_X, \Delta S_Y, \Delta a_Z$ - элементарные перемещения по координатам x,y,z (дискреты).

1. Определение x_i, y_i, z_i – по формулам (7.1 – 7.3):

$$x_i = L - l_X + x_{Дi};$$

$$y_i = -y_{Дi};$$

$$z_i = a_{Дi};$$

i = 1, 2,…,N+1.

2. Определение приращений:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1};$$

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1};$$

$$\Delta z_i = z_i - z_{i-1};$$

i = 1, 2,…(N+1),

где $x_{N+1} = x_0$;

$y_{N+1} = y_0$;

$z_{N+1} = z_0$.

3. Определение приращений координат в дискретах

$$\Delta X_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta S_X};$$

$$\Delta Y_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta S_Y};$$

$$\Delta Z_i = \frac{\Delta z_i}{\Delta S_Z}.$$

На каждом i-ом перемещении должна задаваться контурная скорость Vi. Величина Vi определяется из условия минимизации времени перемещения. Пусть суммарное перемещение $\Delta S_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i}$ задано в мм. На рис. 7.3 приведены графики пути S, скорости V и ускорения a на i-ом участке в функции времени t. Время перемещения $t_{пер}$ на величину ΔS_i состоит из трех участков: времени разгона t_p, времени установившегося движения t_y и времени

Витебский государственный технологический университет

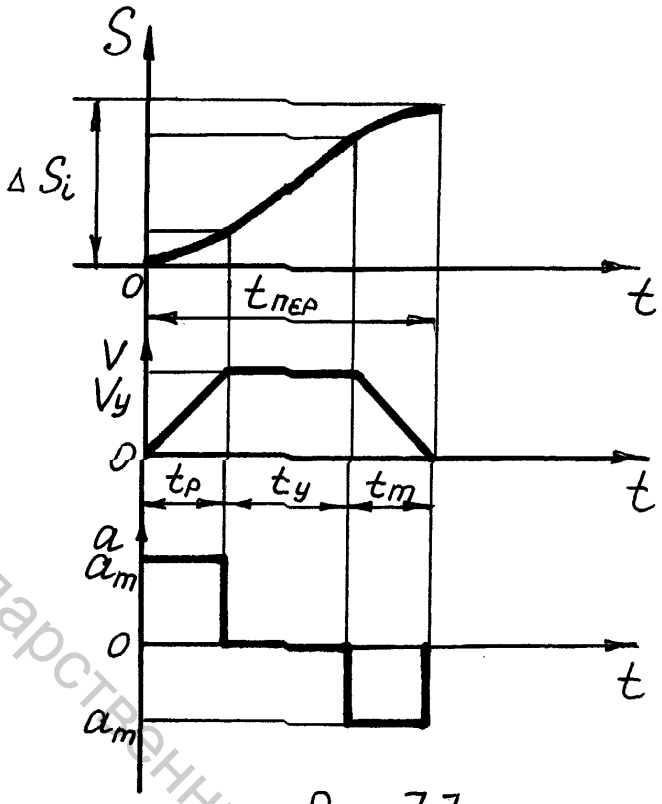


Рис. 7.3

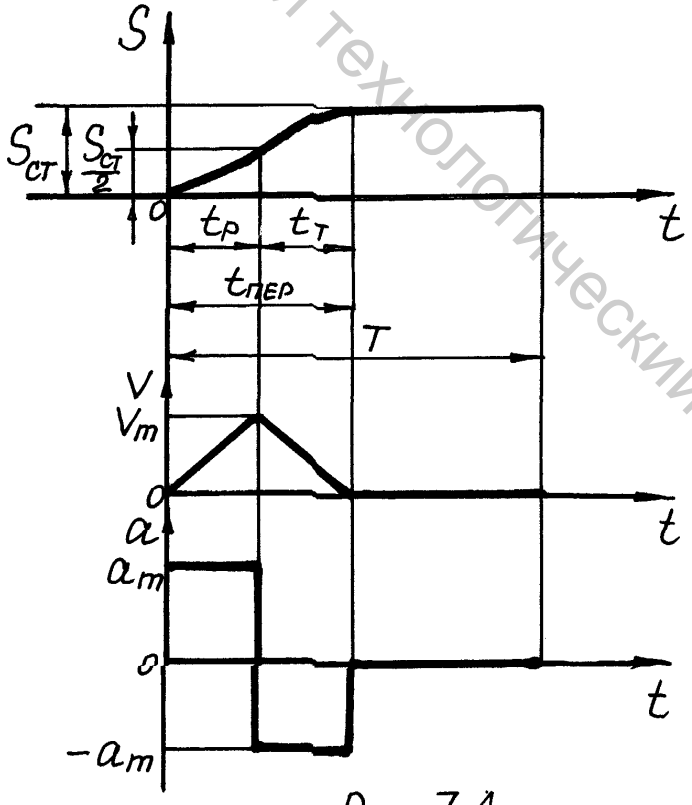


Рис. 7.4

Витебский государственный технологический университет

торможения t_m . Скорость установившегося движения обозначим V_y, модуль ускорения на участках разгона и торможения - a_m . Зависимость ΔS_i от V_y, t_p, t_m и t_y выражается формулой

$$\Delta S_i = \frac{V_y}{2}(t_p + t_m) + V_y \cdot t_y . \quad (7.4)$$

Полагая $t_p = t_m$, получим:

$$\Delta S_i = V_y(t_p + t_y) . \quad (7.5)$$

Из (7.5) определим

$$t_y = \frac{\Delta S_i}{V_y} - t_p . \quad (7.6)$$

Тогда

$$t_{пер} = t_y + 2t_p = \frac{\Delta S_i}{V_y} + t_p .$$

С учетом $t_p = \frac{V_y}{a_m}$, получим

$$t_{пер} = \frac{\Delta S_i}{V_y} + \frac{V_y}{a_m} . \quad (7.7)$$

Величина ускорения a_m назначается с учетом динамических характеристик шагового электропривода.

Полагая a_m известным и постоянным из (7.7) определим V_y, соответствующее $t_{пер} = t_{пер\min}$. Для этого приравняем нулю производную $t_{пер}$ по V_y из (7.7)

$$-\frac{\Delta S_i}{V_y^2} + \frac{1}{a_m} = 0 .$$

Откуда $$V_y = \sqrt{\Delta S_i \cdot a_m} . \quad (7.8)$$

При известных ΔS_i и a_m из (7.8) определяется скорость установившегося движения для i-го перемещения.

В швейных полуавтоматах с числовым программным управлением перемещение материала относительно проекции оси иглы может происходить в старт-стопном и непрерывном режимах.

Витебский государственный технологический университет

В старт-стопном режиме перемещение материала на величину шага $S_{ст}$ происходит в период нахождения иглы над материалом, при проколе материала иглой материал неподвижен. Подобный режим применяется при стачивании обувных материалов (натуральной кожи и т.п.) или при величине шага стежка $S_{ст} \geq 2$ мм, если стачиваются ткани. В период перемещения на величину стежка $S_{ст}$ сначала происходит разгон, затем – торможение. Кинематические диаграммы показаны на рис. 7.4.

На рис. 7.5 приведена схема для расчета перемещений. На схеме показаны: I – материал, II – кассета, на которой закреплен материал, III – швейная головка, закрепленная неподвижно.

Контур строчки К, выполняемой на детали, образован точками прокола 1, 2,…,N иглы швейной головки III, отстоящими друг от друга на расстоянии $S_{ст}$. Пусть множество точек прокола задано в системе координат $x_К 0_К y_К$ множеством координат $\{x_{ci}, y_{ci}\}$.

Кассета II совершает старт-стопное движение относительно проекции И оси иглы, последовательно совмещая точки 1,2,…,N с точкой И.

Проведем оси координат $x_К y_К$ с началом в середине кассеты $0_К$ и жестко привяжем систему координат $x_К 0_К y_К$ с кассетой. Пусть кассета II имеет возможность перемещения вдоль неподвижных осей координат $x_П 0_П y_П$, где $0_П$ совпадает с начальным положением точки $0_К$ в позиции загрузки-разгрузки. При этом оси $x_П$ и $y_П$ параллельны соответственно осям $x_К$, $y_К$. Обозначим L_X, L_y – координаты точки И в неподвижной системе координат $x_П 0_П y_П$, а x_i, y_i – координаты кассеты в той же системе координат $x_П 0_П y_П$.

Координаты x_i, y_i определяются из очевидных соотношений:

$$x_i = L_X - x_{ci}; \qquad (7.9)$$

$$y_i = L_y - y_{ci}; \qquad (7.10)$$

i = 0,1,…,N;

$x_0 = 0$; $y_0 = 0$; $x_{N+1} = 0$; $y_{N+1} = 0$.

Последние равенства означают, что в исходном и конечных положениях кассета находится в позиции загрузки-разгрузки.

Используя формулы (7.9-7.10) можно по аналогии с вырубочным прессом рассчитать приращения координат

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1}; \qquad (7.11)$$

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1}; \qquad (7.12)$$

i = 1,2…,N+1,

где $x_{N+1} = x_0$; $y_{N+1} = y_0$.

Приращения координат в дискретах ΔS определяются из равенств

$$\Delta X_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta S}; \quad \Delta Y_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta S}.$$

Витебский государственный технологический университет

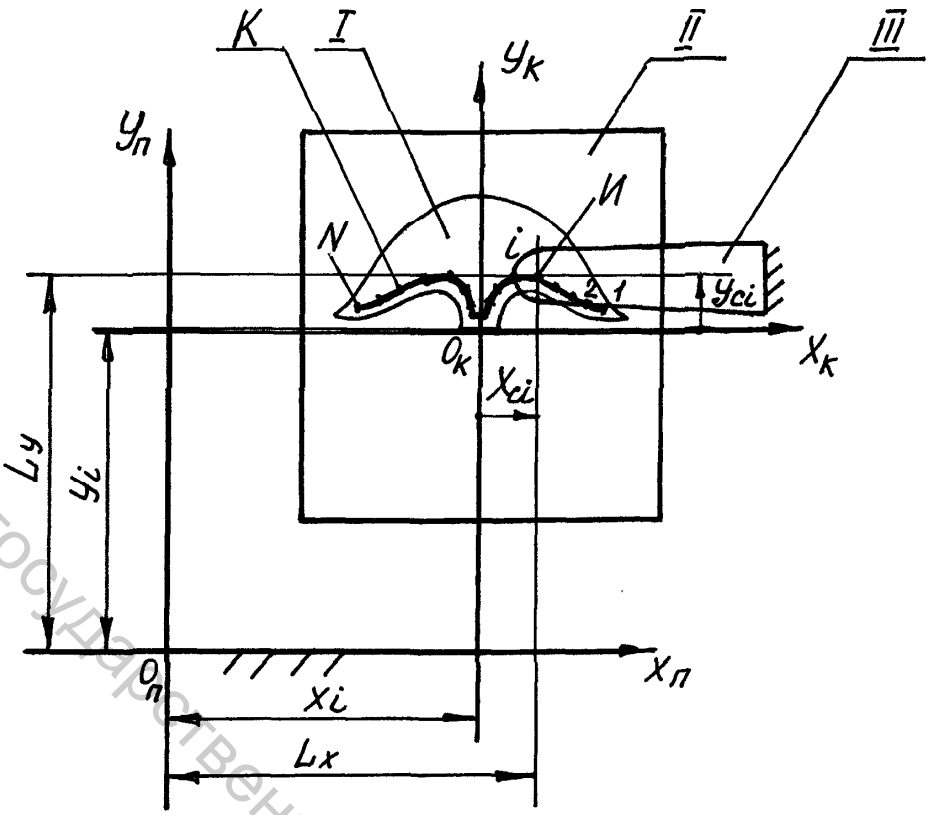


Рис. 7.5

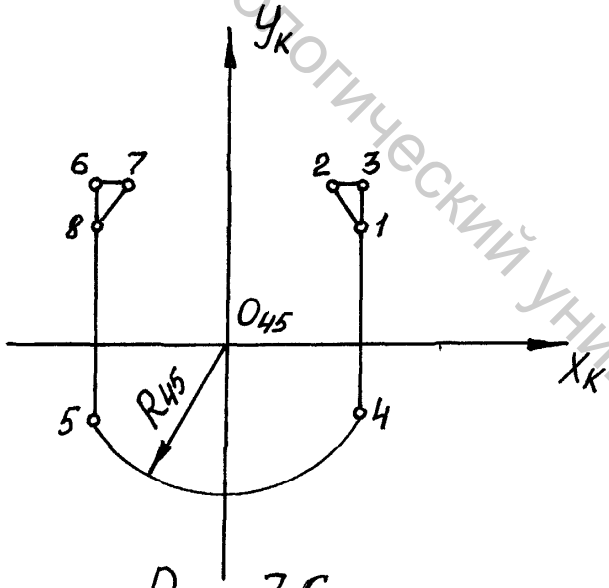


Рис. 7.6

Контур строчки накладного кармана мужской сорочки

Витебский государственный технологический университет

Кроме числовой информации о перемещениях необходимо также определить контурную скорость V_m , ускорение a_m и скорость шитья n [стежков/мин].

Ускорение a_m выбирается, исходя из приведенного к валу шагового электродвигателя момента инерции исполнительного механизма и механических характеристик шагового электродвигателя (см. об этом в подразделе 11.5).

При известном a_m скорость V_m и скорость шитья n определяются из формул равноускоренного движения при известном коэффициенте рабочего хода $K_{тр}$ устройства транспортирования в швейном полуавтомате

$$t_{пер} = 2\sqrt{\frac{S_{ст}}{a_m}};$$

$$V_m = a_m \cdot \frac{t_{пер}}{2};$$

$$n = \frac{60}{K_{тр} \cdot t_{пер}}, \qquad (7.13)$$

где $t_{пер}$ - время перемещения;

$K_{тр} = \frac{j_{тр}}{360°}$, $j_{тр}$ - угол поворота главного вала швейной головки, отводимый для транспортирования материала при его стачивании.

В непрерывном режиме перемещения материала на величину шага $S_{ст}$ происходит деформация материала в период прокола его иглой. Подобный режим применяется при стачивании легких тканей (например, сорочечных) и длине стежка менее 2 мм.

На рис. 7.6 приведен контур строчки накладного кармана мужской сорочки, выполняемой на швейном полуавтомате в непрерывном режиме перемещения. При представлении закона движения материала относительно иглы швейной головки контур строчки разбивается на участки в виде отрезков прямых 1-2, 2-3, 3-4, 5-6, 6-7, 7-8 и дуги окружности 5-4 с центром в точке 0_{4-5} радиуса R_{4-5}. Для отрезков прямых и дуги определяются координаты x_i, y_i (i=1,2,…,8) начала и конца участков в системе координат $x_K 0_{4-5} y_K$. После этого координаты кассеты (см. рис. 7.5) определяются по формулам (7.9), (7.10), а перемещения (приращения координат) – по формулам (7.11), (7.12).

Для участка дуги кроме перемещения необходимо указать направление вращения радиуса R_{4-5} (по часовой, против часовой стрелки).

На каждом участке контура движение кассеты происходит согласно кинематическим диаграммам, приведенным на рис. 7.3. Поэтому скорость установившегося движения V_y определяется из формулы (7.8), где

Витебский государственный технологический университет

$\Delta S_i = \sqrt{\Delta x_i^{\,2} + \Delta y_i^{\,2}}$, а ускорение a_m назначается с учетом динамических характеристик шагового электропривода.

Кроме того, необходимо определить частоту вращения главного вала швейной головки n.

На участке установившегося движения t_y частота вращения определится из формулы

$$n_y = \frac{60V}{S_{ст}} \text{ [об/мин]},$$

где $S_{ст}$ – шаг стежка.

На участке разгона и торможения для сохранения постоянства длины стежка $S_{ст}$ необходимо изменять частоту вращения главного вала швейной головки по законам

$$n = \frac{n_y}{t_p} \cdot t; \qquad 0 \le t \le t_p; \qquad (7.14)$$

$$n = n_y\left(1 - \frac{1}{t_p}\right) \cdot t; \qquad t_p + t_y \le t \le t_{пер}. \qquad (7.15)$$

7.2. Структура программ перемещений рабочих органов

Программы перемещений рабочих органов пишутся на различных языках (кодах). В специализированных системах ЧПУ технологического оборудования наиболее распространен код (язык) JSO (Jnternational Standards Organization).

Для систем ЧПУ графопостроителей и вышивальных полуавтоматов, выпускаемых опытно-конструкторским бюро машиностроения г. Витебска, применяется язык HP-GL .

Рассмотрим систему команд JSO. Программа - это установленная последовательность рабочей информации, состоящей из кадров. Приведем фрагмент программы, состоящей из двух кадров:

N 010 G01 X - 003560 У + 000210 Z - 000480
F47I0

N015 S01.

Как видно, кадр состоит из латинских букв, цифр и знаков. Кадр - это последовательность слов, образующих информацию для отработки участка траектории между двумя опорными точками (см. рис. 7.5, 7.6) или перемещения между двумя соседними позициями (рис. 7.1).

Слово – определенная последовательность символов, соответствующая выполнению какого-либо приема (перехода). Слово обычно включает в себя технологическую информацию. Слово состоит из латинской буквы адреса и последовательности цифр с предшествующим знаком или без него. Пример слова: X + 000248.

Витебский государственный технологический университет

Каждый кадр программы должен начинаться со слова "номер кадра" (адрес N) и заканчиваться словом "конец кадра" (LF). В таблице 7.1 приведены некоторые символы адресов и их значения.

Таблица 7.1

Символ адреса	Название слова
F	Функция подачи
N	Номер кадра
X	Параметр перемещения по оси X
У	Параметр перемещения по оси У
Z	Параметр перемещения по оси Z
G	Вид интерполяции
S	Функция скорости шпинделя
T	Функция инструмента
I, J, К	Координаты начальной точки дуги
L	Коррекция
M	Вспомогательная функция

Если кадр содержит слово "подготовительная функция" (адрес G), оно должно стоять сразу после слова "номер кадра". Отдельные слова могут располагаться в кадре в произвольном порядке.

Подготовительные операции задаются словом, содержащим адрес, и следующую за ним подготовительную функцию, которая выражается двухзначным кодовым числом (таблица 7.2).

При отсутствии в кадре слова "подготовительная функция" выполняется команда предыдущего кадра, в котором встречается слово "подготовительная функция".

Таблица 7.2

Обозна с	Значение слова
G 01	Линейная интерполяция
G 02	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G 03	Круговая интерполяция против часовой стрелки
G 04	Пауза

Скорость подачи задается словом, содержащим адрес F , и следующую за ним функцию, состоящую из четырех цифр: $A_1A_2A_3A_4$. Для задания величины подачи используются цифры $A_2A_3A_4$. A_3A_4 - число, равное с точностью до двух знаков величине скорости подачи (в мм/мин). Если требуемая скорость подачи содержит более двух цифр, необходимо ее округлить. Например, число 1228 округляется до 1200. Цифра A_2 - десятичный множитель, величина которого на три больше, чем количество цифр слева от запятой в числе, выражающем величину скорости подачи. Примеры расшифровки кодов подачи приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Код	750	712	624	557	483	372
Скорость подачи в мм/мин	5000	100	240	57	8,3	0,7

Витебский государственный технологический университет

При задании скорости подачи меньше 1 мм/мин последняя цифра кода подачи (0,01 мм/мин) не воспринимается системой управления.

Если требуется иметь скорость подачи в Гц при заданной V в мм/мин, то пользуются формулой: $f = 60V/\Delta S$, где V - скорость подачи (мм/мин); ΔS - дискрета (мм). Цифра A_1 указывает режим изменения скорости подачи. Имеется два режима: нормальный (0) и с торможением до фиксированной скорости (4). При нормальном режиме автоматически происходит определение необходимости разгона или торможения при измененной скорости подачи в следующем кадре. Разгон происходит в начале кадра, торможение - в конце, причем начало торможения определяется автоматически с таким расчетом, чтобы заданная в следующем кадре величина скорости подачи была достигнута до конца отрабатываемого кадра, а время торможения не превышало заданное для ЧПУ. На рис. 7.7 показан график изменения скорости подачи при нормальном режиме.

Режим торможения до фиксированной скорости используется в случае резкого изменения траектории движения (рис. 7.8). Пусть контур 1-2-3 (рис. 7.9) обрабатывается с постоянной контурной скоростью 2000 мм/мин. Если не использовать режим торможения, то при переходе от участка 1-2 к участку 2-3 произойдут резкая остановка привода по координате X и резкий разгон по координате У. В режиме торможения при смене кадра происходит предварительное торможение от скорости данного кадра до фиксированной скорости 240 мм/мин. Режим используется, если скорость подачи данного и следующего кадров больше 240 мм/мин.

Команды языка HP-GL состоят из двухбуквенной мнемоники, за которой следует поле параметров и ограничитель. Параметры отделены друг от друга разделителем (запятой или пробелом). Ограничителем оператора является точка с запятой или мнемоника следующей команды.

Пример 1. Рассмотрим систему команд, отрабатывающих перемещение пишущего элемента (ПЭ) графопостроителя по траекториям 1-2-3 и 4-5-6 (рис. 7.10):

PA 2000, 1500, PD 0, 1500, 2000, 3500, 2000, 1500,

PU 2500, 1500, PD 4500, 1500, 2500, 3500, 2500, 1500.

Объясним смысл отдельных слов: PA 2000, 1500 - переход ПЭ в точку 1 с абсолютными координатами 2000, 1500 (указаны в дискретах) без вычерчивания; PD - опускание ПЭ, далее идет вычерчивание, т.е. переход ПЭ в точки 2,3,1 (координаты указаны на рис. 7.10); PU- подъем ПЭ и перемещение в точку 4 (2500, 1500).

Пример 2. Вычерчивание окружности (рис. 7.11). Вместо окружности вычерчивается многоугольник с углом хорды α. Команда содержит: CI радиус (угол хорды) ограничитель. Если угол хорды не указывается, то он принимается равным 5°. CI 1000, 45. По этой команде вычерчивается окружность радиуса 1000 и углом хорды 45° из центра, расположенного в текущей точке ПЭ.

Витебский государственный технологический университет

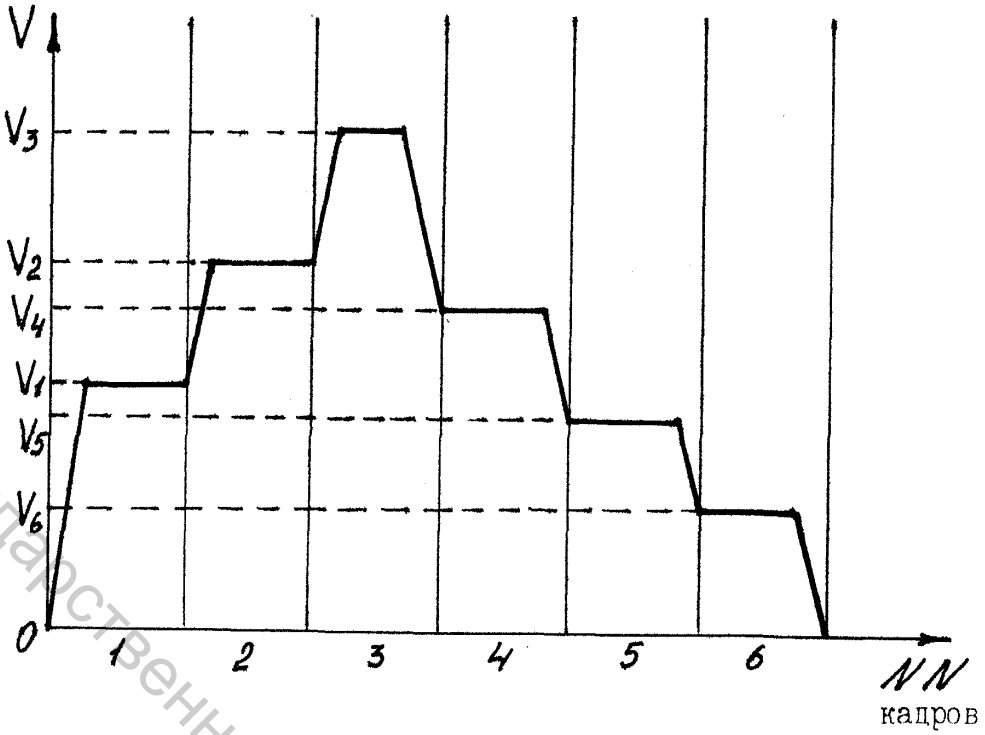


Рис. 7.7

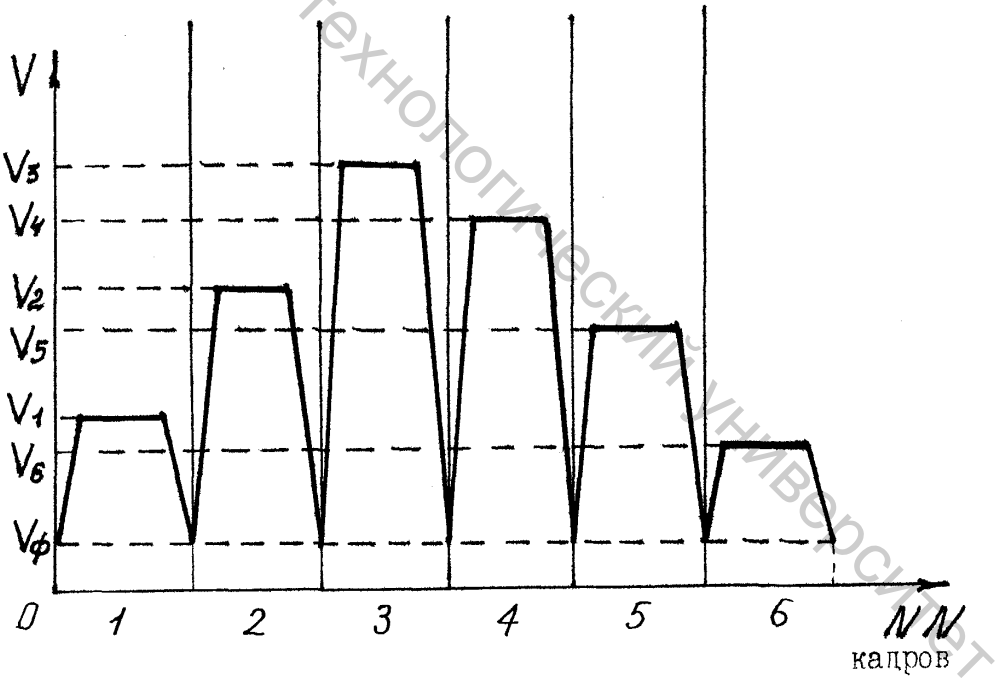


Рис. 7.8.

Витебский государственный технологический университет

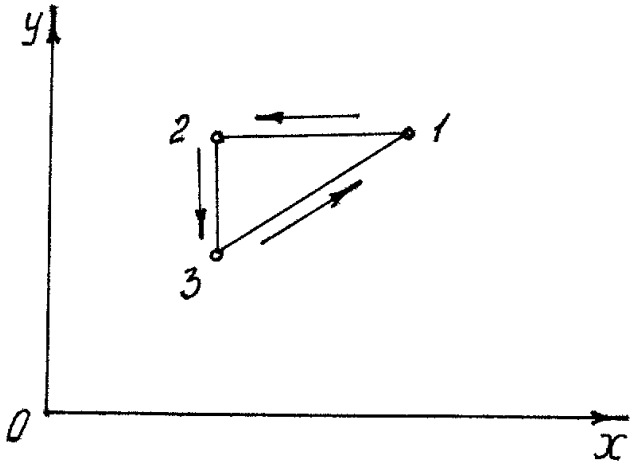


Рис. 7.9

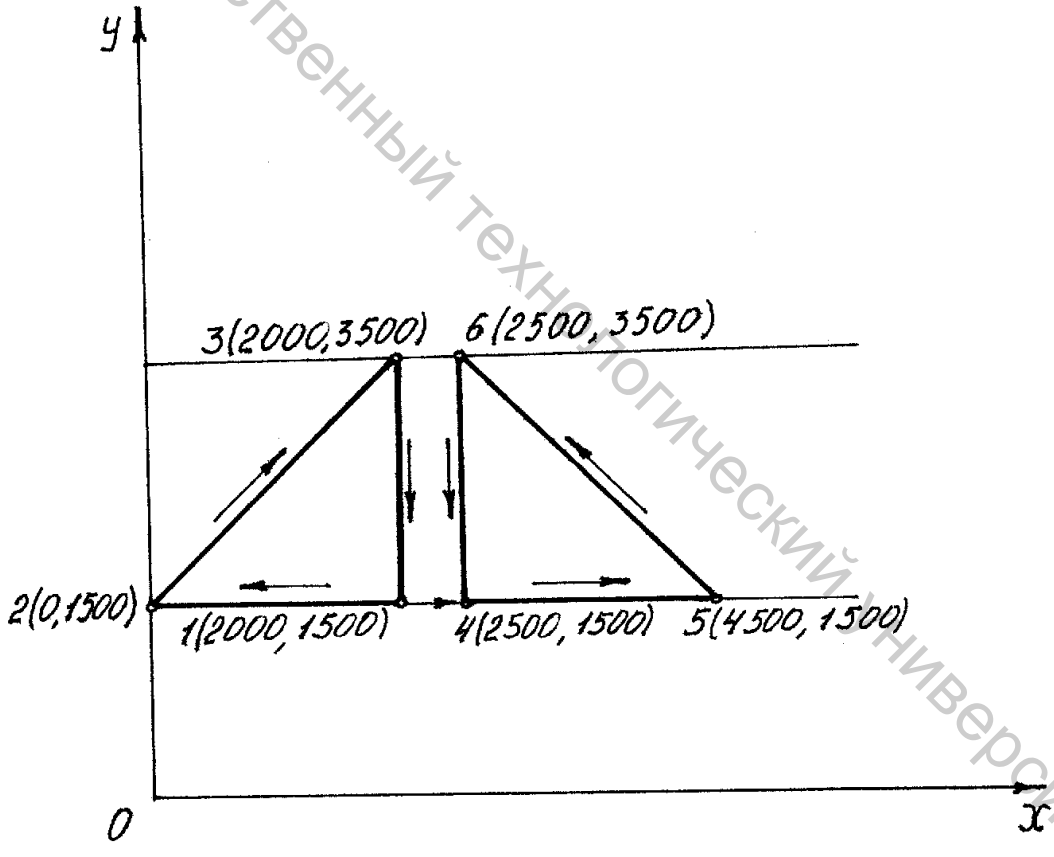


Рис. 7.10

Витебский государственный технологический университет

Рис. 7.11

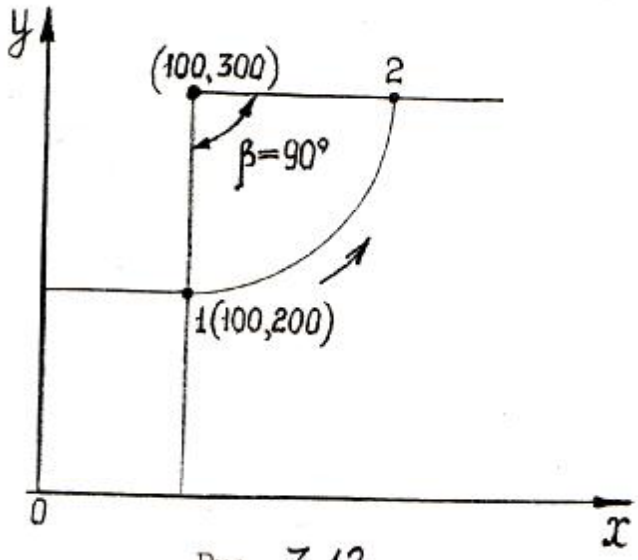


Рис. 7.12

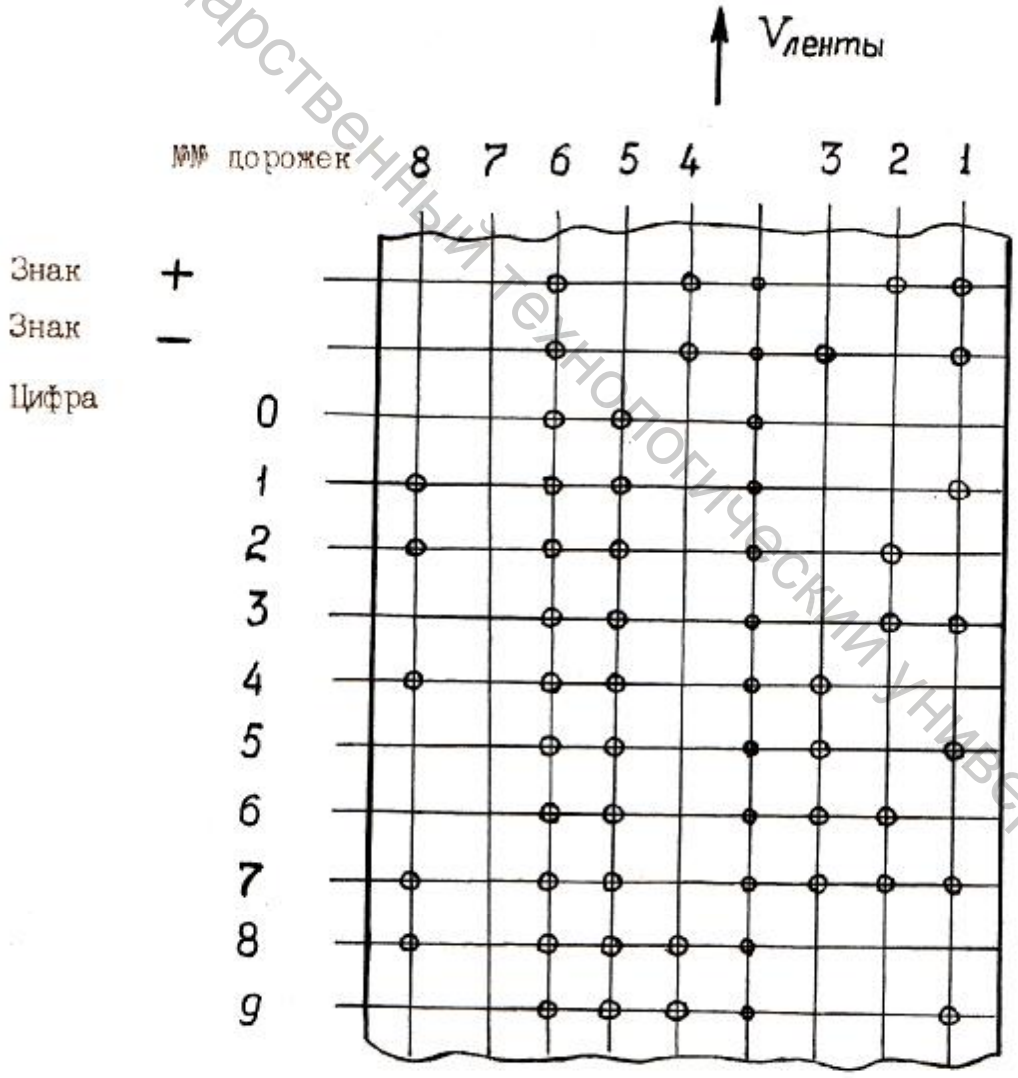


Рис. 7.13

Витебский государственный технологический университет

Пример 3. Вычерчивание дуги окружности в абсолютных координатах производится по команде: AA X, У, угол дуги (угол хорды). Ограничитель. Вычерчивается дуга с центром в точке с координатами X, У, с заданным углом дуги и заданным углом хорды (угол хорды может не указываться, в этом случае он равен 5°).

Начальной точкой дуги является текущая точка ПЭ. Если угол дуги задан со знаком + (без знака), то вычерчивание происходит против часовой стрелки, если со знаком -, то по часовой стрелке. На рис. 7.12 вычерчивается дуга по командам: PA 100, 200, AA 100, 300, 90. В команде не задан угол хорды.

Пример 4. Задание скорости перемещения ПЭ происходит по команде: VS скорость ограничитель. Например: VS 20. Скорость ПЭ задается в см/с. Диапазон возможных скоростей от 0,8 до 20 см/с.

7.3. Программоносители

В качестве программоносителей могут использоваться бумажные перфоленты, магнитные ленты, жесткие магнитные диски, гибкие магнитные диски.

Программа на перфоленту наносится в виде отверстий, образующих ряды, расположенные вдоль ленты (дорожки) и поперек ленты (строки). Чаще всего используется восьмидорожечная лента. Одна строка в такой ленте может вместить восемь отверстий. Это не значит, что число отверстий обязательно равно 8, их может быть от 0 до 8. Наличие отверстия на дорожке строки соответствует 1, отсутствие - 0. Таким образом, одна строка содержит 8 бит или 1 Байт информации. Шаг расположения отверстий на дорожке - 2,5 мм, т.е. плотность записи информации на дорожке перфоленты 1 бит на 2,5 мм или 0,4 бита/мм.

Магнитная лента выполняется из ацетилцеллюлозы. Поверхность ленты покрыта тонким слоем (~ 1 мкм) ферромагнитной эмульсии. Информация наносится в виде намагниченных участков, которые образуют дорожки и строки. Плотность записи на магнитной ленте может достигать 64 бита на 1 мм (т.е. шаг расположения строк 0,015 мм). На одной и той же ленте можно многократно записывать и стирать информацию.

Жесткие магнитные диски изготавливаются из алюминиевого сплава (толщина дисков 1,27 мм). На поверхность дисков наносится покрытие из ферромагнитного материала. Информация наносится в виде намагниченных участков, образующих концентрические окружности. Магнитные диски используются в виде пакета, содержащего от 4 до нескольких десятков дисков. В таком пакете дорожки в виде концентрических окружностей образуют цилиндры, которые нумеруются от края к центру диска. Суммарная емкость информации в блоке дисков может достигать 600 МБайт.

Диски типа "Винчестер" характеризуются более плотной записью информации, что позволяет содержать значительно больший объем информации.

Витебский государственный технологический университет

Гибкие магнитные диски выполняются на лавсановой основе толщиной 0,12 мм. На поверхность диска наносится ферромагнитное покрытие. Гибкий магнитный диск находится в квадратной кассете (дискете), имеющей прорезь, через которую осуществляется взаимодействие поверхности диска со считывающей магнитной головкой.

7.4. Кодирование программ на перфоленте

Отверстия на перфоленте образуют ряды, расположенные параллельно скорости движения ленты (рис. 7.13) в лентопротяжном механизме, называемые дорожками, и ряды, расположенные перпендикулярно этой скорости, называемые строками. Всего имеется девять дорожек. Одна из этих дорожек (с малыми отверстиями) выполняет специальную функцию и не содержит технологической информации. Остальные восемь дорожек, назовем их информационными, пронумерованы на рис. 7.13 цифрами 1...8.

Точки пересечения линий строк и информационных дорожек могут содержать отверстия или не содержать их. Отверстию ставится в соответствие цифра 1, отсутствию отверстия - 0.

Код буквы, цифры или знака размещается на одной строке и содержит, таким образом, восемь символов (0 или 1) или разрядов.

На рис. 7.13 показаны пробивки отверстий в строках перфоленты или коды для знаков +, - и цифр от 0 до 9. Коды цифр имеют общий признак: пробитые отверстия на дорожках № 5 и № 6. Каждая цифра представлена в виде суммы двоичных чисел. Пробивки отверстий на дорожках №№ 1,2,3 и 4 соответствуют двоичным числам 2^0 , 2^1 , 2^2 и 2^3 . Например, код цифры 7 обозначен пробивкой отверстий на дорожках № I, 2, 3, сумма двоичных чисел содержит $2^0 + 2^1 + 2^2 = 7$. Суммарное число отверстий на каждой строке четное. Если число отверстий, пробитых на дорожках № I...6, нечетное, то пробивается дополнительное отверстие на дорожке № 8, называемой дорожкой четности. Указанное правило соблюдается и для других кодов.

На рис. 7.14 показаны коды для некоторых букв и для символов LF (конец кадра) и % (начало программы). Общим признаком для кодов букв является пробивка отверстий на дорожке № 7. Код слова состоит из кодов букв, цифр и других символов, его составляющих, и занимает столько же строк, сколько букв, цифр и других символов входит в состав слова.

На рис. 7.15 показан код слова "X + 987124". Числовая информация в слове записана в шести строках. Каждая строка соответствует десятичному разряду. Всего десятичных разрядов шесть: 10^5 , 10^4 , 10^3 , 10^2 , 10^1 , 10^0 . Учитывая, что значащие цифры десятичных разрядов записываются в виде суммы двоичных чисел, можно сказать, что числовая информация записывается в двоично-десятичном коде.

Витебский государственный технологический университет

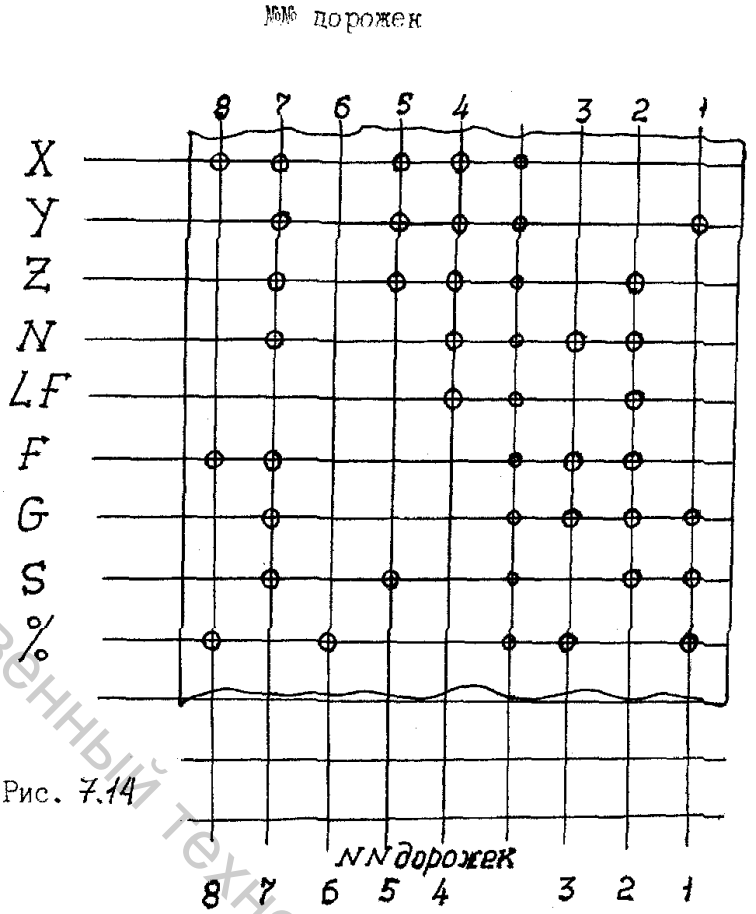


Рис. 7.14

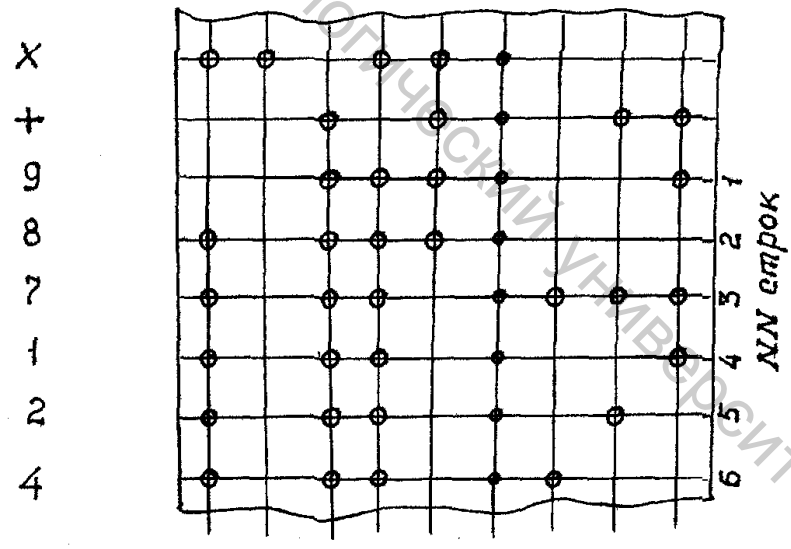


Рис. 7.15

Витебский государственный технологический университет

8.1. Устройства ввода и считывания программ

Назначение устройств ввода и считывания программ состоит в преобразовании программ, нанесенных на программоноситель в виде отверстий, намагниченных участков и т.п., в электрические сигналы.

На рис. 8.1 приведена схема фотосчитывающего устройства, предназначенного для ввода и считывания программ с перфолент [7]. Перфолента 1 заправляется между двумя роликами; транспортирующим 3 и прижимным 4. Транспортирующий ролик 3 приводится в движение от шагового электродвигателя (на рис. не показан). Ось прижимного ролика закреплена на рычаге. На этом же рычаге закреплен якорь 2 транспортного электромагнита 10. При подаче тока в обмотку транспортного электромагнита 10 якорь 2 притягивается к сердечнику, происходит прижим ролика 4 к транспортирующему ролику 3 и перемещение перфоленты со скоростью $V_л$. Узел считывания состоит из осветительной лампы 5, цилиндрической линзы 6 и блока фотодиодов 9. Осветительная лампа создает полоску света толщиной 0,3-0,5 мм по всей ширине перфоленты, а цилиндрическая линза фокусирует свет. В результате считывания на выходе электрической цепи блока фотодиодов 9 возникают электрические сигналы при наличии отверстий на соответствующей дорожке перфоленты. Торможение перфоленты по окончании считывания производится электромагнитным устройством, состоящим из якоря 7 и тормозного электромагнита 8.

Современные фотосчитывающие устройства обеспечивают скорость считывания до 200...300 строк в секунду при скорости движения ленты $V_л$ = 0,5...0,7 м/с.

На рис. 8.2 показана схема устройства для считывания с магнитной ленты. Магнитная лента транспортируется со скоростью $V_л$ с помощью лентопротяжного механизма (на рис. 8.2 не показан). Считывание информации с ленты производится с помощью магнитной головки, выполненной в виде электромагнита 2 и электрической цепи 3. Сердечник электромагнита имеет разрыв контура в виде зазора h = 0,01...0,02 мм. При попадании в зазор намагниченных участков дорожки ленты в соответствующей электрической цепи наводится э.д.с.

На рис. 8.3 показана схема устройства для считывания информации с магнитных дисков. Комплект дисков 1 закреплен жестко на валу 2, который вращается при считывании информации. Считывание производится комплектом магнитных головок 3, закрепленных на подвижной каретке 4. Каретка 4 жестко связана с сердечником линейного позиционного электродвигателя 5. Перемещение каретки 4 и магнитных головок происходит при переходе считывания с одной дорожки на другую.

Белорусский государственный технологический университет

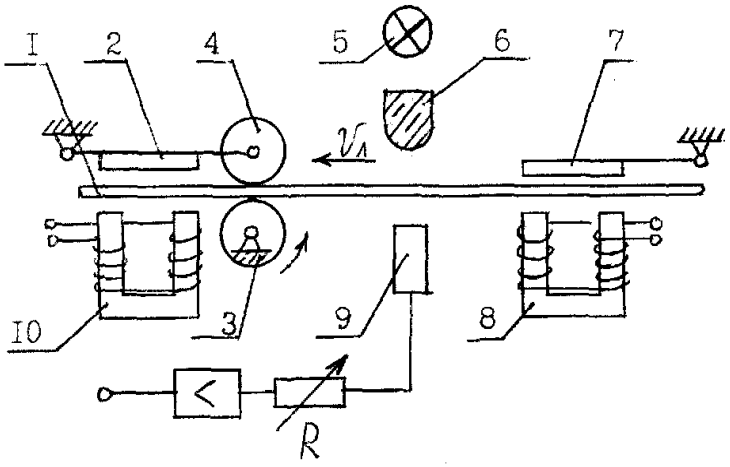


Рис. 8.1 - Схема фотосчитывающего устройства

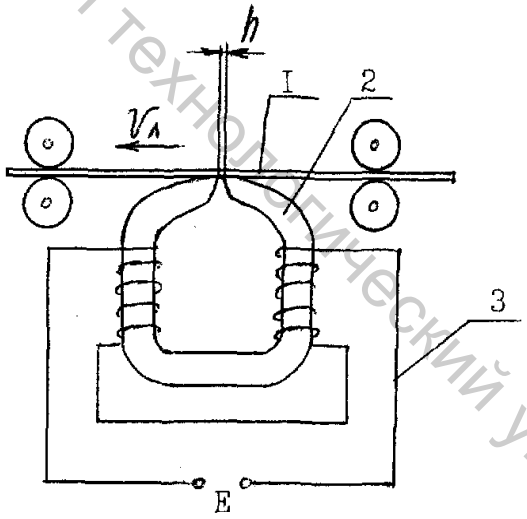


Рис. 8.2 - Схема устройства для считывания с магнитной ленты

Витебский государственный технологический университет

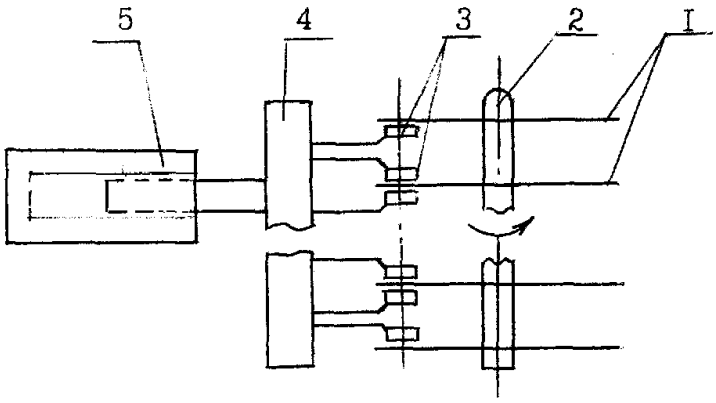


Рис. 8.3 - Схема устройства считывания с магнитных дисков

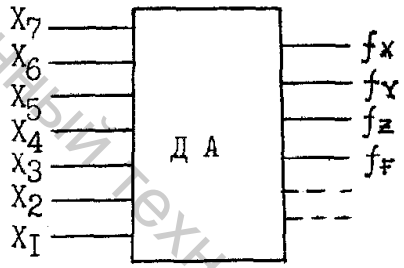


Рис. 8.4 - Схема дешифратора адресов

№№ сост	X_I	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	f_x	f_y	f_z	f_F
I	0	0	0	I	I	0	I	I	0	0	0
2	I	0	0	I	I	0	I	0	I	0	0
3	0	I	0	I	I	0	I	0	0	I	0
4	0	I	I	0	0	0	I	0	0	0	I

Рис. 8.5 - Таблица состояний дешифратора адресов

8.2. Дешифратор адресов

Витебский государственный технологический университет

Дешифратор адресов служит для преобразования импульсных электрических сигналов, коммутируемых адресной частью программы (см.рис. 7.14, 7.15) в потенциальный электрический сигнал (т.е. сигнал длительного действия) на выходе. Конструктивно дешифратор выполнен в виде логической системы, состоящей из комбинационных логических элементов и триггеров [7]. (рис. 8.4).

На вход дешифратора адресов поступают импульсные сигналы из электрических цепей фотодиодов считывающего устройства (см. рис. 8.1). Обозначим эти сигналы X_1, X_2,... X_7, где индексы 1, 2,...7 соответствуют номерам дорожек перфоленты (см. рис. 7.15), с которых считаны коды.

На выходах дешифратора адресов формируются потенциальные сигналы f_X, f_Y, f_Z, f_F,..., где индексы X, У, Z, F,... соответствуют адресу. Принцип действия дешифратора адресов поясняется таблицей состояний на рис. 8.5. Например, при считывании адреса X на входах дешифратора адресов появляется комбинация кодов (см. рис. 7.14) $X_1 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = 0$; $X_4 = 1$; $X_5 = 1$; $X_6 = 0$; $X_7 = 1$, при этом на выходе f_X появляется сигнал 1, на остальных выходах - сигналы 0. После снятия указанной комбинации входных кодов, код 1 на выходе сохраняется до прихода новой комбинации из указанных в таблице.

Выходные сигналы дешифратора адресов впоследствии используются в системе управления как входные для других блоков.

8.3. Оперативное запоминающее устройство

Оперативные запоминающие устройства $ОЗУ_X$, $ОЗУ_У$, $ОЗУ_Z$ служат для запоминания числовой информации о перемещениях, считанной с перфоленты (см.рис.7.15). Эта информация, как было сказано, записана на 6 строках перфоленты и преобразуется фотосчитывающим устройством (см. рис. 8.1) в импульсные электрические сигналы, поступающие на вход блока памяти перемещений. На выходе блока памяти перемещений после прохода всех импульсных сигналов получаем потенциальные сигналы, код которых полностью соответствует коду программы, записанной на перфоленте (рис. 7.15).

Пронумеруем строки той части программы, в которой записано число (987124 на рис. 7.15). Соответствующие коды сигналов строк будем обозначать $X_{i,j}$, где i - номер дорожки (i = 1,2,3,4), j- номер строки (j = 1,2,...,6). Например, $X_{2,5}$ - код второй строки пятой дорожки (на рис. 7.15 $X_{2,5} = 1$). Коды строки поступают на входы блока памяти перемещений одновременно (параллельный ход), а коды дорожки - последовательно (последовательный ход). Выходные сигналы блока памяти перемещений формируются на выходах триггеров в виде сигналов 0,1. Количество триггеров точно соответствует числу бит информации, содержащихся на перфоленте, т.е. равно 24 (4 бита на 6 строках).

На рис. 8.6 показано упорядоченное расположение триггеров, при этом триггер $T_{i,j}$ после считывания числа имеет на выходе состояние такое же, как

Витебский государственный технологический университет

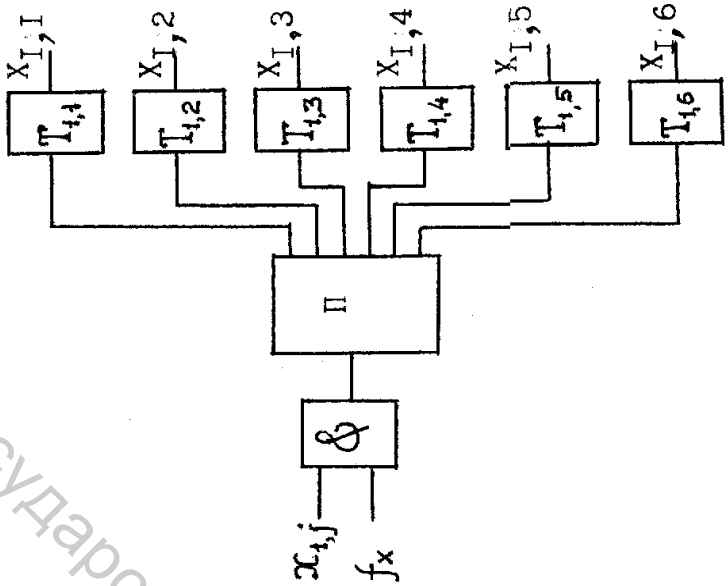


Рис. 8.7

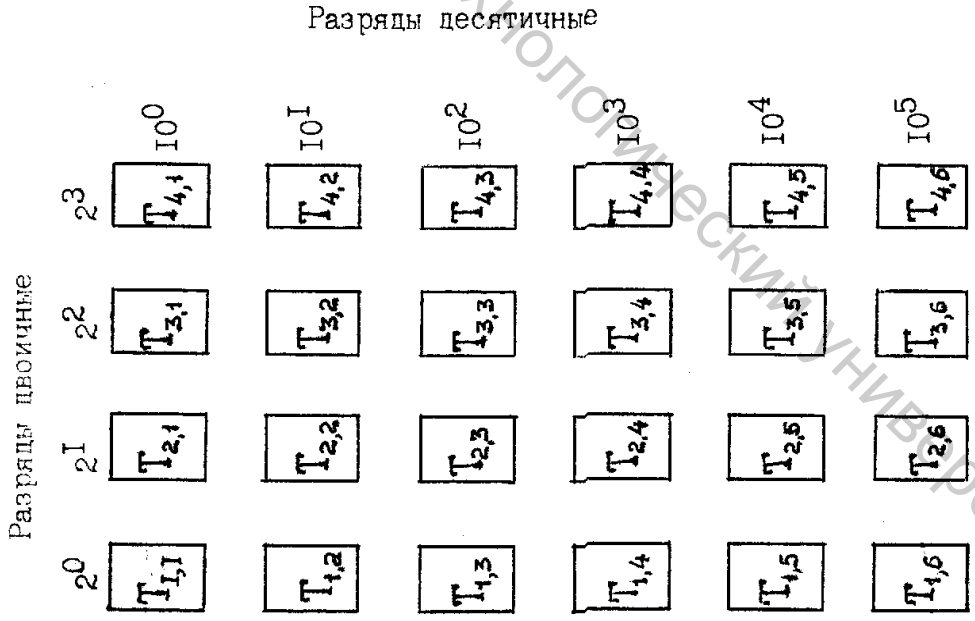


Рис. 8.6

Витебский государственный технологический университет

код сигнала $X_{i,j}$. Таким образом, каждый импульсный сигнал $X_{i,j}$, подаваемый на вход блока памяти перемещений, записывается в виде потенциального сигнала на выходе триггера $T_{i,j}$.

В соответствии с записанным кодом программы вертикальные ряды триггеров содержат информацию о двоичных разрядах кода числа, а горизонтальные - информацию о десятичных разрядах кода числа. Принцип действия одного из каналов блока памяти перемещений поясняется схемой на рис. 8.7. Этот канал записывает информацию о двоичном разряде 2^0 числа. Канал состоит из элемента «И», системы элементов П и шести триггеров. На вход элемента «И» поступает последовательный код $X_{i,j}$ (j = 1,2,... ,6) и сигнал f_X с дешифратора адреса. При f_X = 1 дается разрешение на ввод соответствующего кода числа. Сигналы $X_{i,j}$ при f_X = 1 проходят на вход системы элементов П, на выходах которой последовательно коммутируются сигналы $X_{1,1}$, $X_{1,2}$,...$X_{1,6}$, поступающие на входы триггеров соответственно $T_{1,1}$, $T_{1,2}$,...$T_{1,6}$.

8.4. Блок задания скорости

Блок задания скорости предназначен для выдачи в интерполятор импульсов заданной частоты в соответствии с заданной скоростью подачи или законом ее изменения.

В системах ЧПУ, предназначенных для работы с частотами до 800 Гц, как правило, не требуется иметь плавных разгонов и торможений. Блок задания скорости таких систем ЧПУ выполнен по схеме, представленной на рис. 8.8. Он состоит из мультивибраторов G1, G2, G3, G4, выдающих частоты, отличающиеся друг от друга в 1,19 раза. Выходы мультивибраторов подаются на вход блока управления частотой БУЧ. На другие входы БУЧ подаются коды из блока памяти скоростей. Оперативное запоминающее устройство скоростей аналогично устройству ОЗУ перемещений. На выходе БУЧ формируются импульсы с частотой одного из мультивибраторов. В дальнейшем эти импульсы поступают в делитель частоты ДЧ, где осуществляется деление частоты импульсов на коэффициенты 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 в соответствии с кодами, поступающими на входы ДЧ с регистров блока памяти скоростей. В результате на выходе БЗС формируются импульсы с частотой, соответствующей коду скорости подачи по контуру.

В том случае, когда требуется обеспечивать разгон и торможение приводов, используются более сложные схемы, обеспечивающие заданный закон изменения частоты импульсов [7].

8.5. Устройство преобразования кодов

Устройство преобразования информации большого формата может производиться методом вычислений с помощью специального процессора.
Преобразование двоично-десятичного кода в двоичный реализуется методом суммирования и вычитания двоичных констант [7].

Белорусский государственный технологический университет

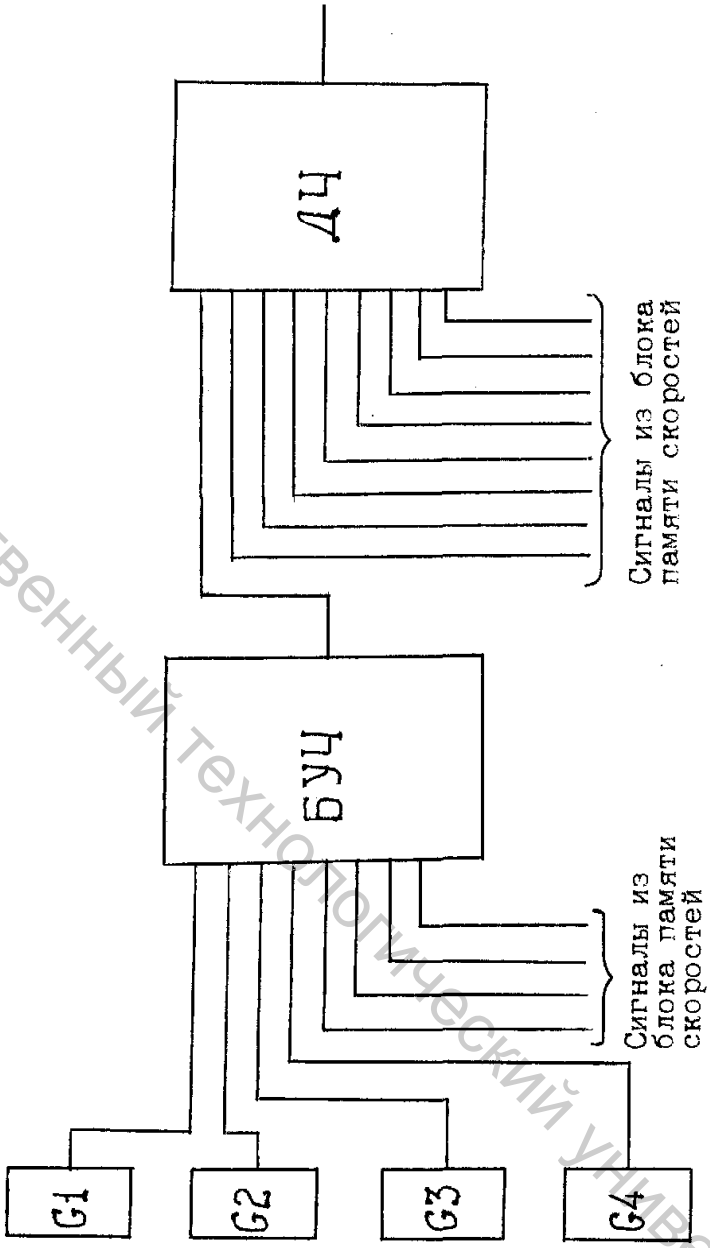


Рис. 8.8

Витебский государственный технологический университет

На рис. 8.9 представлена структурная логическая схема преобразователя, преобразователь включает в себя следующие функциональные узлы: регистр преобразуемого числа РПЧ; счетчик циклов СчЦ, подсчитывающий число циклов суммирований или вычитаний в разряде; узел сравнения УС, который выполняет сравнение состояния СчЦ и состояния РПЧ; счетчик строк СчС, подсчитывающий число строк преобразуемого числа и формирующий соответствующую двоичную константу; шифратор констант ШК, обеспечивающий формирование и выдачу двоичной константы Рз1…Рз19 в сумматор (табл. 8.1); узел установки нуля и начальной строки УУННС, выполняющий сброс счетчиков СчЦ и СчС в нулевое состояние и установку начальной строки счетчика строк согласно старшему разряду преобразуемого числа; сумматор См и регистр-накопитель РгН, обеспечивающий суммирование констант и запись накопленной суммы или остатка в регистр-накопитель; регистр-накопитель РгН, обеспечивающий хранение преобразованного числа или преобразуемого.

Таблица 8.1

№ строк	Набор стробов	Десятичная константа	Двоичная константа
1	С17, С16, С11, С10, С8, С6	100 000	0011000011010100000
2	С14, С11, С10, С9, С5	.10 000	0000010011100010000
3	С10, С9, С8, С7, С6, С4	..1 000	0000000001111101000
4	С7, С6, С3	… 100	0000000000001100100
5	С4, С2	….10	0000000000000001010
6	С1	……1	0000000000000000001

Преобразование кодов в устройстве преобразования происходит по следующему алгоритму. По сигналу «Начало» счетчик циклов СчЦ и строк СчС устанавливаются в нулевое положение, при этом число, введенное в регистр РгПЧ, устанавливает счетчик строк СчС в состояние начальной строки, соответствующему старшему разряду (10^6) числа. По команде СчС шифратор констант ШК вырабатывает соответствующую двоичную 19-разрядную константу Рз1— Рз19 (см. табл. 8.1).

В режиме преобразования суммируемая двоичная константа будет засылаться в сумматор См в каждом цикле, складываться с предыдущим числом и перезаписываться в регистр-накопитель РгН. Каждый цикл суммирования фиксируется счетчиком циклов СчЦ. Содержание последнего i сравнивается с цифрой А преобразуемого разряда в СчС. Если i = A , то схема сравнения вырабатывает сигнал смены строки в СчС. Счетчик строк СчС при смене строки вырабатывает новую константу, и цикл суммирования двоичных констант повторяется. Число суммирований констант в новом разряде также будет равно цифре преобразуемого числа и т. д. Когда счетчик строк СчС установится в нулевое состояние, преобразование прекратится и полученное двоичное число из регистра-накопителя передается в соответствующий регистр того или иного устройства.

Витебский государственный технологический университет

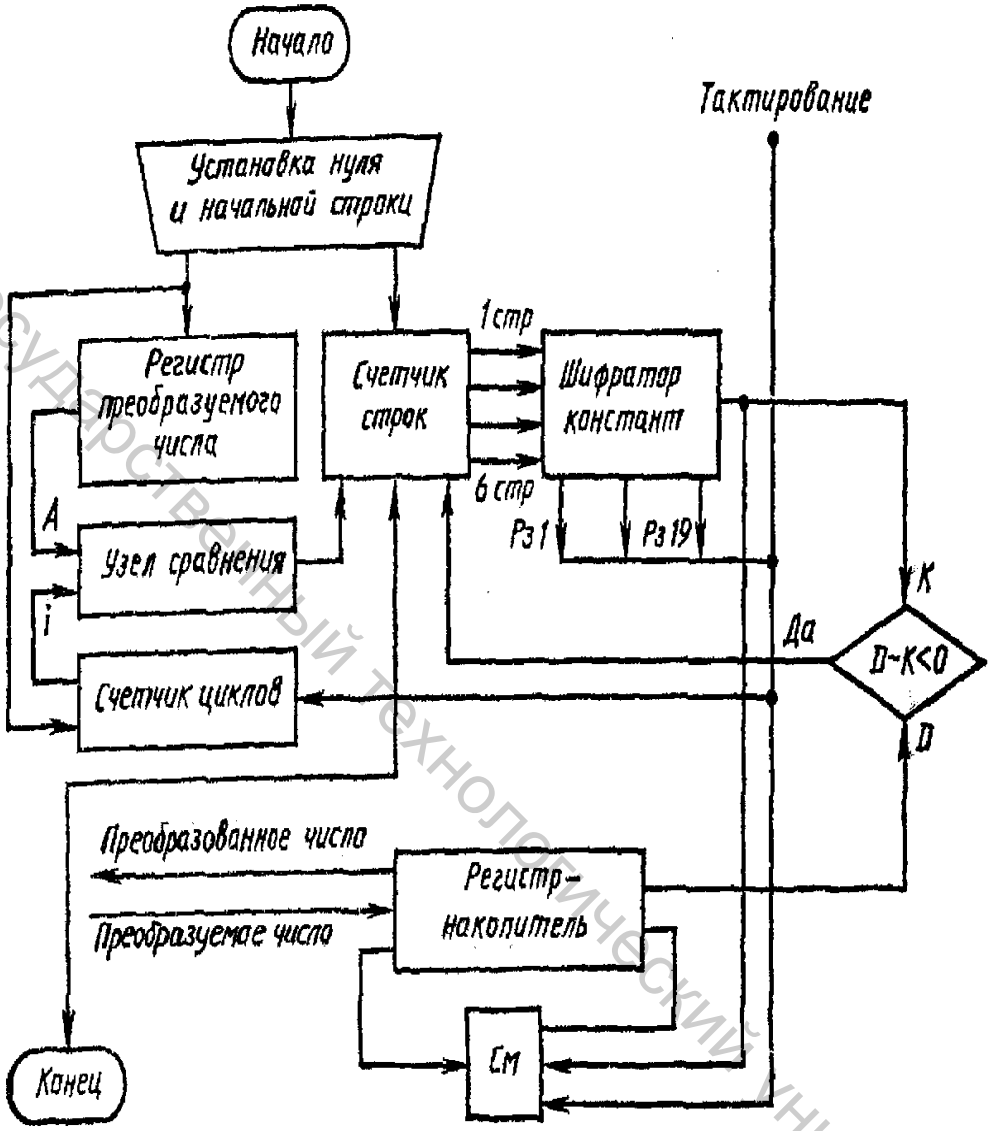


Рис. 8.9 Структурная логическая схема преобразователя методом суммирования и вычитания констант

Витебский государственный технологический университет

При обратном преобразовании двоичное число засылается в регистр-накопитель и счетчик строк устанавливается в состояние старшей строки. Выработанная константа шифратором констант сравнивается в схеме сравнения с преобразуемым двоичным числом (D). Если D — К < О (D — преобразуемое двоичное число, К — константа), то происходит переход на новую строку с выработкой младшей константы и т. д. Если D — К ≥ 0, то начинается вычитание констант до тех пор, пока не будет выполнено условие D — К < О (остаток преобразуемого числа меньше вычитаемой константы). Число вычитаний константы фиксирует счетчик циклов, который через дешифратор передает преобразованный десятичный разряд на индикатор и т. д.

Когда шифратором констант вырабатывается младшая константа и после ее вычитания А раз создается условие Д — К < О, счетчик строк устанавливается в нулевое состояние и преобразование заканчивается. В некоторых УЧПУ преобразование кодов осуществляется с помощью процессора и регистров преобразователя. В данном случае алгоритм преобразования имеет следующее содержание (рис. 8.9). Введенное двоичное число в сдвиговом регистре (сдвиговый регистр хранит преобразуемое число) потетрадно сдвигается вправо (деление на два). Если в старшем разряде тетрады есть остаток, то тетрада следующего разряда корректируется путем суммирования тетрады с числом пять. Кроме того, если в младшей тетраде есть остаток, то в сдвиговый регистр-накопитель записывается единица и тактом записи производится сдвиг числа в сдвиговом регистре на один разряд. Если в младшей тетраде остатка нет, то в сдвиговом регистре-накопителе тактом записи производится сдвиг только на один разряд. После полного преобразования двоично-десятичного кода счетчик тактов дает сигнал об окончании преобразования и перезаписи преобразованного числа из сдвигового регистра накопителя в соответствующий регистр.

В таблице 8.2 приведен пример преобразования десятичного числа 975 в двоичное, где указаны действия в каждом такте преобразования и состояние сдвигового регистра накопителя в процессе преобразования.

Рассмотрим работу устройства преобразования двоично-десятичного кода в десятичный (соответствующее число импульсов). Блок преобразования состоит из шести декад (рис. 8.10). Каждая декада, в свою очередь, (рис. 8.11), состоит из двоично-десятичного счетчика, элементов "И" и "ИЛИ". Двоично-десятичный счетчик (рис. 8.12) включает в себя элемент "И", счетные триггеры T_1, T_2, T_4. и I-К триггер с динамическими входами. Принцип действия счетного триггера Т (рис. 8.13а) с динамическим входом поясняется временными диаграммами состояний его входа Х и выхода f (рис. 8.13б). Изменение уровней сигнала на выходе f триггера производится задним фронтом импульса на входе Х, т.е. при изменении уровня входного сигнала с 1 на 0.

Из диаграммы видно, что число импульсов на выходе триггера в 2 раза меньше числа импульсов на входе за один и тот же период времени. Поэтому счетный триггер Т может применяться как делитель частоты импульсов на два.

Принцип действия I-К триггера (рис. 8.14а) поясняется временными диаграммами состояний его входов X_1 (I) и X_2 (К) и выхода f (рис. 8.14б). Из

Белгородский государственный технологический университет

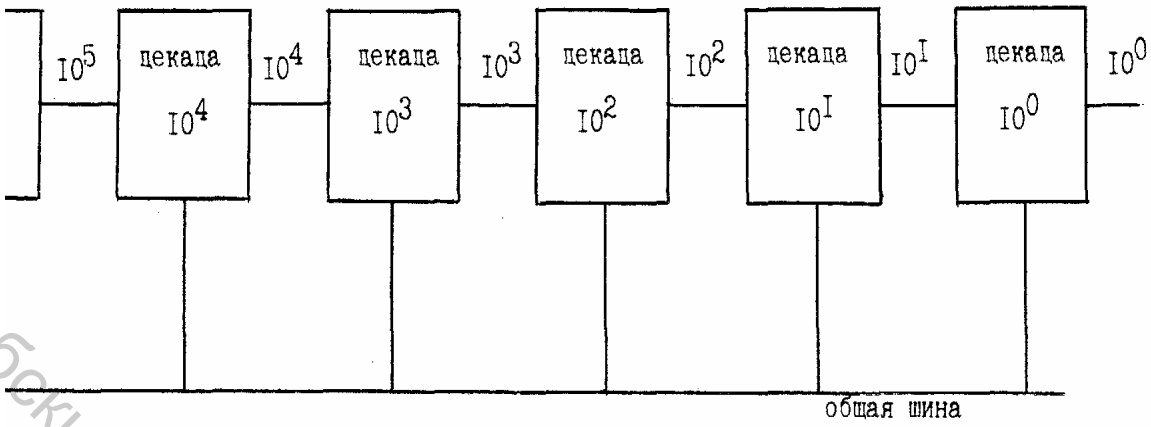


Рис. 8.10

Таблица 8.2

Таблица преобразования кодов

Такты работы	Десятичный код	Двоично-десятичный код (преобразуемый)	Двоичный код в сдвиговом регистре накопителя
Начало 1Т	9 7 5 4,5,3,525	0111 0101 0100,1 00111 0010,1	1000000000
Коррекция 2Т	4 8 7 2 4 3,5	0100 1000 0111 0010 0100 0011,1	1000000000
Коррекция 3Т	2 4 3 1 2 1,5	0010 0100 0011 0001 0010 0001,1	1111000000
Коррекция 5	2 1 0,51 0,5	0001 0010 0001 0000,1 0001 0000,1	0111100000
Коррекция 5Т	6 0 0 3 0	0000 0110 0000 0000 0011 0000	1101111000
Коррекция 6Т	3 0 01,50	0000 0011 0000 0000 0001,1 0000	1001111000
Коррекция 7Т	1 5 00,5 2,5	0000 0001 0101 0000 0000,1 0010,1	1001111000
Коррекция 8Т	0 7 0 0 3,5	0000 0000 0111 0000 0000 0011,1	11001111000
Коррекция 9Т	0 3 0 0 1,5	0000 0000 0011 0000 0000 0001,1	11100111100
Коррекция 10Т	0 1,5 0 0 0,5	0000 0000 0001,1 0000 0000 0000,1	1111001111
Конец	0 0 0	0000 0000 0000	1111001111

Витебский государственный технологический университет

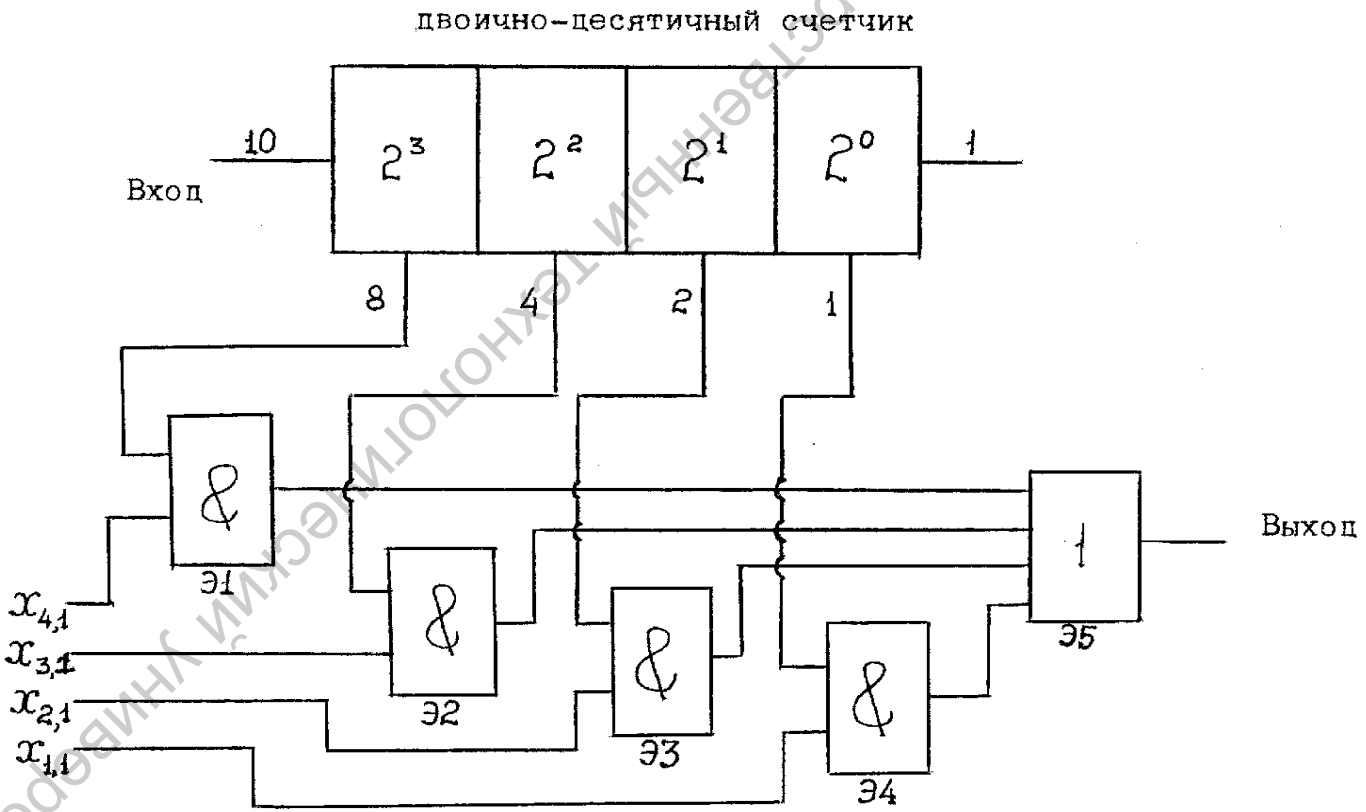


Рис. 8.11

Витебский государственный технологический университет

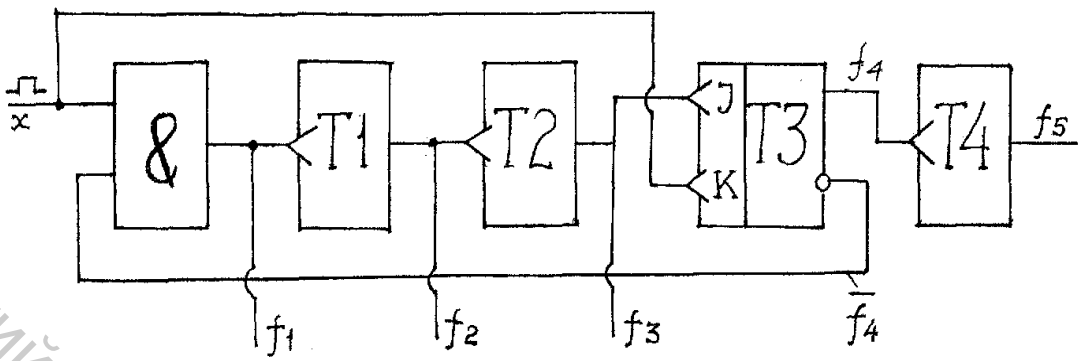


Рис. 8.12

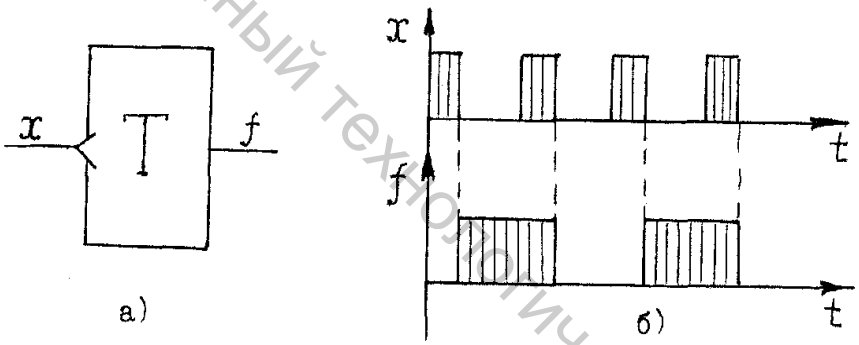


Рис. 8.13

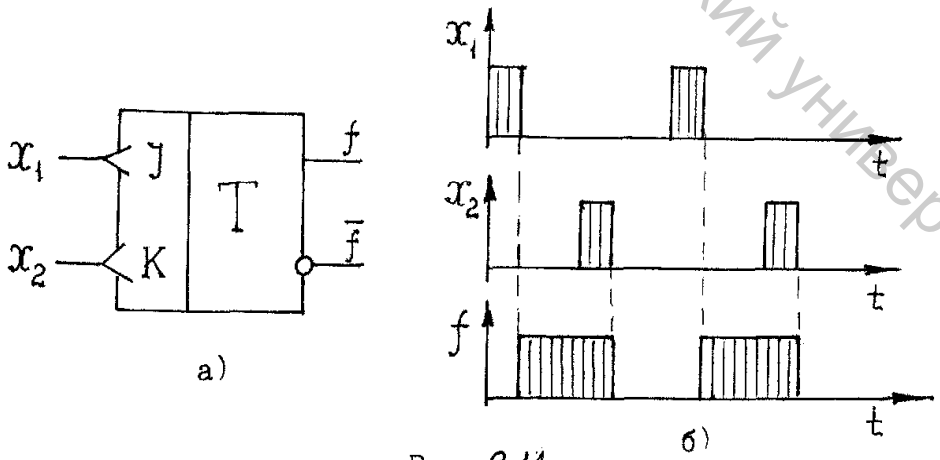


Рис. 8.14

Витебский государственный технологический университет

диаграмм видно, что входные импульсы $X_1(I)$ своим задним фронтом устанавливают выход f в состояние 1, а входные импульсы X_2 (К) своим задним фронтом устанавливают выход в состояние 0.

Работа двоично-десятичного счетчика (рис. 8.15) поясняется временными диаграммами входного сигнала X и выходных сигналов f_1, f_2, f_3, f_4, f_5. Обратим внимание на то, что каждый 5-й входной сигнал не проходит через элемент "И" вследствие обратной связи между элементом "И" и триггером T_3, т.к. на выходе f_4 последнего к этому моменту появляется сигнал 0, передаваемый на второй вход элемента "И", вследствие чего последний "закрывается".

Из диаграмм видно, что при поступлении на вход X каждых десяти импульсов на выходах f_1, f_2, f_3 и f_5 проходят соответственно, 8, 4, 2 и 1 импульс, что соответствует 2^3, 2^2, 2^1 и 2^0 . На рис. 8.11 двоично-десятичный счетчик показан условно в виде прямоугольника, разделенного на четыре регистра (по числу выходов с двоичным кодом). Выходы счетчика подаются на входы четырех элементов "И", на вторые входы этих элементов поданы сигналы с выходов двоичных регистров соответствующего десятичного разряда блока памяти перемещений (см. рис. 8.7), в данном случае разряда 10^0 . Сигналы с выходов элементов "И" подаются на вход элемента "ИЛИ". Таким образом, входом декады является вход двоично-десятичного счетчика, а выходом - выход элемента "ИЛИ". При подаче на вход декады 10 импульсов пройдут с выходов счетчика, соответственно, 8, 4, 2 и 1 сигнал, а через элементы "И" сигналы проходят только в том случае, если на вторых входах этих элементов "И" поданы сигналы 1, т.е. в соответствующих двоичных разрядах блока памяти перемещений записаны 1.

Пусть, например, в программе перемещений в разряде 10^0 записано число 7, что соответствует коду 1 в разрядах 2^0, 2^1 и 2^2 перфоленты (см. рис. 7.15) и в выходах $X_{1,1}$; $X_{2,1}$; $X_{3,1}$ блока памяти перемещений. В этом случае через элементы Э2, Э3, Э4 пройдет 4+2+1 импульсов, а на выходе элемента Э5 получим 7 импульсов, т.е. число импульсов, равное коду числа, записанного в программе.

В блоке декад (см. рис. 8.10) декады изображены в виде прямоугольников с одним входом и двумя выходами. Первый выход каждой декады (вертикальная прямая) соответствуют выходу с элемента Э5 (см. рис. 8.11), а второй (горизонтальная прямая) - выходу с элемента Т4 (см. рис. 8.12). На втором выходе каждой декады имеем число импульсов в 10 раз меньшее, чем на входе, на первом выходе -число импульсов, соответствующее числу, записанному в соответствующем десятичном разряде. Например, если в программе перемещений записано число импульсов 871536, то при поступлении на вход декады 10^5 числа импульсов, равного 10^6 получим на выходе декады 10^5 импульсов, поступающих на вход декады 10^4 и т.д. и на вторых выходах декад числа $8\cdot10^5$, $7\cdot10^4$, $1\cdot10^3$, $5\cdot10^2$, $3\cdot10^1$, $6\cdot10^0$ соответственно. Эти импульсы поступают на общую шину и затем - на вход коммутирующего устройства.

Витебский государственный технологический университет

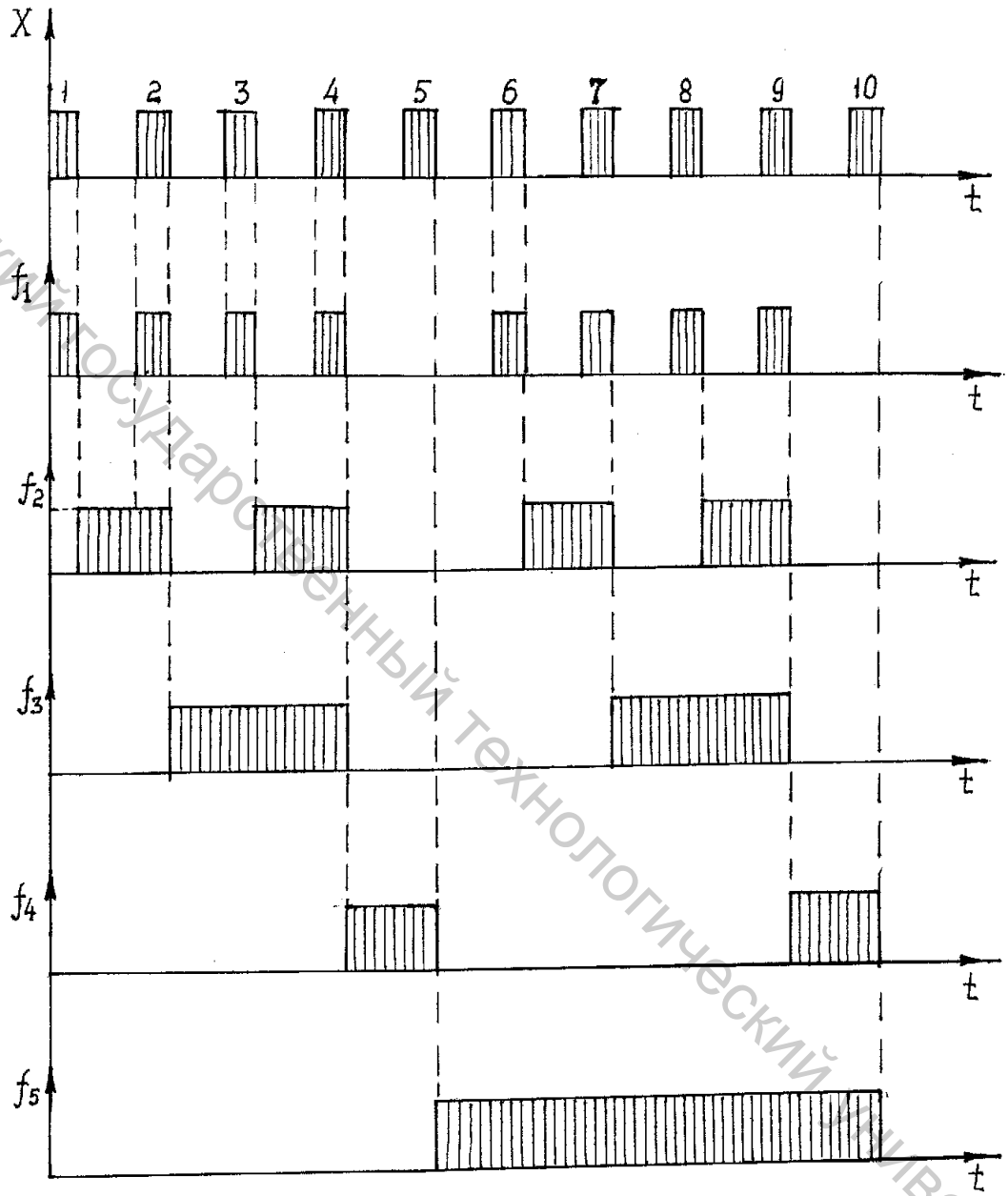


Рис. 8.15

Витебский государственный технологический университет

8.6. Интерполятор

Интерполятор представляет собой специализированный процессор для расчета траектории движения рабочих органов и выдачи управляющих импульсов на координаты, чтобы обеспечить движение по расчетной траектории с заданными значениями перемещений, выработку сигнала конца отработки кадра.

Блок-схема линейно-кругового интерполятора представлена на рис. 8.16. Импульсы заданной частоты f поступают на вход процессора П. Процессор представляет собой вычислительное устройство, которое по заданному алгоритму распределяет импульсы по каналам управления координатами (блокам электронных коммутаторов БЭКх, БЭКу, БЭКz). Эта процедура распределения импульсов называется интерполяцией.

Наиболее распространены два метода интерполяции:

1) метод оценочной функции;

2) метод цифрового дифференциального анализатора.

От распределения импульсов зависит траектория движения, поэтому задача распределения состоит в том, чтобы как можно точнее воспроизвести заданную траекторию: прямую или дугу окружности. Если распределение имеет целью приблизиться к траектории в виде отрезка прямой, интерполяция называется линейной, если - к дуге окружности, интерполяция называется круговой.

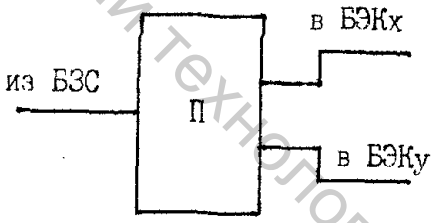


Рис. 8.16- Блок-схема интерполятора

Рассмотрим алгоритм линейной интерполяции по методу оценочной функции. Пусть на участке движения требуется отработать траекторию в виде отрезка прямой (рис. 8.17), при этом перемещение по координате X составляет m дискрет, а по оси У - n дискрет. На рис. 8.17 идеальная траектория показана в виде отрезка $ОК_{m,n}$, где конечная точка $К_{m,n}$, имеет координаты X = m, У = n, выраженные в целых числах дискрет. Уравнение прямой: У = КХ, где К = $У_n/X_m$. Фактически отрабатывается траектория в виде ступенчатой линии (см. рис. 8.17), на которой направления движения на каждом шаге показаны стрелками. Текущая точка реальной траектории $К_{i,j}$ имеет координаты X_i = i; $У_j$ = j. В качестве оценочной функции для текущей точки $К_{i,j}$ принимается выражение: $F_{i,j} = (y_j - y_n \cdot x_i / x_m) \cdot x_m = x_m \cdot y_j - y_n \cdot x_i$

Витебский государственный технологический университет

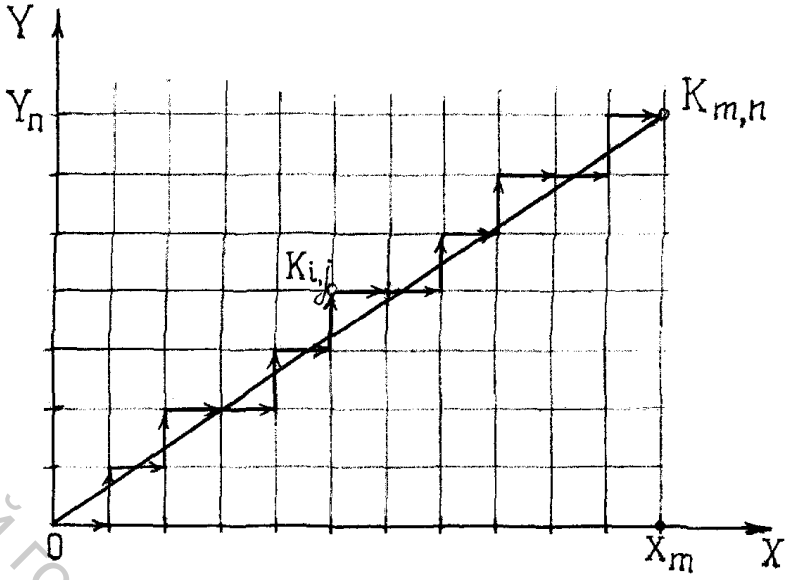


Рис. 8.17

Из выражения видно, что в скобках стоит разность координат точек, расположенных на фактической и идеальной траекториях. Умножение скобки на X_m выполнено для избавления от дробного коэффициента. Алгоритм отработки координат выражается неравенствами:

если $F_{i,j} \geq 0$, то идти по X: $X_{i+1} = X_i + 1$,

если $F_{i,j} < 0$, то идти по У: $У_{j+1} = У_j + 1$.

На графике (см. рис. 8.17) фактическая траектория вычерчена в соответствии с алгоритмом: если текущая точка траектории расположена на прямой или выше, то следующий шаг выполняется по оси X, если эта точка расположена ниже, прямой, то следующий шаг выполняется по оси У.

При круговой интерполяции по методу оценочной функции ставится задача приближения траектории к дуге окружности радиуса R (в дискретах), проведенной между точками $К_{Р,0}$, $К_{m,n}$. Координаты этих точек, соответственно: Хр, Y_0 и X_m, $У_n$: выражаются целыми числами дискрет.

В качестве оценочной функции принимается выражение $F_{i,j} = x_i^2 + y_j^2 - R^2$.

Алгоритм отработки координат выражается неравенствами:

если $F_{i,j} \geq 0$, то идти по X: $X_{i+1} = X_i - 1$,

если $F_{i,j} < 0$, то идти по У: $У_{j+1} = У_j + 1$.

На рис. 8.18 фактическая траектория вычерчена в виде ступенчатой кривой, построенной в соответствии с указанным алгоритмом: если текущая точка $К_{i,j}$ траектории расположена на дуге окружности или выше, то очередной шаг выполняется по оси X, если ниже дуги окружности, то по оси У.

Интерполяция по методу цифрового дифференциального анализатора выполняется следующим образом. Коды приращений по координатам X и У представляются в виде правильной дроби в двоично-десятичном коде. При этом запятая устанавливается перед старшим из значащих разрядов кода приращений. Число N интервалов на участке интерполяции принимается равным 2^n, где n - порядковый номер старшего двоичного разряда кода

Витебский государственный технологический университет

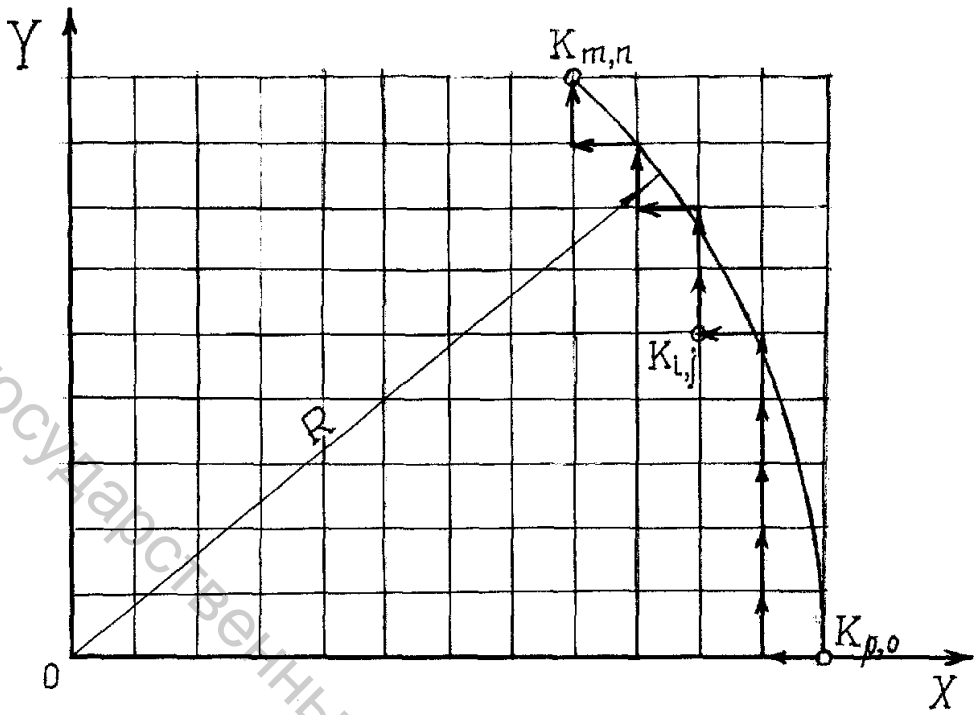


Рис. 8.18

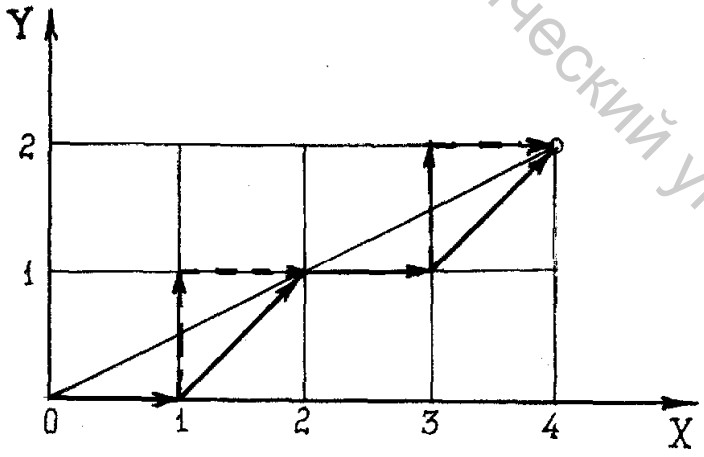


Рис. 8.19

Витебский государственный технологический университет

перемещений. Например, при X = 1024, У = 32 коды представляются, соответственно, в виде чисел: 0,1000000000; 0,0000100000. При этом n = 10, N = 2^{10} = 2048. Число N записывается в рабочий регистр конца отработки кадра (РРКОК). С каждым циклом сложения из содержимого РРКОК вычитается 1. Интерполяция прекращается при содержимом РРКОК, равном 1, т.е. интерполяция начинается за один цикл до записи числа в РРКОК.

Пример. X = 4; У = 2. Числа X и У записаны в рабочем регистре в двоичном коде: 0100, 0010. Старший значащий разряд - третий:

n = 3; N = 2^3 = 8. Двоичный код N: 1000. Коды X и У представляются в виде неправильных дробей: 0,100 и 0,010. Ход вычислений представлен в таблице 8.3.

Таблица 8.3

№№ циклов	Содержимое регистров накопителей и переносов		Содер-жимое РРКОК	Рассчитанный путь	
	X = ∑ 0,4	У = ∑ 0,2		X	У
1	000,100	000,010			
2	001,000	000,100	1000	1	
3	001,100	000,110	0111		
4	010,000	001,000	0110	2	1
5	010,100	001,010	0101		
6	011,000	001,100	0100	3	
7	011,100	001,110	0011		
8	100,000	010,000	0010	4	2
			0001		

Выдача шага по координате производится при изменении содержимого целой части двоичного числа в содержимом регистре X и У.

На рис. 8.19 в виде сплошной ломаной линии показана фактическая траектория движения на отрабатываемом кадре по изложенному методу. Пунктиром показана траектория движения по методу оценочной функции.

8.7. Блок электронного коммутатора

Блок электронного коммутатора предназначен для преобразования последовательности импульсов, поступающих из интерполятора (см. рис. 8.16), в сигналы возбуждения обмоток шагового электродвигателя. На вход блока электронного коммутатора поступают импульсы заданной частоты, с выходов - согласованные последовательности импульсов. Блок электронного коммутатора состоит из элементов "И", "ИЛИ", счетных триггеров, формирователей прямоугольных импульсов. На рис. 8.20 выходы БЭК поименованы фазами А, В и С. На рис. 8.21 представлены временные диаграммы состояний входных и выходных сигналов БЭК для трехтактной и шеститактной коммутаций. При трехтактной коммутации (рис. 8.21а) в каждом такте возбуждена только одна из трех фаз. При шеститактной коммутации (рис. 8.21б) в тактах происходит поочередная коммутация одной и двух фаз. Вид коммутации, как это будет показано, влияет на параметры движения ШЭД.

Витебский государственный технологический университет

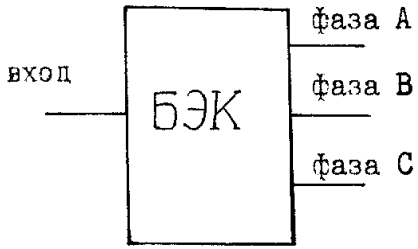


Рис. 8.20

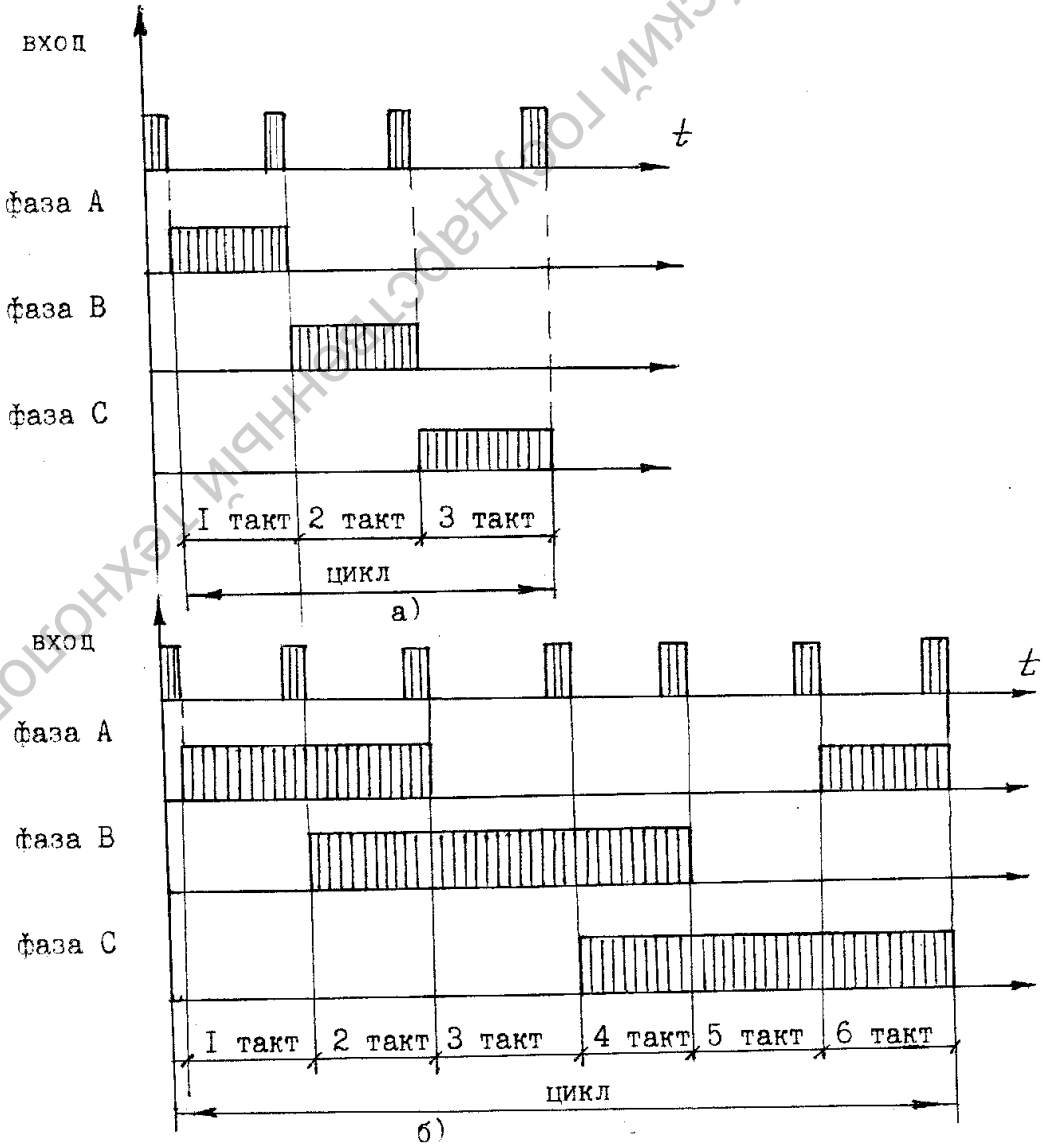


Рис. 8.21

Витебский государственный технологический университет

9 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СИСТЕМ ЧПУ

9.1. Шаговые электродвигатели

В рамках настоящей методической разработки рассмотрим принцип действия шагового электродвигателя (ШЭД) с зубчатым ротором. Более подробно с другими типами ШЭД, их устройством и работой можно ознакомиться в [8].

Принципиальная схема ШЭД показана на рис. 9.1. Ротор 1 представляет собой цилиндр, выполненный из ферромагнетика (постоянного магнита). На боковой части ротора нарезаны зубцы с угловым шагом
$\alpha = 360°/ Z$, где Z - число зубцов. Статор состоит из корпуса 2 и прикрепленных к нему пар полюсов 3, 4 и 5, выполненных из электротехнической стали. Полюса охватываются катушками из проводников. Проводники катушек каждой пары полюсов составляют единую электрическую цепь (обмотку полюса), выводы которой присоединены к общей шине и к выходам блока электронного коммутатора (через усилители мощности). На рис. 9.1 показаны три пары полюсов и соответствующие обмотки, выводы которых поименованы аналогично выходам блока электронного коммутатора: A, B и C.

На внутренней цилиндрической части полюсов нарезаны зубцы с тем же угловым шагом α, что и в роторе (рис. 9.2). Особенность взаимного расположения полюсов на статоре 2 состоит в том, что зубцы полюсов 3 (фаза А) сдвинуты на 1/3 углового шага α относительно зубцов полюсов 4 (фаза В), последние сдвинуты на 1/3 углового шага относительно зубцов полюсов 5 (фаза С) и, наконец, зубцы полюсов 5 сдвинуты на 1/3 углового шага относительно зубцов полюсов 3 (фаза А).

Работа ШЭД при трехтактной коммутации (см. рис. 8.21а) происходит следующим образом.

При коммутации обмотки полюсов 3 (фаза А) в воздушном зазоре между зубцами полюса 3 и ротора возникает магнитное поле, силовые линии которого устанавливают зубцы ротора точно против зубцов полюсов 3.

При коммутации обмотки полюсов 4 (фаза В) зубцы ротора устанавливаются точно против зубцов полюсов 4, при этом ротор проворачивается на 1/3 углового шага α. При коммутации обмотки полюсов 5 (фаза С) происходит поворот ротора еще на 1/3 α и т.д.

При шеститактной коммутации фаз (см. рис. 8.21б) происходит возбуждение сначала одной фазы (например А), затем двух фаз (А и В). При этом ротор поворачивается за один такт коммутации на 1/6 углового шага α, так как при одновременном воздействии магнитных полей двух пар полюсов (А и В), зубцы которых сдвинуты на $\alpha/3$, равнодействующая сила устанавливает ротор в промежуточное положение между положениями, которое бы он занимал при возбуждении только фазы А и В. В общем случае угол поворота ротора за один такт коммутации составит $\Delta\alpha = 360°/Z \cdot m$, где m – число тактов коммутации в цикле. При частоте тактов f происходит вращение ротора с угловой скоростью $\omega = (2\pi/Z \cdot m) \cdot f = \Delta\alpha \cdot f$.

Витебский государственный технологический университет

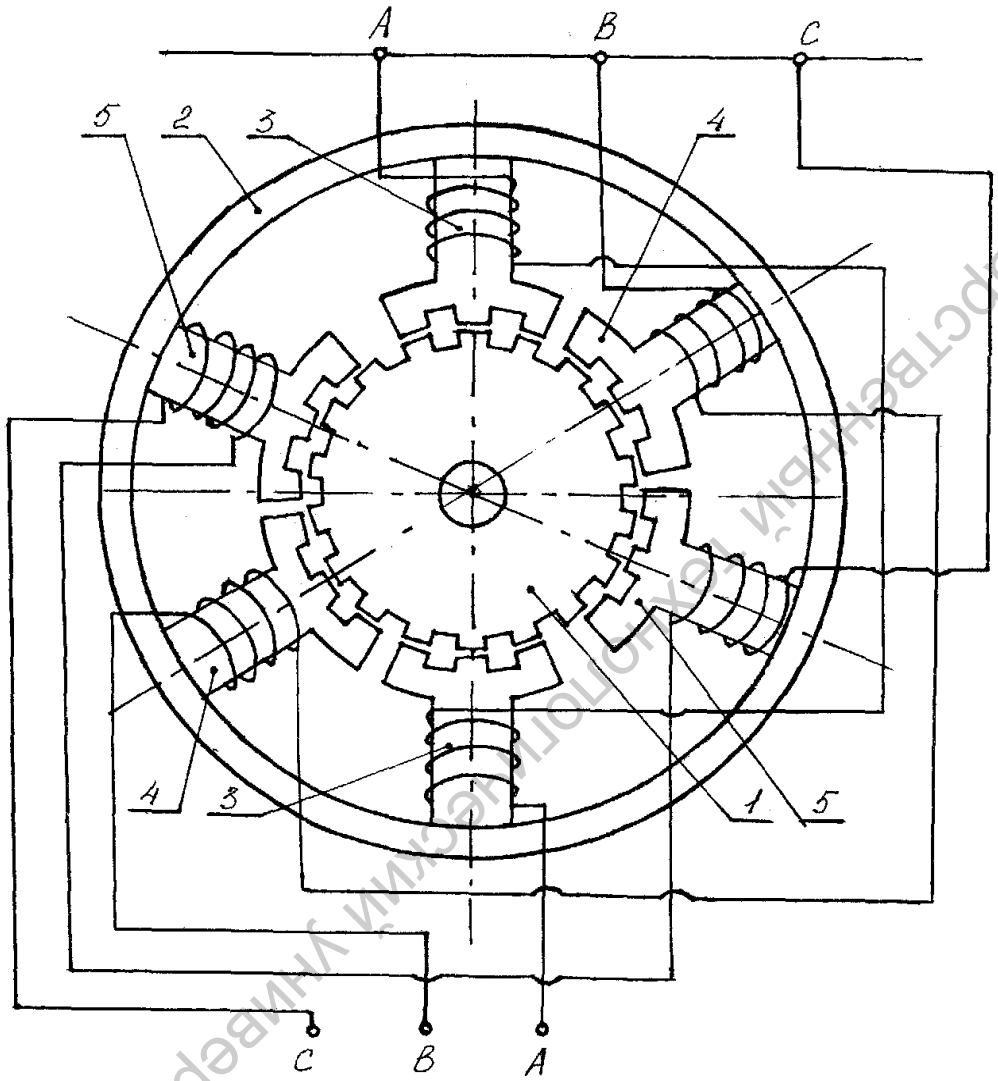


Рис. 9.1

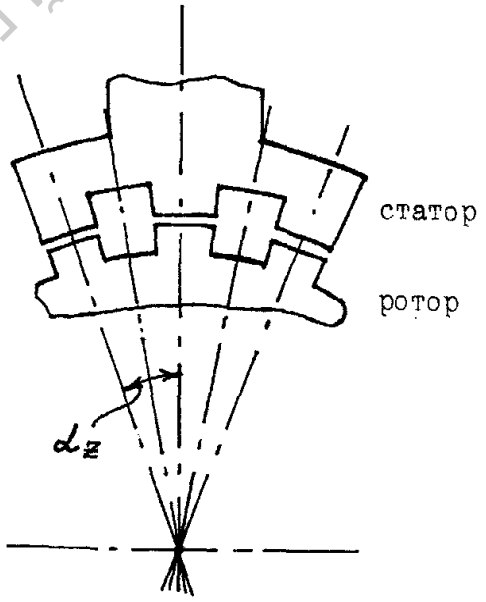


Рис. 9.2

Витебский государственный технологический университет

К основным показателям шаговых электродвигателей можно отнести следующие. Максимальный статический момент Мст.max – момент, развиваемый на валу ротора в неподвижном его состоянии при возбужденной обмотке статора. Максимальная приемистость – частота управляющих импульсов, до которой ротор ШЭД плавно разгоняется, сохраняя при этом величину Мст.max. Шаг Δα – угол поворота ротора ШЭД за один такт коммутации. В таблице 9.1 приведены показатели трех типов ШЭД.

Таблица 9.1

Наименование показателей	ДШ-200-0,5	ДШИ-200-3	ДШР-60-0,16
Максимальный статический момент, Н·м	0,36	0,7	0,8
Максимальная приемистость, Гц	920	920	1000
Шаг, мин	108±5,4	108±3,2	108±1,8
Момент инерции ротора, кг·м^2	$1{,}55\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$2{,}7\cdot10^{-5}$
Номинальное напряжение питания фазы, В	24	24	48
Амплитудное значение тока фазы, А	0,75	2	4

9.2. Механические характеристики шаговых электродвигателей

График зависимости момента Мд на валу ШЭД от частоты f управляющих импульсов или угловой скорости ротора $\omega = f \cdot \Delta\alpha$ называется механической характеристикой. Механическую характеристику строят на основании результатов эксперимента.

Различают статические и динамические механические характеристики ШЭД. При исследовании статических механических характеристик измеряют Мд при установившемся режиме работы, т.е. при f = const (ω = const). Изменяют f в заданном диапазоне и для каждого фиксированного значения f определяют такой момент на валу ШЭД, при котором не происходит потеря управляющих импульсов. Графики статических механических характеристик для ШЭД различных типов приведены на рис. 9.3.

Швейные электродвигатели швейных полуавтоматов работают в старт-стопном режиме, характеризующемся кинематическими диаграммами, приведенными на рис. 9.4.

При повороте ротора ШЭД на угол $\varphi_{ст}$, соответствующий шагу стежка, происходит разгон ротора до угловой скорости ω_m установившегося движения, со скоростью ω_m и торможение, при этом время установившегося движения t_y имеет тот же порядок, что и время разгона и торможения t_p и $t_т$. Для подобных режимов движения необходимо иметь динамические механические характеристики, снимаемые на специальном стенде [10]. С помощью ЭВМ фиксируется исходная информация о числе импульсов N, частоте их следования f, изменяющейся по линейному закону $f = \varepsilon \cdot t/\alpha$ до величины ε_m. Датчик угловых перемещений ротора ШЭД осуществляет контроль

Витебский государственный технологический университет

отработанных на валу ШЭД импульсов. Численные значения синхронизирующего момента на валу ШЭД определяются по формуле

$$Мд=FR+Iпр\cdot\varepsilon_m,$$

где F – окружное усилие на тормозном устройстве, фиксируемое динамометром;

R – плечо силы F;

Iпр – момент инерции ротора ШЭД.

Работа ШЭД при выбранной нагрузке считается устойчивой, если число отработанных импульсов, регистрируемое датчиком угловых перемещений, совпадает с числом N заданных импульсов. Эксперимент заканчивается при таком значении F, при котором ШЭД теряет хотя бы один подаваемый импульс.

На рис. 9.5, 9.6 приведены динамические механические характеристики различных ШЭД в виде графиков зависимости Мд от угловой скорости ω_m установившегося движения.

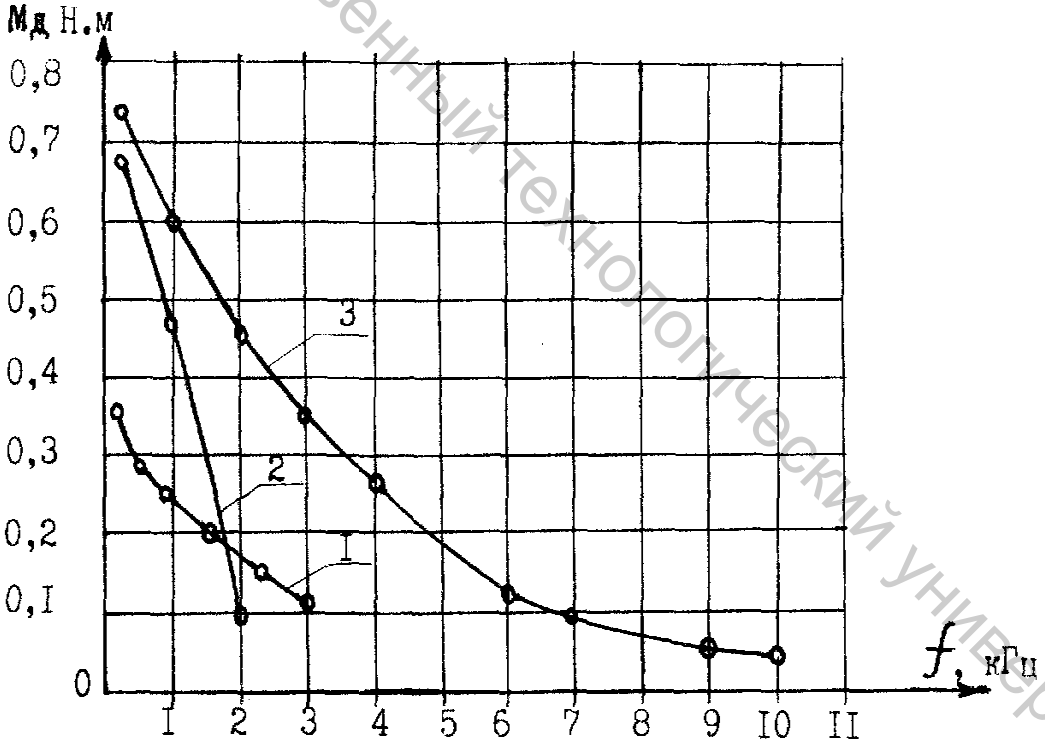


Рис. 9.3. Механические характеристики
ШЭД: I - ДШ-200-0,5;
2 - ДШИ-200-3;
3 - ДШР-60-0,I6

Витебский государственный технологический университет

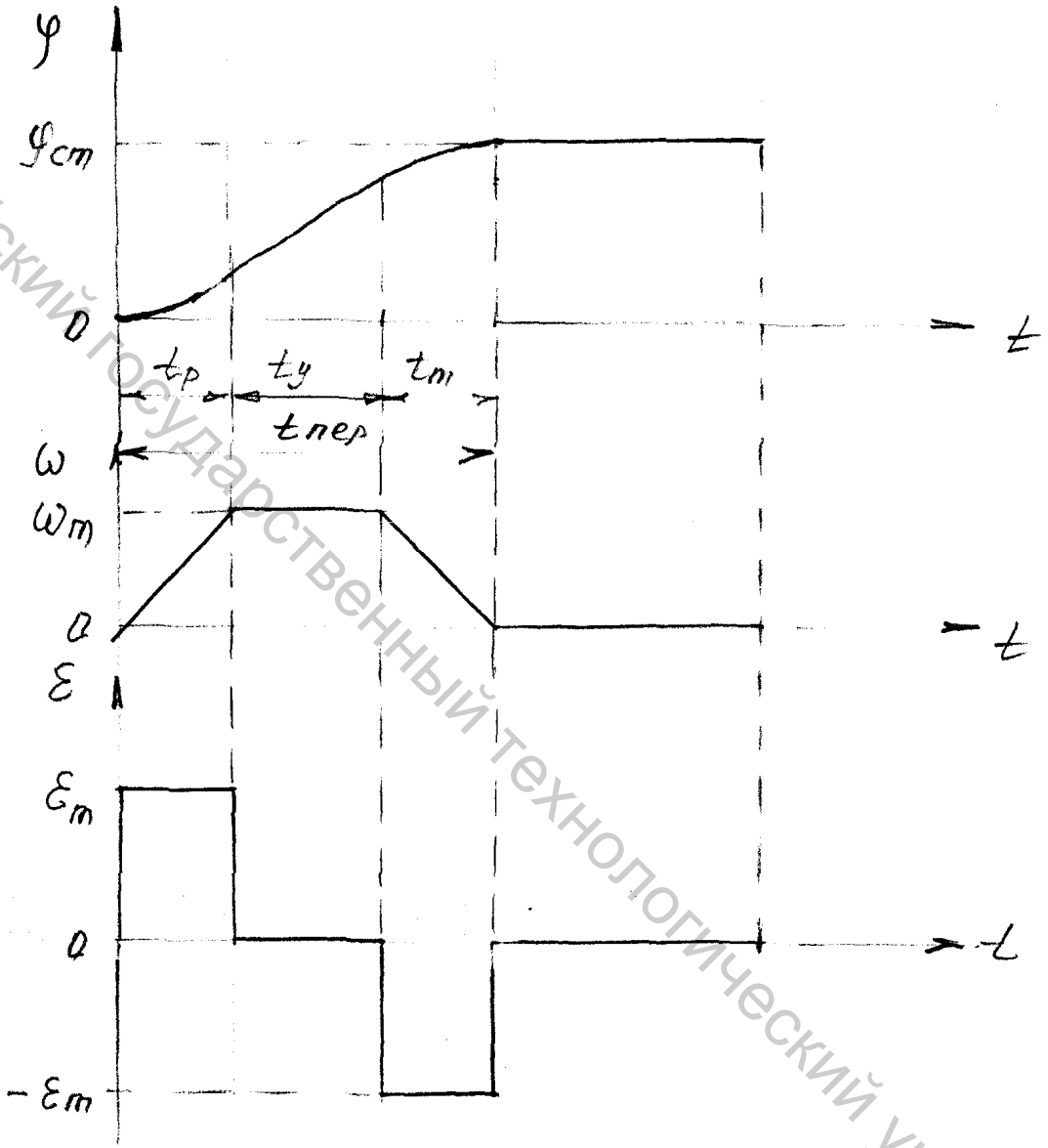


Рис. 9.4 – Кинематические диаграммы старт-стопного движения ротора ШЭД

Витебский государственный технологический университет

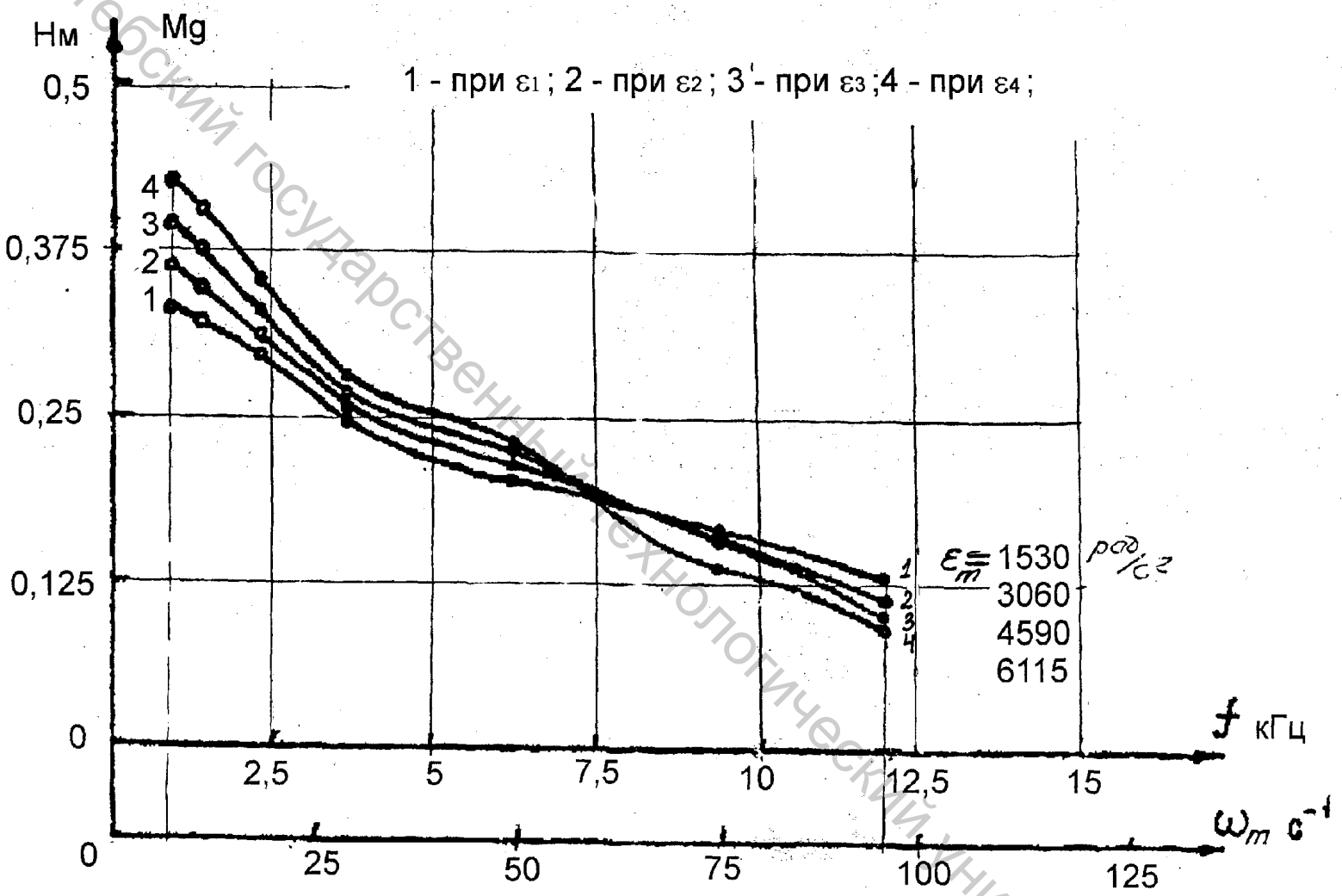


Рис. 9.5 – Графики механических характеристик ДШ-200-0,5

Витебский государственный технологический университет

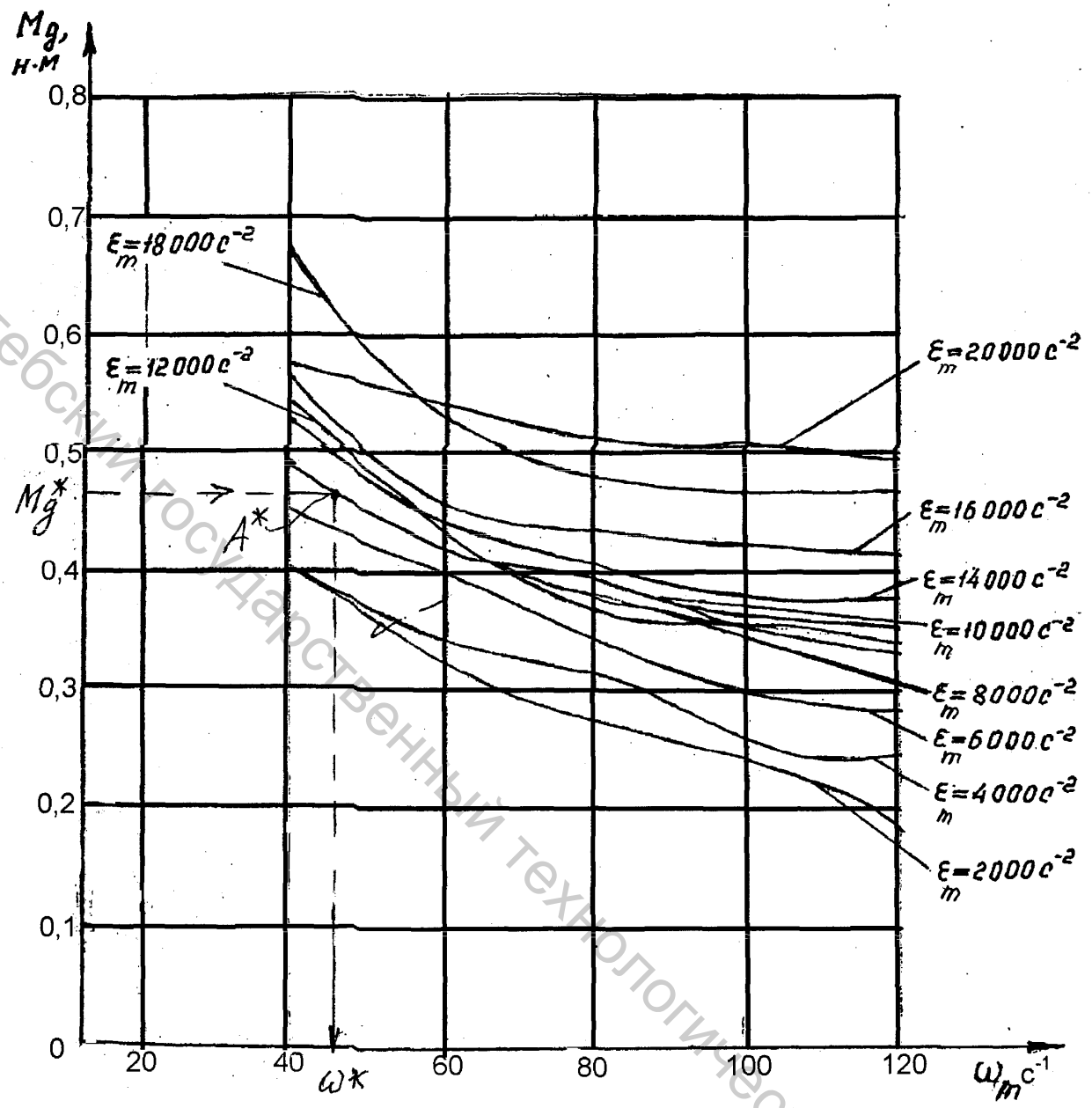


Рис. 9.6 – Механические характеристики ДШИ-200-3

Витебский государственный технологический университет

10 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

10.1. Структура исполнительных механизмов

Исполнительные механизмы служат для преобразования вращательного движения шаговых электродвигателей в заданные движения рабочих органов.

Исполнительные механизмы могут представлять собой многозвенные кинематические цепи с одной, двумя степенями подвижности, состоящие из простых механизмов.

На рис. 10.1 показан четырехзвенный механизм, содержащий только поступательные пары. Степень подвижности механизма определяется из структурной формулы для механизмов 4-го семейства [9]: $w = 2n – p_5 = 2 \cdot 3 - 4 = 2$. Рабочий инструмент (РИ) закреплен на звене 2. Ведущие звенья механизма 1 и 3 образуют кинематические пары с неподвижным звеном 4. Для привода этих ведущих звеньев могут быть использованы: механизм с гибкой связью. (рис. 10.2) (тросом, зубчатым ремнем), реечный механизм (рис. 10.3), винтовой механизм (рис. 10.4). В механизме привода с гибким тросом (см. рис. 10.2) трос 3 наматывается на приводной барабан 1, который вращается на валу с неподвижными опорами и приводится во вращение шаговым электродвигателем через соединительную муфту или через зубчатую или иную передачу. Верхний конец тросика огибает ролик 2 и крепится винтом 4 к ползуну 6. Левый нижний конец тросика винтом 5 крепится к ползуну 6. Возможно применение в качестве гибкого элемента зубчатого ремня. В этом случае ремень 3 охватывает два зубчатых барабана, один из которых - приводной.

В реечном механизме (см. рис. 10.3) вал шестерни 1 приводится во вращение от шагового электродвигателя, а зубчатая рейка 2 жестко связана с ведомым звеном 3 механизма.

В винтовом механизме (рис. 10.4) ходовой винт 1 приводится во вращение шаговым электродвигателем, а гайка 2 жестко связана с ведомым звеном 3.

На рис. 10.5 показан трехзвенный механизм перемещения. Степень подвижности механизма определяется из формулы: $w – 2n - p_5 = 2 \cdot 2 - 2 = 4 - 2 = 2$. Звено 2 механизма образует поступательную пару с подвижным звеном 1, что создает определенные проблемы для передачи ему движения от шагового электродвигателя.

Существует два варианта привода. Первый состоит в том, что шаговый электродвигатель и одно из звеньев механизма привода жестко закрепляются на подвижном звене 1. Второй вариант - применение механизма с гибким тросом, изображенного на рис. 10.6. В этом механизме гибкий трос наматывается на приводной барабан 1 и огибает ролики 2 - 8. Свободные концы троса прикрепляются к неподвижному звену. Оси роликов 3 - 6 закреплены на подвижном звене 9. Оси роликов 7 и 8 закреплены на подвижном звене 10. При вращении барабана 1 приводится в движение звено 10 через систему

Витебский государственный технологический университет

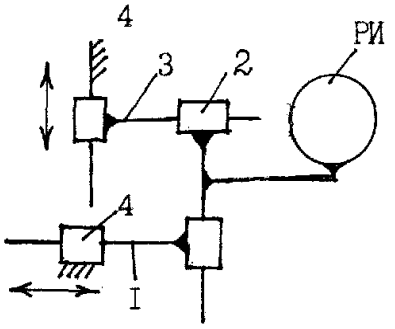


Рис.10.1

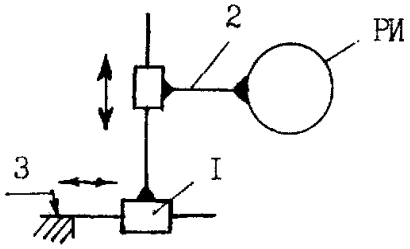


Рис.10.5

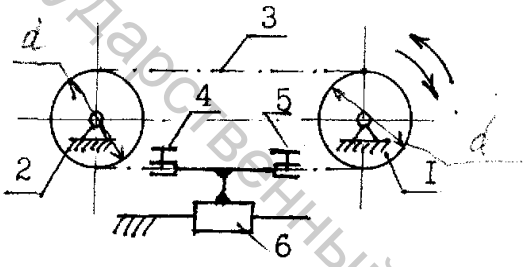


Рис.10.2

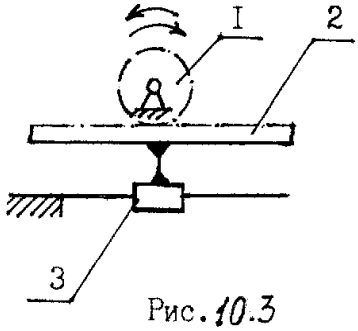


Рис.10.3

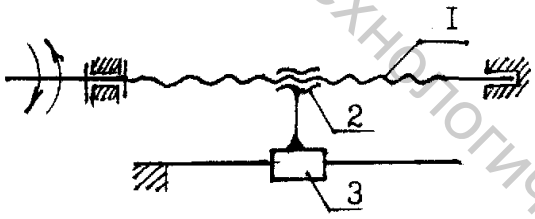


Рис.10.4

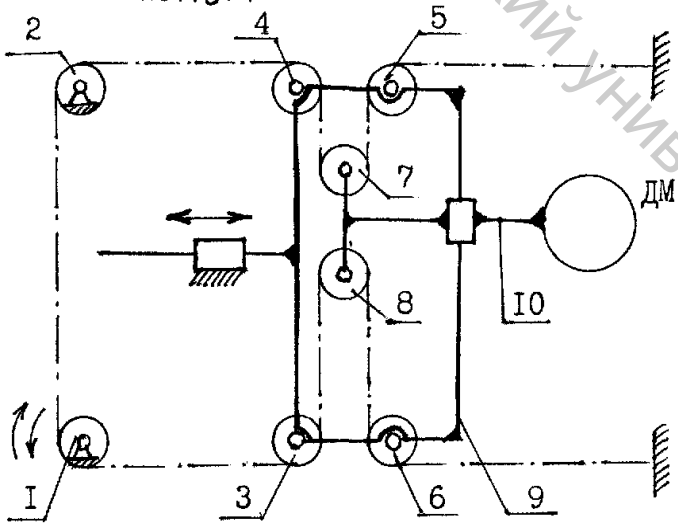


Рис.10.6

Витебский государственный технологический университет

подвижных и неподвижных блоков. Звено 9 образует поступательную пару с неподвижным звеном и может приводиться в движение любым из механизмов, показанных на рис. 10.2 – 10.4.

Рассмотрим примеры исполнительных механизмов машин-автоматов легкой промышленности.

10.2. Механизм подачи материала швейного полуавтомата фирмы USM

На рис. 10.7 приведена кинематическая схема механизма подачи материала швейного полуавтомата английской фирмы USM (United Schoe Machinary). На этой схеме и других (см. рис. 10.8, 10.9) детали, образующие одно звено механизма, обозначены одной и той же цифрой с индексами в вице букв а, б, … Например, детали, образующие звено 1, обозначены 1а, 1б, 1в, 1г. Полуавтомат предназначен для сшивания плоских заготовок верха обуви. Детали заготовки верха обуви укладываются и закрепляются в кассете 6в, которая может совершать движение одновременно по направлениям осей x и y относительно швейной головки 9, в результате воспроизводится сложная траектория движения заготовки относительно иглы швейной головки. Движение по оси y сообщается кассете от двух шаговых электродвигателей 1а и 1в через зубчатые передачи 1б-2а и 1г-2ж, реечные передачи 2б-3а, 2д-3б. Рейки 3а, 3б жестко прикреплены к каретке 3в, которая может перемещаться по неподвижным направляющим 7 и 8 с помощью системы роликов 3г-3д-3е-3ж и 3и-3к-3л-3м. Вместе с кареткой 3в поступательное движение по оси y совершает кассета 6в с материалом. Перемещение вдоль оси x сообщается кассете 6в от шагового электродвигателя 4а, установленного на каретке 3в, через зубчатую передачу 4б-5а и реечную передачу 5б-6а. Рейка 6а жестко связана с ползунами 6б, скользящими по направляющей 3н. Кассета 6в жестко связана с ползунами 6б и перемещается вместе с рейкой 6а вдоль оси x.

В рассмотренном устройстве механизм перемещения выполнен по схеме рис. 10.5. Звену 1 на рис. 10.5 соответствует каретка 3в (на рис. 10.7), получающая движение от ШЭД через реечный механизм и зубчатую передачу. Звену 2 и рабочему инструменту РИ на рис. 10.5 соответствуют ползуны 6б и кассета 6в. На рис.10.7 привод ползунов 6б осуществляется от ШЭД, установленного каретке через реечный механизм.

10.3. Механизм подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1

На рис. 10.8 показана кинематическая схема механизма подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1, разработанного кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ» и ОАО «НП Опытно-конструкторские бюро машиностроения» г.Витебска, выпускаемого серийно.

Ткань заправляется в пяльцы 9б, которым сообщается движение вдоль осей x и y относительно швейной головки 10. В результате сложения этих движений получается сложный рисунок вышивки.

Витебский государственный технологический университет

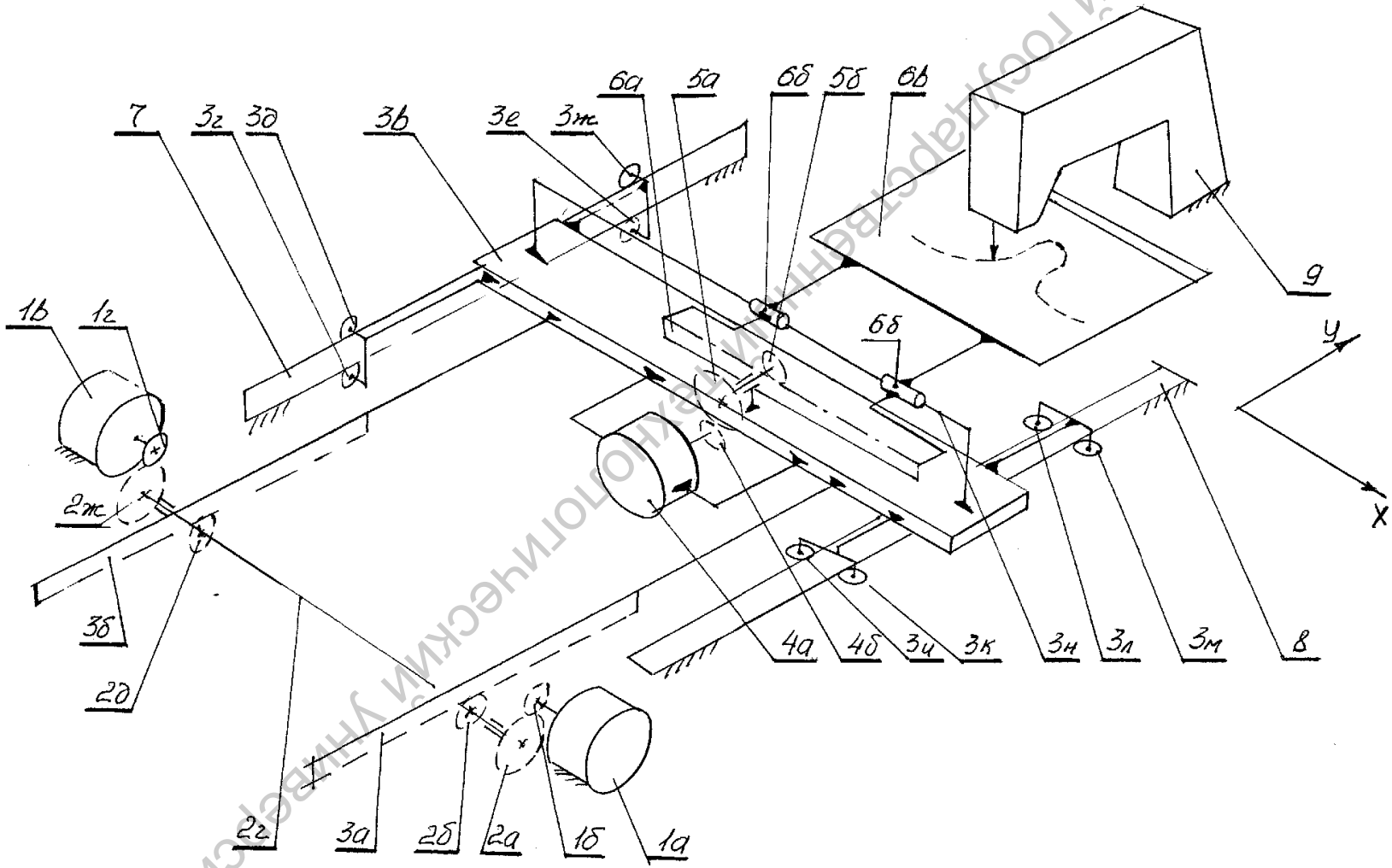


Рис. 10.7 – Кинематическая схема механизма подачи материала швейного полуавтомата фирмы *USM* (Англия)

Витебский государственный технологический университет

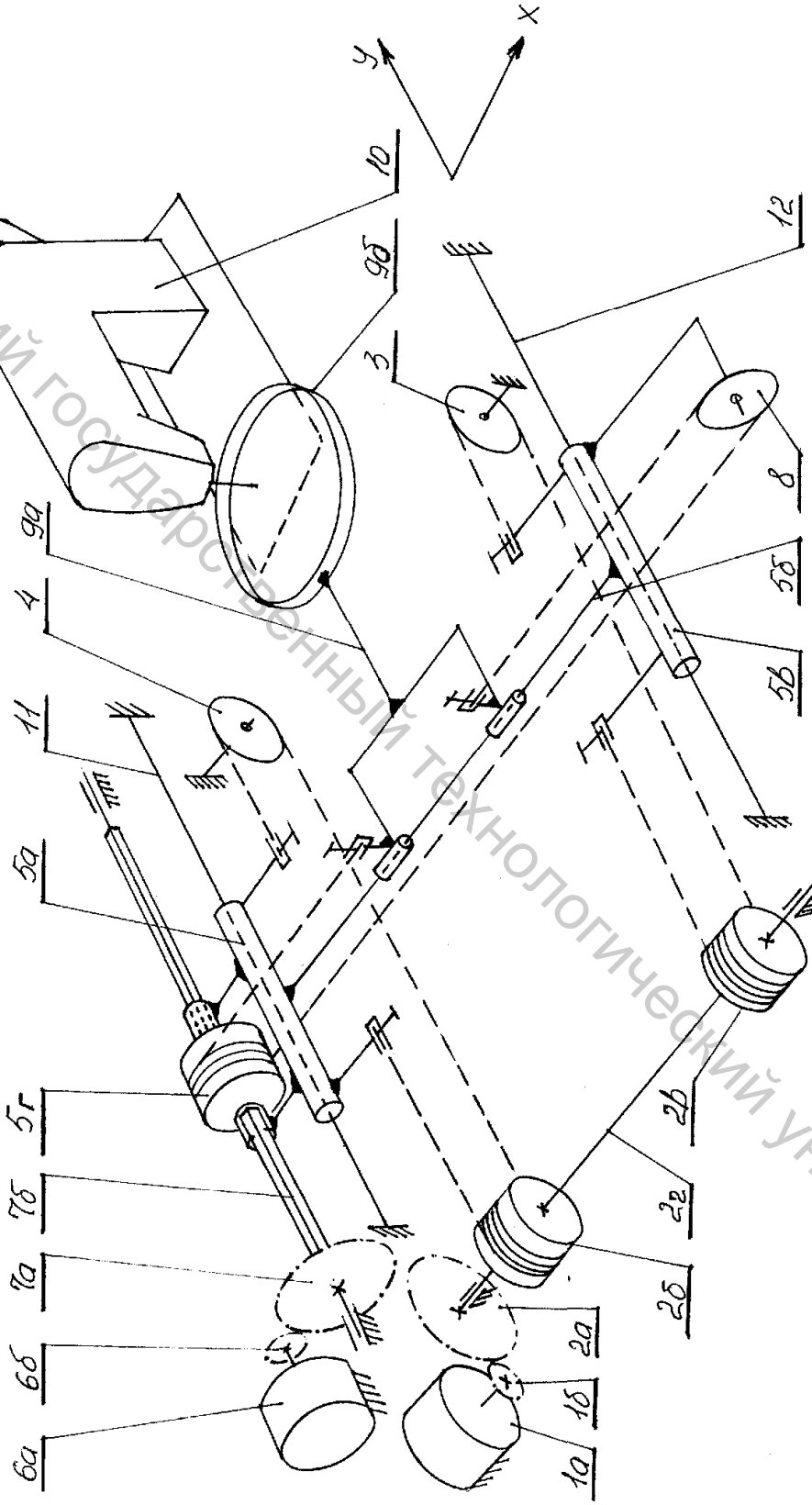


Рис. 10.8 – Кинематическая схема механизма подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1

Витебский государственный технологический университет

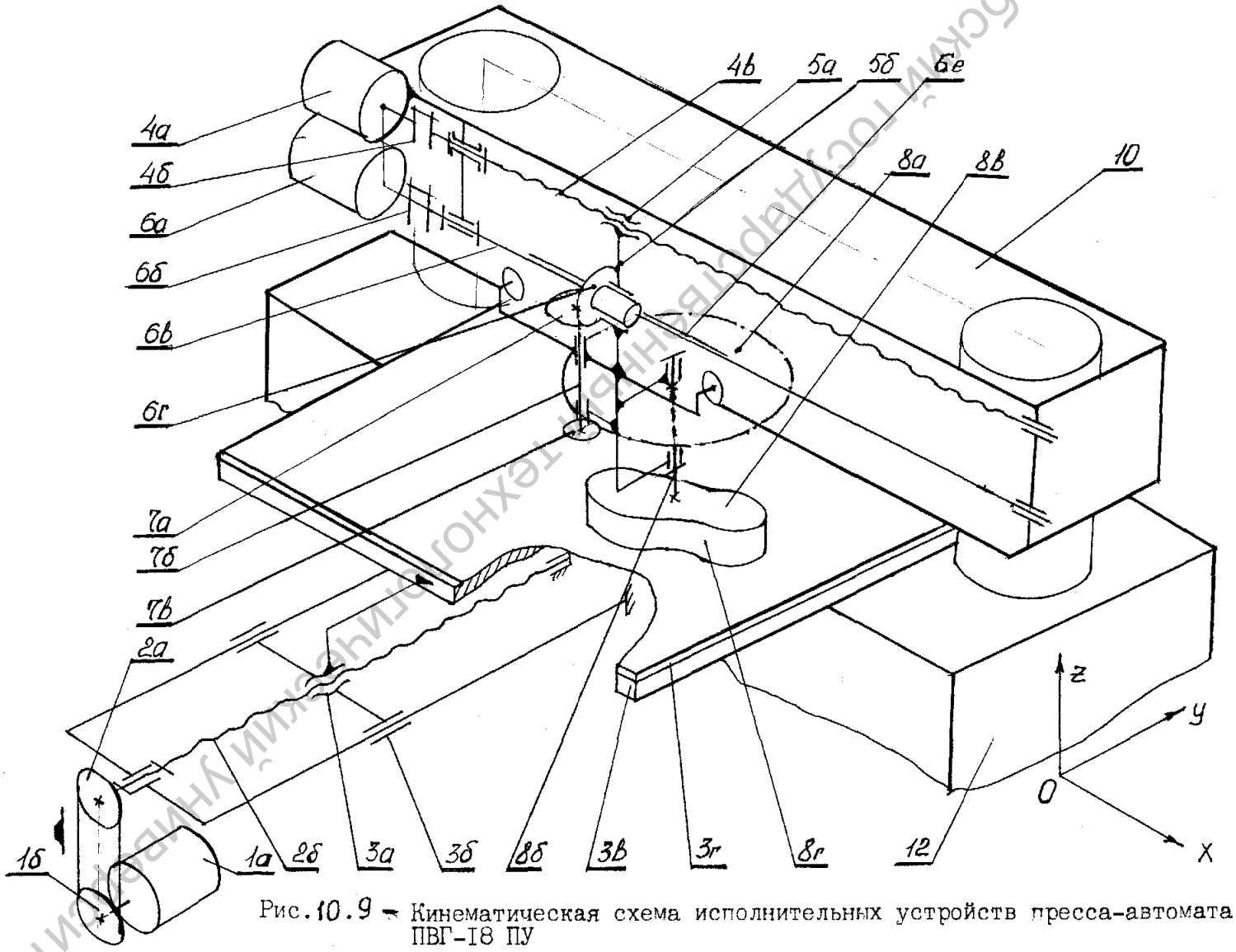


Рис.10.9 – Кинематическая схема исполнительных устройств пресса-автомата ПВГ-18 ПУ

Витебский государственный технологический университет

Перемещение вдоль оси y сообщается пяльцам 9б от шагового электродвигателя 1а, через зубчатую передачу 1б-2а, вал 2г, барабаны 2б и 2в, намотанные на них гибкие тросики, огибающие ролики 3 и 4, свободные концы которых прикреплены к траверсе 5а. Траверса 5а перемещается по неподвижным направляющим 11, 12. Вместе с траверсой движение по оси y получают пяльцы 9б.

Перемещение вдоль оси x сообщается пяльцам 9а следующим образом. Шаговый электродвигатель 6а передает вращение через зубчатую пару 6б-7а, валу 7б и барабану 5г. Вал 7б имеет сечение в форме квадрата, а барабан 5г - такой же формы отверстие, что позволяет последнему свободно перемещаться вдоль оси вала вместе с траверсой 5а, между проушинами которой находится барабан. Таким образом, барабан 5г совершает поступательное движение вдоль оси y вместе с траверсой 5а и вращается относительно траверсы вместе с валом 7б. На барабан 5г намотан гибкий тросик, который огибает ролик 8. Свободные концы тросика прикреплены к каретке 9а. При вращении барабана 5г концы гибкого троса перемещают каретку 9а по направляющей 5б, установленной на траверсе 5а. Вместе с кареткой перемещаются вдоль оси x и закрепленные на ней пяльцы 9б.

В рассмотренном устройстве механизм перемещения выполнен по схеме рис. 10.5. Звену 1 на рис. 10.5 соответствует траверса 5а на рис. 10.7. Звену 2 на рис. 10.5 соответствует каретка 9а на рис. 10.7. Приводы траверсы и каретки выполнены по схеме рис. 10.2. При этом удалось избежать размещения шагового электродвигателя и привода на траверсе за счет осевого перемещения барабана 5г относительно вала 7б.

10.4. Исполнительные механизмы вырубочного пресса-автомата

На рис. 10.9 приведена кинематическая схема исполнительных механизмов пресса-автомата для вырубки деталей низа обуви из листовых материалов. Пресс-автомат разработан на кафедре "Машины и аппараты легкой промышленности" УО «ВГТУ» под руководством доцента Д.Р.Амирханова. Вырубка деталей низа обуви по площади листа производится за счет поступательного движения вдоль оси y плиты 3в с листом материала 3г, поступательного движения вдоль оси x каретки 5б и поворотного движения вокруг оси z относительно каретки держателя резака 8в и резака 8г.

Поступательное движение плите 3в и материалу 3г сообщается от шагового электродвигателя 1а через зубчатоременную передачу 1б-2а, винтовую передачу 2б-3а. Плита 3в перемещается по поверхности стола станины 12 пресса-автомата.

Поступательное движение каретке 5б сообщается шаговым электро-двигателем 4а через соединительную муфту 4б, винтовую передачу 4в-5а. Вращательное движение держателю резака 8в и резаку 8г сообщается от шагового электродвигателя 6а через соединительную муфту 6б, вал 6в со

Витебский государственный технологический университет

скользящей шпонкой, коническую зубчатую передачу 6г-7а, зубчатую передачу 7в-8а, вал 8б.

Корпуса подшипников ходового винта 4в и вала 6б закреплены на корпусе ударника 10 пресса, которому в процессе вырубки сообщается движение по оси z от гидропривода.

В рассмотренных исполнительных устройствах механизм перемещения плиты 3в имеет одну степень подвижности (вдоль оси у) и приводится в движение от винтового механизма. Механизм перемещения резака 8б имеет две степени подвижности: вдоль оси х и вращение вокруг оси z. Он выполнен по схеме, аналогичной схеме на рис. 10.5, получаемой заменой поступательной пары, образуемой звеньями 1-2, на вращательную.

10.5. Механизм подачи материала швейного полуавтомата для сборки плоских заготовок верха обуви и кожгалантерейных изделий

На рис. 10.10 приведена кинематическая схема механизма подачи материала швейного полуавтомата ПШ-1, разработанного кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ» и ОАО «НП ОКБ машиностроения» г. Витебска. Полуавтомат предназначен для сборки плоских заготовок верха обуви и кожгалантерейных изделий.

Плоские заготовки верха обуви или кожгалантерейных изделий укладываются в гнезда многослойной кассеты 6в, которой сообщается движение вдоль осей х и у относительно швейной головки 7. В результате сложения этих движений получается требуемый контур соединительных ниточных строчек.

Перемещение вдоль оси у сообщается кассете 6в от двух шаговых электродвигателей 1а, через две зубчатые передачи 1б-2а, вал 2б, зубчатую реечную передачу 2в-3а, тяги 3г, 3д траверсы. Траверса перемещается по неподвижным направляющим 8 и по валу 5б квадратного сечения через проушины 3б, 3в, жестко связанные с рейкой 3а, и шестерни 5в, 5г с квадратными отверстиями под вал 5б.

Перемещение вдоль оси х сообщается кассете 6в от шагового электродвигателя 4а через зубчатую передачу 4б-5а, вал 5б квадратного сечения, шестерни 5в, 5г, рейки 6а, 6б, жестко связанные с кареткой, перемещающейся по направляющим 3ж, 3е траверсы.

В рассмотренном устройстве механизм перемещения выполнен по схеме рис. 10.5. Звену 1 на рис. 10.5 соответствует траверса 3ж-3е, звену 2 соответствует каретка 6а-6б. На рис. 10.10 приводы траверсы и каретки выполнены по схеме на рис. 10.3. При этом удалось избежать размещения шагового электродвигателя на траверсе за счет осевого перемещения шестерен 5в, 5г относительно вала 5б квадратного сечения.

Витебский государственный технологический университет

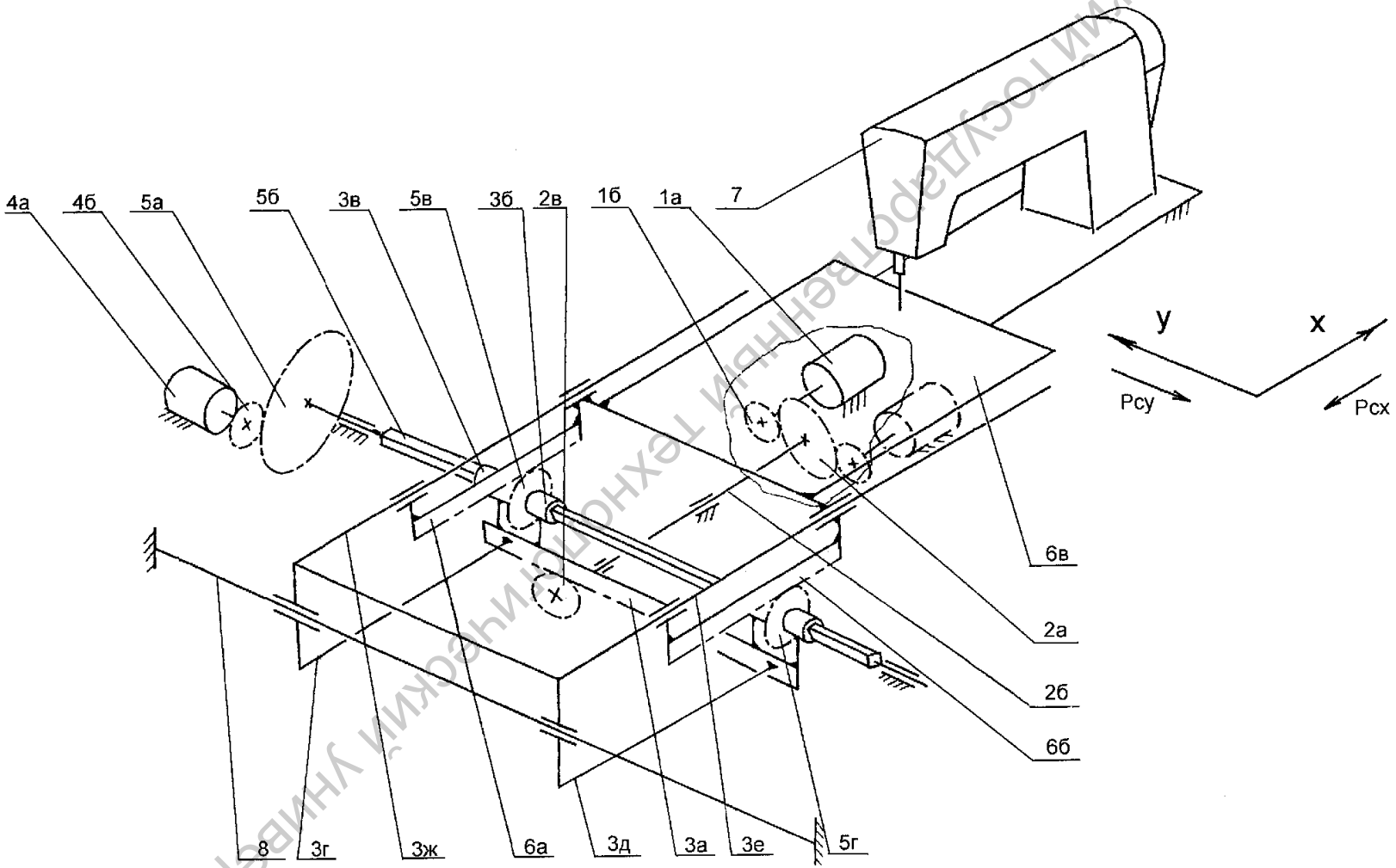


Рис. 10.10 – Кинематическая схема координатного устройства полуавтомата для сборки заготовки верха обуви

Витебский государственный технологический университет

11 ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Шаговые электроприводы имеют следующие особенности по сравнению с электроприводами технологических машин, рассмотренными в [11]:

- в качестве электродвигателей используются шаговые электродвигатели, относящиеся к классу синхронных электродвигателей;
- в качестве исполнительных механизмов могут применяться механизмы с двумя и более степенями подвижности.

Проектный расчет шагового электропривода проводится в следующей последовательности:

1) выбор структуры исполнительных механизмов;
2) определение кинематических характеристик исполнительных механизмов;
3) определение приведенных характеристик электропривода;
4) подбор шагового электродвигателя и кинематических характеристик электропривода.

11.1. Выбор структуры исполнительных механизмов

При выборе структуры исполнительных механизмов учитывается следующее:

1) механизм должен содержать минимальное число звеньев и кинематических пар с целью минимизации динамических нагрузок на шаговый электродвигатель;

2) желательно применять вращательные и поступательные кинематические пары качения с целью уменьшения сил трения;

3) передаточные числа механизмов должны быть постоянными на всем диапазоне перемещений;

4) должны использоваться механизмы с гибкими связями, исключающие проскальзывание (зубчатоременные или с тросиками, имеющими суммарный угол обхвата ведущего барабана не менее 6 π);

5) последние могут применяться при старт-стопном перемещении при ограниченной частоте перемещений (до 1000 перемещений в минуту) из-за возможности резонансных колебаний.

11.2. Определение кинематических характеристик исполнительных механизмов

К кинематическим характеристикам отнесем дискрету перемещений ведомых звеньев, общее передаточное число, передаточные числа составных частей (ступеней) исполнительного механизма.

При поступательном перемещении ведомого звена величина дискреты ΔS должна иметь тот же порядок, что и требуемая точность перемещения. В

Витебский государственный технологический университет

большинстве швейных полуавтоматов с ЧПУ величина дискреты составляет 0,1 мм.

При вращательном движении ведомого звена угловая дискрета $\Delta\psi$ должна обеспечить требуемую точность перемещения или позиционирования рабочего органа. Например, в вырубочном прессе (см. рис. 7.2) угловая дискрета резака 4 должна обеспечить точность позиционирования вырубаемых деталей $\Delta S = 0{,}1$ мм, что достигается угловой дискретой ΔZ

$$\Delta Z \le \frac{\Delta S}{R_{\max}}[рад],$$

где R_{max} – максимальное расстояние от центра резака (см. рис. 7.1) до наиболее удаленной точки режущей кромки.

После выбора дискреты общее передаточное число определяется по формулам:

$$U_{общ} = \frac{\Delta a}{\Delta S}, [\frac{рад}{м}];$$

$$U_{общ} = \frac{\Delta a}{\Delta y};$$

где $\Delta\alpha$ – угловой шаг ротора шагового электродвигателя.

Общее передаточное число может быть представлено в виде произведений передаточных чисел составных частей исполнительного механизма

$$U_{общ} = U_1 \cdot U_2 \ldots U_n$$

В качестве составных частей могут использоваться механизмы, приведенные на рис. 10.2…10.6. Для механизмов с гибкой связью в виде проволочных тросиков (см. рис. 10.2) передаточное число определяется из соотношения

$$U = \frac{2}{d}[\frac{рад}{м}],$$

где d/2 – расстояние от оси барабана до центра сечения тросика, намотанного на барабан. Максимальное значение U ограничено минимальным значением d, определяемым исходя из прочности тросика. Обычно $d_{min} = 0{,}02$ м, при этом

$$U_{\max} = \frac{2}{0{,}02} = 100\frac{рад}{м}.$$

Для реечных передач (см. рис. 10.3) передаточное число определяется из формулы $U = \frac{2}{d_д}$, где $d_д$ - делительный диаметр шестерни. В свою очередь максимальное значение U ограничено минимальным значением делительного диаметра шестерни $d_д = m \cdot Z$, где m – модуль, мм; Z – число зубьев шестерни.

Витебский государственный технологический университет

Приняв m = 0,8 мм; Z_{min} = 16 получим $d_{\partial min}$ = 12,8 мм = 0,0128 м. При этом

$$U_{max} = \frac{2}{0,0128} = 156,25 \frac{рад}{м}.$$

Передаточное число винтовых передач определяется из формулы $U = \frac{2p}{h}[\frac{рад}{м}]$. Максимальное значение U ограничивается величиной шага резьбы. Так, при h = 0,005 м имеем $U = \frac{6,28}{0,005} = 1256 \frac{рад}{м}$.

Часто используются зубчатые передачи. При этом, для снижения шума шестерня выполняется из стали, а колесо – из полимерного материала. Максимальное передаточное число ограничивается габаритами колеса. Обычно принимают U = 2…4.

11.3. Определение приведенных характеристик электропривода

В качестве звена приведения электропривода принимается ротор шагового электродвигателя. С учетом постоянства передаточных чисел передач и механизмов, входящих в кинематическую схему исполнительного механизма, уравнение движения звена приведения имеет вид

$$M_{\partial} - M_{спр} = I_{пр} \frac{dw}{dt}, \qquad (11.1)$$

где M_{∂} - момент ШЭД;

$M_{спр}$ - приведенный к ротору ШЭД момент сил сопротивления;

$I_{пр}$ - приведенный к ротору ШЭД момент инерции масс механизма;

ω – угловая скорость ротора ШЭД.

Момент двигателя M_{∂} может быть представлен в виде аналитической зависимости M_{∂} в функции угловой скорости ω ротора, полученной путем аппроксимации механических характеристик (см. рис. 9.3, 9.5 и 9.6).

Например, динамические механические характеристики шагового электродвигателя типа ДШИ 200-3 описываются дробно-рациональной функцией вида [12]:

$$M_{\partial} = \frac{1}{(a + вw)},$$

где значения коэффициентов а и в для различных ε_m приведены в таблице 11.1.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 11.1 – Коэффициенты а и в динамических механических характеристик ДШИ 200-3

Коэф-фициенты	ε_m, рад/с^2									
	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
а	1,38	1,67	1,50	1,58	1,58	1,44	1,45	1,32	1,32	1,56
в·10^{-3}	28,9	20,0	17,7	12,5	12,4	14,0	12,5	10,1	7,8	4,2

Приведенный момент сил сопротивления определяется согласно [11]:

$$M_{cnp} = \sum_{i=1}^{N} \frac{M_{ci}}{U_{1-i} \cdot h_{1-i}} + \sum_{j=1}^{M} \frac{P_{cj}}{U_{1-j} \cdot h_{1-j}}, \qquad (11.2)$$

где M_{ci} - момент сил сопротивления, приложенный к i-ому звену; совершающему вращательное движение;

U_{1-i} - передаточное число от звена приведения к i-ому звену;

h_{1-i} - произведение коэффициентов полезного действия (к.п.д.) кинематических пар кинематической цепи от звена приведения до i-го звена;

P_{cj} - сила, приложенная к j-му звену, совершающему поступательное движение;

U_{1-j} - передаточное число от звена приведения к j-му звену;

h_{1-j} - произведение коэффициентов полезного действия (к.п.д.) кинематических пар от звена приведения до j-го звена;

N и M – числа звеньев, совершающих вращательное и поступательное движение.

Приведенный момент инерции масс механизма определяется согласно [11]:

$$I_{np} = \sum_{i=1}^{N} \frac{I_i}{U^2_{1-i}} + \sum_{j=1}^{M} \frac{m_j}{U^2_{1-j}}, \qquad (11.3)$$

где I_i - момент инерции i-го вращающегося звена;

m_j - масса j-го звена, совершающего поступательное движение.

Остальные обозначения (U_{1-i}, U_{1-j}, N, M) те же, что и в формуле (11.2).

Витебский государственный технологический университет

11.4. Подбор шагового электродвигателя при старт-стопном движении

Рассмотрим подбор шагового электродвигателя при старт-стопном движении ведомого звена и ротора (см. рис. 9.4). Поставим задачу определить такие параметры закона движения, при которых время перемещения $t_{пер}$ будет минимально.

По аналогии с формулой (7.7), полученной для параметров закона движения ведомого звена электропривода, движущегося поступательно, для вращательного движения ротора ШЭД получим

$$t_{пер} = \frac{j_{ст}}{w_m} + \frac{w_m}{e_m}, \qquad (11.4)$$

где $j_{ст} = S_{ст} \cdot U_{общ}$, $S_{ст}$ - шаг перемещения ведомого звена, движущегося поступательно.

Из (11.4) видно, что $t_{пер}$ является функцией двух переменных e_m и w_m. Поставим задачу минимизации $t_{пер}$, т.е. определения таких значений e_m и w_m, при которых бы $t_{пер}$ было бы минимальным, и выполнялись следующие ограничения:

$$w_{m\min} \le w_m \le w_{m\max}, \qquad (11.5)$$

$$e_{m\min} \le e_m \le e_{m\max}, \qquad (11.6)$$

$$M_д \ge M_{спр} + I_{пр} \cdot e_m, \qquad (11.7)$$

где $w_{m\min}, w_{m\max}$ - предельные значения w_m для семейства динамических механических характеристик ШЭД (для рис. 9.6 $w_{m\min}$ = 40 рад/с; $w_{m\max}$ = 120 рад/с); $e_{m\min}, e_{m\max}$ - предельные значения e_m для семейства динамических характеристик ШЭД (для рис. 9.6 $e_{m\min}$ = 2000 рад/с^2; $e_{m\max}$ = 20000 рад/с).

Ограничение (11.7) вытекает из уравнения движения (11.1) записанного для участка разгона ротора ШЭД (см. рис. 9.4). Поставленная задача может быть решена известными методами оптимизации на ЭВМ [ ].

Рассмотрим более простой метод минимизации (11.4), не требующий применения ЭВМ.

Пусть имеются графики динамических механических характеристик ШЭД (см. рис. 9.6).

Сначала определим такую механическую характеристику с наибольшим e_m, для которой выполняется ограничение (11.7). Подбор начинают с

Витебский государственный технологический университет

механической характеристики, соответствующей максимальному значению e_m = 20000 рад/с^2. Подставим в правую часть неравенства (11.7) e_m = 20000 рад/с^2 и определим момент нагрузки $M_н = M_{спр} + I_{пр} \cdot 20000$. Затем по оси ординат графиков отложим расстояние $M_н$ и проведем прямую, параллельную оси абсцисс. Если прямая пересечет график e_m = 20000 рад/с^2, то это означает, что неравенство (11.7) удовлетворяется для той части кривой, которая лежит выше прямой $M_д = M_{нагр}$. Если же прямая не пересекает кривую, а лежит выше, то неравенство (11.7) не удовлетворяется. В этом случае проверяют выполнение (11.7) для кривой, соответствующей меньшему значению e_m = 16000 рад/с^2. Эту процедуру продолжаем до тех пор, пока не определится кривая e_{mi}, которая пересекается с прямой $M_н = M_{спр} + I_{пр} \cdot e_{mi}$. Точку пересечения обозначим А (см. рис. 9.6). На участке кривой e_{mi}, расположенной слева от точки А удовлетворяется ограничение (11.7). Назовем этот участок рабочим.

Далее определим, при каком значении w_m на рабочем участке кривой e_{mi} будем иметь минимальное $t_{пер}$. Рассматривая (11.4) как функцию одной переменной w_m при $e_m = e_{mi}$ определим такое значение w_m*, при котором $t_{пер} = t_{пер\ min}$:

$$\frac{dt_{пер}}{dw_m} = -\frac{j_{ст}}{w_m^{\ 2}} + \frac{1}{e_{mi}} = 0 .$$

Откуда: $w_m^* = \sqrt{j_{ст} \cdot e_{mi}}$ (11.8)

Если полученное из (11.8) значение w_m* попадает на рабочий участок кривой e_{mi}, то в качестве расчетного значения w_m берется w_m*. Если w_m* лежит на участке кривой e_{mi}, расположенном справа от рабочего участка, то в качестве расчетного значения w_m берется w_A. Если же $w_m^* \le w_{m\min} = 40 \frac{рад}{с^2}$, то в качестве расчетного значения w_m берется $w_{m\min} = 40 \frac{рад}{с^2}$. Подставляя e_{mi} и w_m в формулу (11.4) получим минимальное значение $t_{пер}$. При известном $t_{пер}$ для швейного полуавтомата со старт-стопным движением ведомого звена по формуле (7.13) можно определить скорость шитья n (стежков/минуту).

Витебский государственный технологический университет

12. СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Следящие системы управления предназначены для обеспечения заданного закона движения рабочего органа по одной или нескольким координатам.

12.1. Структура следящих систем, область применения

На рис. 12.1 приведена блок-схема структуры следящей системы, включающей следующие элементы.

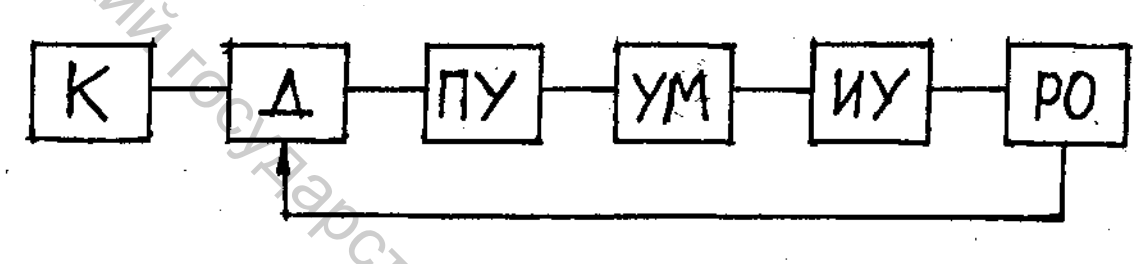


Рисунок 12.1 – Блок-схема структуры следящей системы управления

Копир К – элемент, задающий закон движения рабочего органа по одной или нескольким координатам. В качестве копира могут использоваться: шаблон из твердого материала, чертеж, край обрабатываемого изделия и т.п.

Датчик Д – элемент, следящий за контуром копира, преобразующий контур в ту или иную информацию – механическое перемещение, пневматический, электрический, гидравлический и др. сигнал. В качестве датчика может использоваться щуп, пневматическое или гидравлическое сопло, фотодиод и т.п.

Преобразующее устройство ПУ – элемент, преобразующий сигнал датчика Д, например, в механическое перемещение, в пневматический, гидравлический, электрический или иной сигнал.

Усилитель мощности УМ, предназначенный для усиления мощности сигнала, снимаемого с преобразующего устройства ПУ.

Исполнительное устройство ИУ – элемент, преобразующий выходной сигнал усилителя мощности УМ, как правило, в механическое перемещение рабочего органа РО.

Существенной отличительной особенностью следящих систем является наличие обратной жесткой или кинематической связи между датчиком Д и рабочим органом РО.

В легкой промышленности следящие системы нашли применение в машинах-автоматах, предназначенных для обработки изделий по контуру: фрезеровании стелек и подошв, прокладывании соединительных строчек по краю изделий из кожи, ткани и других материалов.

Витебский государственный технологический университет

12.2. Схема следящей системы швейного полуавтомата

Рассмотрим схему следящей системы управления швейного полуавтомата для прокладывания краевых соединительных строчек на деталях верха обуви, соединяемых внахлестку (рис. 12.2).

Полуавтомат создан на базе швейной головки с отклоняющейся поперек строчки иглой и гидропривода вырубочного пресса.

Швейная головка содержит рамку 11, игловодитель 10, иглу 7, прижимную лапку 6, транспортирующую рейку 2, игольную пластину 3, на которую укладываются детали 4 и 5 верха обуви.

К рамке 11 прикреплен датчик 1 в виде пневматического сопла. Датчик 1 связан посредством трубки с пневмокамерой 12, в которой имеется чувствительный элемент – сильфон 13. Сильфон 13 жестко связан с плунжером 15 гидрораспределителя 18. Имеется возможность регулировки относительного положения сильфона 13 и плунжера 15 посредством гайки 14. Гидропривод состоит из насоса 17, переливного клапана 16, гидрораспределителя 18, гидроцилиндра 9, поршня 8, шток которого шарнирно связан с рамкой 11.

Стачиваемые детали верха обуви 4 и 5 укладываются на игольную пластину 3 под прижимную лапку 6. Транспортирование деталей в направлении оси y (см. вид А на рис. 12.2) осуществляется с помощью транспортирующей рейки 2. Прокладывание соединительной строчки на заданном расстоянии a от края детали происходит за счет отклонения иглы 7 в направлении оси x, осуществляемого с помощью следящей системы управления.

Исходное состояние следящей системы настраивается таким образом, чтобы при перекрытии краем детали 5 половины сечения сопла 1 плунжер 15 находился в среднем положении, при котором ширина кромок между поясками и выточками в корпусе гидрораспределителя 18 одинакова: $S_1 = S_2$.

В этом положении плунжера 15 давление масла на выходных линиях гидрораспределителя 18 и в полостях гидроцилиндра 9 одинаковы: $p_a = p_б$ и поршень 8, а, следовательно, рамка 11, неподвижны.

Если при транспортировке детали 5 ее край смещается вправо, то площадь открытого сечения сопла 1 уменьшается, давление воздуха в пневмокамере увеличивается, чувствительный элемент 13 смещает плунжер 15 вправо. В результате этого $S_1 > S_2$ и давление масла на выходных линиях изменяется, при этом $p_a > p_б$. Поршень 8, рамка 10 и игла 7 перемещаются вправо вслед за краем детали 5.

При смещении края детали 5 влево, площадь открытого сечения сопла датчика 1 увеличивается, давление в пневмокамере 12 уменьшается, сильфон 13 смещает плунжер 15 влево. В результате этого ширина кромок S_1 уменьшается, а S_2 – увеличивается, изменяется давление масла на выходных линиях гидрораспределителя 18, при этом $p_б > p_a$, поршень 8, рамка 11 и игла 7 смещаются влево вслед за краем детали 5.

Витебский государственный технологический университет

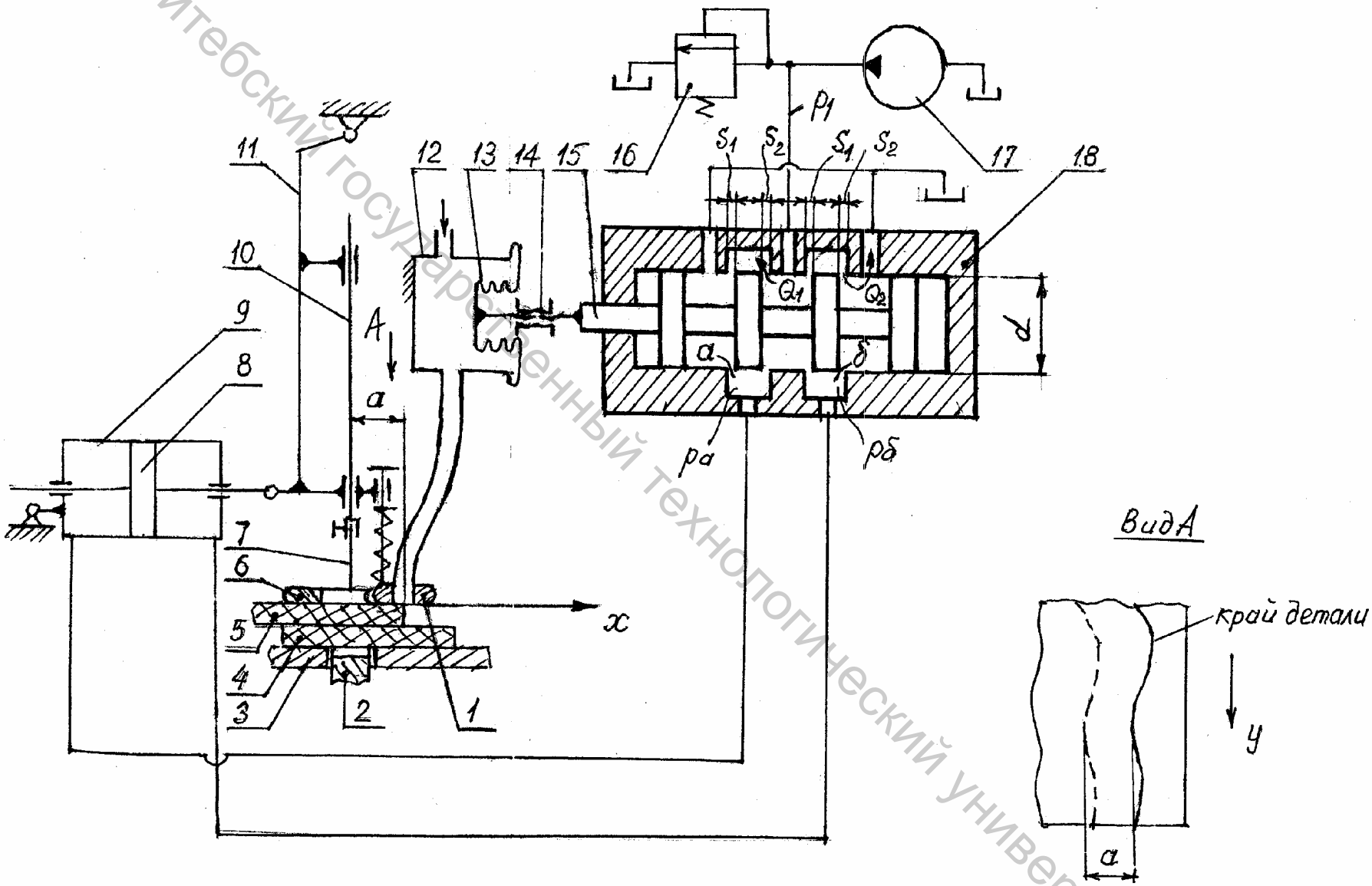


Рисунок12.2 – Схема следящей системы управления швейного полуавтомата

Витебский государственный технологический университет

12.3. Основные характеристики следящих систем

Основные характеристики следящей системы рассмотрим на примере следящей системы швейного полуавтомата. Статическая ошибка слежения (рис. 12.3)

$$\Delta x_{ст} = \Delta x_2 - \Delta x_1, \qquad (12.1)$$

где: Δx_2 – смещение края детали 2 за некоторый отрезок времени Δt;

Δx_1 – соответствующее смещение иглы и датчика 1.

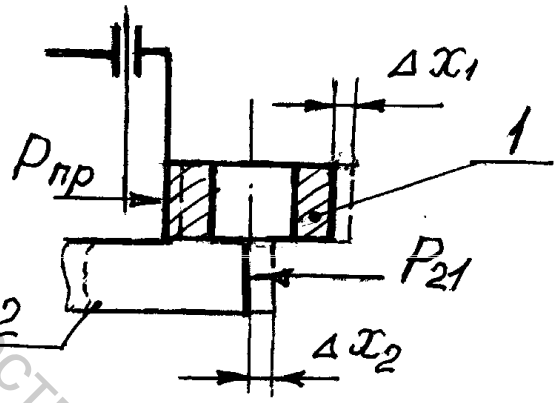


Рисунок 12.3. К определению статических характеристик следящей системы управления: 1 – сопло; 2 - деталь

Величины Δx_2 и Δx_1 определяются теоретическим или экспериментальным методом при условии, что сила сопротивления P_{21}, действующая на датчик 1 со стороны детали 2 и скорость перемещения края детали V_2 равны нулю.

Кинематическая ошибка слежения определяется по той же формуле (12.1). Однако величины Δx_2 и Δx_1 определяются при V_2 = const.

Динамическая ошибка слежения определяется по формуле (12.1) при p_{21} = const, $V_2 \neq$ const.

Коэффициент усиления по x:

$$k_X = \frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}.$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$k_N = \frac{N_{пр}}{N_2},$$

где $N_{пр}$ – мощность, развиваемая приводом датчика; $N_{пр} = P_{пр}\dfrac{dx_1}{dt}$;

$P_{пр}$ - приведенная к датчику 1 сила, развиваемая на штоке гидроцилиндра;

$N_2 = P_{21} \cdot V_2$.

Витебский государственный технологический университет

12.4. Уравнение статических характеристик следящего гидропривода

В процессе работы следящего гидропривода (см. рис. 12.2) масло, подаваемое насосом 17 проходит через кромки S_1, S_2 отверстий в гидрораспределителе 18, которые можно рассматривать как дроссели.

Формула потерь давления масла в щелевом отверстии (дросселе) имеет вид [13]

$$\Delta p = \frac{r}{2m^2 \cdot f^2} \cdot Q, \qquad (12.2)$$

где: ρ – плотность масла, ρ ≈ 900 кг/м^3;

μ - коэффициент расхода, определяемый опытным путем, μ = 0,65…0,75; $\mu^2 \approx 0{,}5$;

f – площадь сечения щелевого отверстия; $f = b \cdot S$; b – длина щели ($b = p \cdot d$); S – ширина кромки;

Q – объемный расход масла (м^3/с).

С учетом приведенных пояснений формула (12.2) принимает вид:

$$\Delta p = \frac{900 \cdot Q^2}{(b \cdot S)^2}. \qquad (12.3)$$

Составим уравнения потерь давления для различных участков прохождения масла в гидрораспределителе и введем следующие обозначения:

Q_1 – расход масла, поступающего из нагнетательной линии насоса 17 в полость а гидрораспределителя;

Q_2 – расход масла, поступающего из полости б в бак;

Q_P – расход масла в левой и правой полостях гидроцилиндра 9;

P_1 – давление масла на выходе насоса 17;

P_a - давление масла в полости а;

$P_б$ - давление масла в полости б.

Давление масла, поступающего на слив принимаем равным нулю.

$$p_1 - p_a = \frac{900 \cdot Q_1^2}{(b \cdot S_2)^2}; \qquad (12.4)$$

$$p_a = \frac{900 \cdot (Q_1 - Q_P)^2}{(b \cdot S_1)^2}; \qquad (12.5)$$

$$p_1 - p_б = \frac{900 \cdot (Q_2 + Q_P)^2}{(b \cdot S_1)^2}; \qquad (12.6)$$

$$p_б = \frac{900 \cdot Q_2^2}{(b \cdot S_2)^2}. \qquad (12.7)$$

Витебский государственный технологический университет

Из уравнений (12.4), (12.5), (12.6), (12.7) определим:

$$Q_1 = \frac{b \cdot S_2}{30}\sqrt{p_1 - p_a}\ ; \qquad (12.8)$$

$$Q_1 - Q_P = \frac{b \cdot S_1}{30}\sqrt{p_a}\ ; \qquad (12.9)$$

$$Q_2 + Q_P = \frac{b \cdot S_1}{30}\sqrt{p_1 - p_б}\ ; \qquad (12.10)$$

$$Q_2 = \frac{b \cdot S_2}{30}\sqrt{p_б}\ . \qquad (12.11)$$

Из уравнений (12.8), (12.9) и (12.10), (12.11) определим расход $Q_р$:

$$Q_P = \frac{b \cdot S_2}{30}\sqrt{p_1 - p_a} - \frac{b \cdot S_1}{30}\sqrt{p_a}\ ; \qquad (12.12)$$

$$Q_P = -\frac{b \cdot S_2}{30}\sqrt{p_б} + \frac{b \cdot S_1}{30}\sqrt{p_1 - p_б}\ . \qquad (12.13)$$

Обозначим: $Q_p = F \cdot V_П$, где F – площадь сечения гидроцилиндра 9;

$V_П$ - скорость поршня 8.

С учетом этого уравнения (12.12) и (12.13) имеют вид

$$b \cdot S_2\sqrt{p_1 - p_a} - b \cdot S_1\sqrt{p_a} = 30F \cdot V_П\ . \qquad (12.14)$$

$$-b \cdot S_2\sqrt{p_б} - b \cdot S_1\sqrt{p_1 - p_б} = 30 \cdot V_П\ . \qquad (12.15)$$

Обозначим: $P_1 = p_1 \cdot F$, $P_a = p_a \cdot F$, $P_б = p_б \cdot F$.

Получим из (12.14) и (12.15):

$$b \cdot S_2\sqrt{p_1 - p_a} - b \cdot S_1\sqrt{p_a} = 30F^{\frac{3}{2}} \cdot V_П\ ; \qquad (12.16)$$

$$-b \cdot S_2\sqrt{p_б} - b \cdot S_1\sqrt{p_1 - p_б} = 30F^{\frac{3}{2}} \cdot V_П\ . \qquad (12.17)$$

Витебский государственный технологический университет

Обозначим S – смещение плунжера 15 из среднего положения, тогда:

$$S_1 = S_0 - S;$$

$$S_2 = S_0 - S;$$

где S_0 - ширина кромки в среднем положении плунжера.

С помощью уравнений (12.16), (12.17) могут быть построены графики зависимостей $V_П = f(S)$ для различных усилий на штоке $P = P_а - P_б$.

Задаются диапазоном изменения $S_{\min} \le S \le S_{\max}$ и $P_{a\min} \le P_a \le P_{a\max}$.Выбирая из этого диапазона ряд значений S и Pa и определяя для каждой пары значений из уравнений (12.16), (12.17) значение $V_П$, построим график зависимости $V_П = f(S)$ при P = 0.

Аналогичным образом строятся графики $V_П = f(S)$ при P > 0 и P < 0. Вид графиков показан на рис. 12.4.

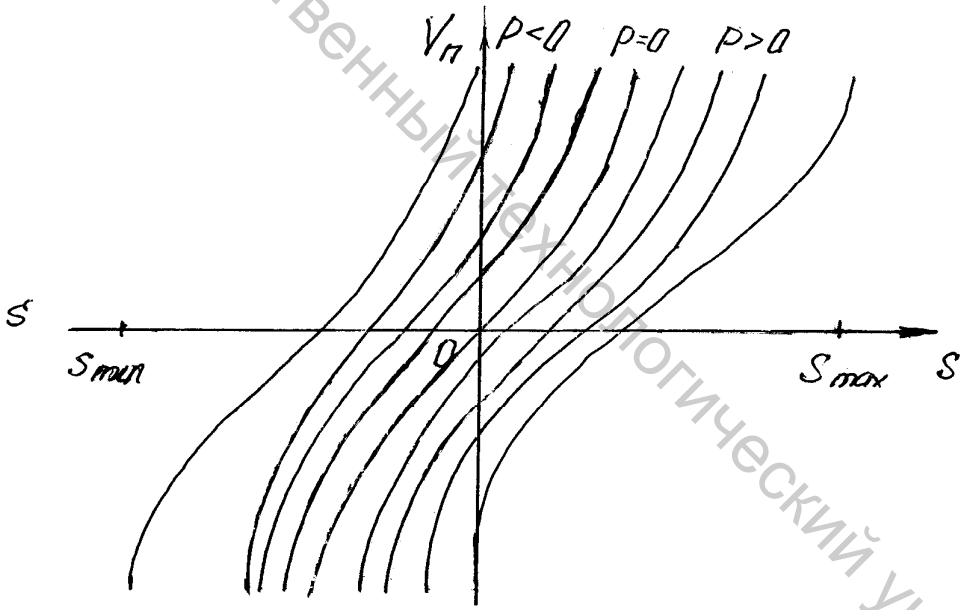


Рисунок 12.4 – Графики статических характеристик следящего гидропривода

Витебский государственный технологический университет

12.5. Расчет характеристик пневмосистемы

К характеристикам пневмосистемы относятся зависимость абсолютного давления воздуха p в пневмокамере 12 (см. рис. 12.2) от смещения Δx_2 края детали 2 и зависимость смещения s плунжера 15 гидрораспределителя 18 от p.

Для вывода зависимости p от Δx_2 рассмотрим уравнение первого закона термодинамики для объема воздуха V, содержащегося в пневмокамере 12 и трубопроводе, соединяющем пневмокамеру с соплом 1 (см. рис. 12.2) [14]:

$$dQ + i_м dm_м = dU + dL + idm, \qquad (12.18)$$

где: dQ - подведенное к пневмокамере (или отведенное от нее) тепло;

dU - изменение внутренней энергии системы;

dL - механическая работа, совершаемая в системе;

$i, i_м$ - соответственно энтальпия воздуха, содержащегося в пневмокамере и в магистрали;

$dm, dm_м$ - соответственно масса воздуха, вытекающего из пневмокамеры и поступающего в нее из магистрали;

Учитывая, что пренебрежимо мал теплообмен с окружающей средой (dQ =0) и объем пневмокамеры V изменяется незначительно (dV = 0; dL = pdV = 0) уравнение (12.18) принимает вид:

$$i_м dm_м = dU + idm. \qquad (12.19)$$

Энтальпии i и $i_м$ выразим через теплоемкость воздуха при постоянном давлении C_P и абсолютные температуры T_M воздуха в магистрали и T – в пневмокамере:

$$i = C_P T;$$

$$i_м = C_P T_м.$$

Внутреннюю энергию воздуха в пневмокамере выразим через теплоемкость воздуха при постоянном объеме C_V массу воздуха в пневмокамере m и абсолютную температуру T:

$$U = C_V m T.$$

Дифференцируя U по T получим:

$$dU = C_V m dT.$$

Подставим полученные значения i, $i_м$ и dU в (12.19)

$$C_P T_м dm_м = C_V m dT + C_P T dm. \qquad (12.20)$$

Витебский государственный технологический университет

Продифференцируем уравнение газового состояния pV = mRT:

$$mRdT = pdT + Vdp,$$

где: p – абсолютное давление воздуха в пневмокамере, R – газовая постоянная, R = 287Дж/кг·к.

Так как dV = 0 то,

$$mdT = \frac{Vdp}{R}.$$

С учетом последнего выражения, а также с учетом известных соотношений $C_V = R/(n-1)$; $C_P = nR/(n-1)$ уравнение (12.20) принимает вид

$$nRT_м dm_м = Vdp + nRTdm. \qquad (12.21)$$

Выразим $dm_м$ и dm через расход $\Theta_м$ воздуха из магистрали в пневмокамеру и расход Θ из пневмокамеры в атмосферу через сопло 1 (см. рис. 12.2):

$$dm_м = \Theta_м dt, \qquad (12.22)$$

$$dm = \Theta dt. \qquad (12.23)$$

Расход $\Theta_м$ выражается формулой:

$$\Theta_м = \begin{cases} \dfrac{p_м m \cdot f_1 B j(e_1)}{\sqrt{T_м}}, & если \quad e_1 > e_{кр} \\ \dfrac{p_м m \cdot f_1 B_{кр}}{\sqrt{T_м}}, & если \quad e_1 \le e_{кр}, \end{cases}$$

где: $p_м$ – давление воздуха в магистрали;

f_1 – площадь сечения входного отверстия в пневмокамере;

μ – коэффициент расхода;

B = 0,156 с $К^{1/2}$/м;

$B_{кр}$ = 0,04 с $К^{1/2}$/м;

$$e_1 = \frac{p}{p_м}; \; j(e_1) = \sqrt{e_1^{\frac{2}{n}} - e^{\frac{n+1}{n}}};$$

n – показатель адиабаты, n = 1,4.

Витебский государственный технологический университет

Расход Θ выражается формулой:

$$\Theta = \begin{cases} \dfrac{pm \cdot f_2 Bj(e_2)}{\sqrt{T_м}}, & если \quad e_2 > e_{кр} \\ \dfrac{p_2 m \cdot f_2 B_{кр}}{\sqrt{T}}, & если \quad e_2 \le e_{кр} \end{cases},$$

где: f_2 – площадь сечения сопла;

$$f_2 = \frac{p r^2}{2} - \left(r + \sqrt{r^2 - x^2}\right) \cdot x; \qquad (12.24)$$

r – радиус сечения круглого сопла;

x – смещения сопла из нейтрального положения, соответствующего перекрытию краем детали половины сечения сопла;

$$e_2 = \frac{p_a}{p}; \; j(e_2) = \sqrt{e_2^{\frac{2}{n}} - e_2^{\frac{n+1}{n}}}.$$

После подстановки в уравнение (12.21) приведенных в (12.22), (12.23) значений $dm_м$ и dm получим:

$$dp = \frac{nR\left(T_м \Theta_м - T\Theta\right)dt}{V}.$$

Принимая $T_м = T$ получим:

$$dp = \frac{nRT\left(\Theta_м - \Theta\right)dt}{V}. \qquad (12.25)$$

Задаваясь рядом значений x в (12.24) и решая уравнение (12.25) численным методом для каждого x получим семейство зависимостей p = f(t).

При известном давлении p в пневмокамере можно определить перемещение s поршня гидрораспределителя:

$$s = \left(p - p_a\right) F \cdot k,$$

где k – коэффициент упругости чувствительного элемента;

F – площадь сильфона, воспринимающая избыточное давление воздуха;

p_a - атмосферное давление воздуха.

Витебский государственный технологический университет

ЛИТЕРАТУРА

1. Комиссаров, А. И. Проектирование и расчет машин обувных и швейных производств / А. И. Комиссаров, В. В. Жуков, В. В. Сторожев. – Москва : Машиностроение, 1978. – 431 с.

2 Методические указания по разделу «Дискретные системы управления» курса «Автоматизация технологических процессов». Ч. 1, 2 / ВТИЛП ; сост. Л. В. Иванова. – Витебск, 1986.

3. Герц, Е. В. Синтез пневматических приводов / Е. В. Герц, В. П. Зенченко, Г. В. Крейнин. – Москва : Машиностроение, 1966. – 212 с.

4. Ганулич, А. А. Пневмоавтоматика и пневмопривод швейного оборудования : справочное пособие / А. А. Ганулич. – Москва : Легпромиздат, 1986. – 152 с.

5. Коновалов, Л. И. Элементы и системы электроавтоматики : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов / Л. И. Коновалов, Д. П. Петелин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1985.

6. Гусев, В. В. Электроника : учебное пособие для приборостроит. спец. ВУЗов / В. В. Гусев, Ю. М. Гусев. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1991. – 621 с. : илл.

7. Головенков, С. Н. Основы автоматики и автоматического регулирования станков с программным управлением : учебник для машиностроительных техникумов / С. Н. Головенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1988. – 288 с. : илл.

8. Кенио, Т. Шаговые электродвигатели и их микропроцессорные системы управления : пер. с англ. / Т. Кенио. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 200 с. : илл.

9. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – Москва : Наука, 1975. – 640 с. : илл.

10. Дусматов, Х. С. Экспериментальное исследование механических характеристик шагового электропривода / Х. С. Дусматов, Б. С. Сункуев, Э. П. Радченко // Сборник научных трудов ВГТУ. Ч. 1 / ВГТУ. – Витебск, 1995. – С. 127-129.

11. Расчет электропривода машин легкой промышленности : методическая разработка по курсу «Расчет и конструирование типовых машин, автоматов и автоматических линий» / ВТИЛП. – Витебск, 1986.

12. Сункуев, Б. С. Исследование динамических характеристик шаговых двигателей / Б. С. Сункуев, С. А. Беликов, Т. В. Кузнецова // Сборник статей XXXI научно-технической конференции / ВГТУ. – Витебск, 1998. – С. 117-119.

13. Гидравлический следящий привод / Н. С. Галынин [и др.] ; под общ. ред. В. А. Лещенко. – Москва : Машиностроение, 1968. – 564 с.

14. Сункуев, Б. С. Расчет пневмо- и гидропривода машин легкой промышленности: учебное пособие / Б. С. Сункуев. – Минск : БТИ им. С.М.Кирова, 1988. – 46 с.

Витебский государственный технологический университет