

Б.С. Сункуев

**РАСЧЕТ И
КОНСТРУИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ
МАШИН ЛЕГКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Б.С. Сункуев

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ МАШИН ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Машины и аппараты легкой, текстильной
промышленности и бытового обслуживания»*

Витебск
2015

УДК 67/68:682.5, 62-83, 622-522.3/6(075.8)
622-522.7, 622-523, 62.529
ББК 34.4
С89

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор В.В. Сторожев;
доктор технических наук, профессор П.Е. Войтехович

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол №

Сункуев, Б. С.

С89 Расчет и конструирование типовых машин легкой
промышленности : учебник / Б. С. Сункуев. – Витебск : УО «ВГТУ»,
2014. – 198 с.

ISBN 978-985-481-369-1

В учебнике изложены сведения по расчетам свободных и вынужденных колебаний валов и корпусных деталей машин, методам уравнивания механизмов швейных машин, расчетам демпферов и виброизоляции машин. Приводятся сведения по классификации, структуре и проектированию систем путевого и числового программного управления, следящих систем управления машин-автоматов легкой промышленности.

УДК 67/68:682.5, 62-83, 622-522.3/6(075.8)
622-522.7, 622-523, 62.529
ББК 34.4

ISBN 978-985-481-369-1

© Сункуев Б.С., 2014
© УО «ВГТУ», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН	8
1 СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МАШИН	8
1.1 Свободные колебания системы с одной степенью свободы.....	8
1.2 Свободные колебания системы с двумя степенями свободы.....	12
1.3 Свободные колебания систем со многими степенями свободы.....	14
1.4 Свободные колебания систем с распределенными параметрами	16
2 ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН	20
2.1 Возмущающие силы	20
2.2 Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы.....	23
2.3 Вынужденные колебания систем со многими степенями свободы...26	
2.4 Нормирование вибраций элементов машин.....	26
3 МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И ЗАЩИТЫ ОТ НИХ	29
3.1 Уравновешивание сил инерции звеньев	29
3.2 Демпфирование колебаний.....	34
3.2.1 Расчет antivибратора	34
3.2.2 Расчет демпфера вязкого трения	38
3.3 Расчет виброизоляции машин	40
ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН-АВТОМАТОВ	44
4 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	44
4.1 Основные понятия и определения теории производительности машин-автоматов.....	44
4.2 Классификация машин-автоматов по способу организации рабочего и технологического циклов	45
5 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ОДНООПЕРАЦИОННЫХ МАШИНАХ-АВТОМАТАХ	48
5.1 Однопозиционные машины-автоматы	48
5.2 Многопозиционные машины-автоматы с ротором, вращающимся с остановками	49
5.3 Многопозиционные роторные машины-автоматы с ротором, вращающимся непрерывно.....	51
5.4 Однооперационные многоголовочные машины-автоматы	53
5.5 Система однооперационных автономных машин-автоматов	54
6 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ МАШИН-АВТОМАТОВ	56
6.1 Машина-автомат с единым устройством многооперационного транспортирования, движущимся с остановками.....	56

6.2 Роторная линия.....	57
7 РАСЧЕТ ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН	58
ЧАСТЬ 3. СТРУКТУРА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН-АВТОМАТОВ	61
8 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.....	61
8.1 Формы представления законов движения рабочих органов.....	62
8.2 Формы представления согласованных законов движения рабочих инструментов.....	64
8.3 Классификация систем управления	67
9 СТРУКТУРА СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	68
9.1 Классификация систем путевого управления	68
9.2 Сведения из алгебры логики, используемые при проектировании систем путевого управления.....	69
9.3 Элементы систем путевого управления.....	77
10 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ...	84
10.1 Постановка задачи проектирования систем путевого управления.....	84
10.2 Порядок проектирования систем путевого управления	89
11 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ	95
11.1 Пневматические системы путевого управления на мембранных элементах	95
11.2 Пневматические системы путевого управления на струйных элементах	104
12 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ	112
12.1 Системы путевого управления на электрических элементах.....	112
12.2 Системы путевого управления на электронных элементах	119
13 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ	127
13.1 Классификация систем ЧПУ.....	127
13.2 Структура систем ЧПУ	129
14 УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА.....	131
14.1 Представление законов движения рабочих органов в виде числовой информации.....	131
14.2 Структура программ перемещений рабочих органов	139
14.3 Программоносители.....	144
14.4 Кодирование программ на перфоленте.....	145
15 УСТРОЙСТВА ВВОДА И ОБРАБОТКИ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ	148
15.1 Устройства ввода и считывания программ	148
15.2 Дешифратор адресов	150
15.3 Оперативное запоминающее устройство	151

15.4 Блок задания скорости.....	153
15.5 Устройство преобразования кодов.....	154
15.6 Интерполятор.....	161
15.7 Блок электронного коммутатора.....	164
16 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СИСТЕМ ЧПУ.....	166
16.1 Шаговые электродвигатели.....	166
16.2 Механические характеристики шаговых электродвигателей.....	168
17 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	172
17.1 Структура исполнительных механизмов.....	172
17.2 Механизм подачи материала швейного полуавтомата фирмы USM.....	174
17.3 Механизм подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1.....	174
17.4 Исполнительные механизмы вырубочного прессы-автомата.....	177
17.5 Механизм подачи материала швейного полуавтомата для сборки плоских заготовок верха обуви и кожгалантерейных изделий.....	179
18 ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА....	181
18.1 Выбор структуры исполнительных механизмов.....	181
18.2 Определение кинематических характеристик исполнительных механизмов.....	182
18.3 Определение приведенных характеристик электропривода.....	183
18.4 Подбор шагового электродвигателя при старт-стопном движении.....	185
19 СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	187
19.1 Структура следящих систем, область применения.....	187
19.2 Схема следящей системы швейного полуавтомата.....	188
19.3 Основные характеристики следящих систем.....	190
19.4 Уравнение статических характеристик следящего гидропривода.....	191
19.5 Расчет характеристик пневмосистемы.....	194
ЛИТЕРАТУРА.....	197

ВВЕДЕНИЕ

При разработке настоящего учебника учитывалось то, что большинство вопросов, связанных с расчетом и конструированием машин и аппаратов легкой промышленности, уже изучено студентом в таких дисциплинах, как «Синтез механизмов», «Расчет и конструирование машин и аппаратов» или же изучается параллельно в дисциплинах «Надежность машин отрасли», «Системы автоматизированного проектирования машин», «Робототехнические системы», «Проектирование машин отрасли».

В связи с этим в учебнике изучаются вопросы, не рассмотренные в перечисленных дисциплинах: прикладные аспекты теории колебаний, в том числе расчеты устройств защиты машин от вибраций, основы теории производительности машин-автоматов, ставшие в последние годы весьма актуальными вопросы проектирования систем управления машин-автоматов.

При изложении перечисленных вопросов автором широко использованы данные, полученные кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ» при проведении исследований по уравниванию механизмов промышленных швейных машин, при разработке вырубочного пресса и ряда швейных полуавтоматов с числовым программным управлением.

Изложенные в учебнике материалы рекомендуется использовать при изучении теоретических вопросов, выполнении лабораторных работ, решении задач на практических занятиях, выполнении курсовых и дипломных проектов.

ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

Объектами вибраций в машинах могут быть следующие конструктивные элементы:

- 1) быстро вращающиеся валы, особенно длинные валы с большими расстояниями между опорами и консолями;
- 2) консольные и поперечные элементы корпусных деталей большой длины;
- 3) станины машин относительно оснований и фундаментов;
- 4) фундаменты машин относительно перекрытий зданий и грунта.

Колебания могут вызываться силами инерции неуравновешенных вращающихся масс, силами инерции звеньев, совершающих поступательные, плоскопараллельные и возвратно-вращательные движения.

Вибрации валов и элементов станин машин приводят к увеличению напряжений в опасных сечениях этих элементов, что может привести к усталостному разрушению материала деталей, к износу направляющих и подшипников, снижению точности обработки за счет изменения положений рабочих органов.

Вибрации корпусных деталей и оснований машин могут передаваться на руки и ноги рабочего и при длительном воздействии вызывать заболевания.

1 СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МАШИН

Свободными называются колебания, которые совершает система, выведенная из состояния равновесия, без учета внешних возмущающих сил.

Рассмотрим свободные поперечные колебания валов, представленных в виде систем с одной, двумя и многими степенями свободы.

1.1 Свободные колебания системы с одной степенью свободы

На рисунке 1.1 *а* приведена конструкция вала 2, установленного в подшипниках 1. На валу 2 закреплен барабан 3.

На рисунке 1.1 *б* приведена расчетная схема колебательной системы вала в виде упругой балки, установленной на двух опорах и сосредоточенной массы m , закрепленной на балке.

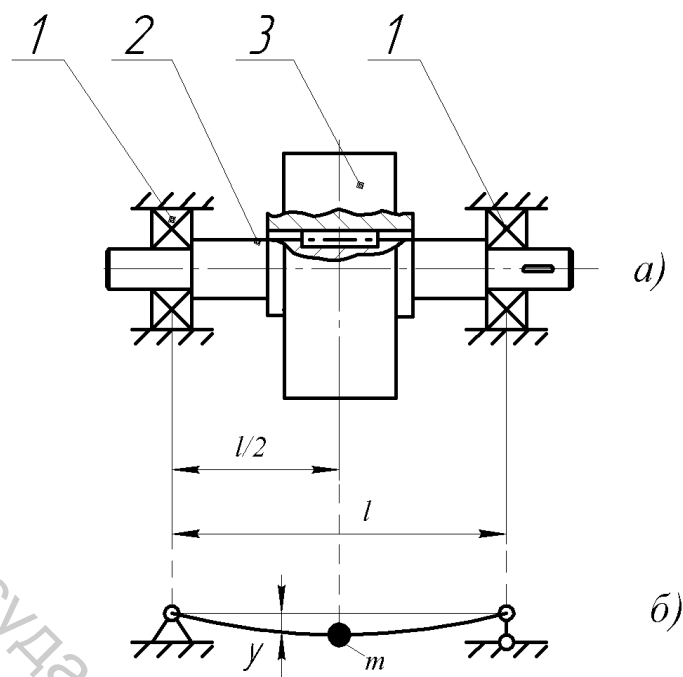


Рисунок 1.1

Как известно, коэффициент упругой силы k , действующей на массу m , определится из формулы

$$k = \frac{48EI}{l^3}, \quad (1.1)$$

где E – модуль упругости материала балки, для стали $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м²;

I – момент инерции сечения балки,

$$I = \frac{\pi d^4}{64};$$

d – диаметр сечения вала 2;

l – длина балки.

Массу m определим по методу Лунца [2]:

$$m = m_2 + \frac{2}{3}m_1, \quad (1.2)$$

где m_1 – масса вала 2;

m_2 – масса барабана 3.

Уравнение свободных колебаний массы m имеет вид:

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = 0, \quad (1.3)$$

где y – текущая координата массы m , отсчитываемая от положения статического равновесия (например, от прямой, соединяющей центры опорных шарниров);

b – коэффициент силы вязкого внутреннего трения материала балки, принимаемой пропорциональной скорости массы m .

Разделив члены уравнения (1.3) на m и обозначив $\frac{b}{m} = 2c$,

$\frac{k}{m} = \omega_0^2$, $\ddot{y} = \frac{d^2 y}{dt^2}$, $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$, получим:

$$\ddot{y} + 2c\dot{y} + \omega_0^2 \cdot y = 0. \quad (1.4)$$

Ищем решение уравнения (1.4) в виде [3]:

$$y = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (1.5)$$

где λ_1, λ_2 – корни характеристического уравнения

$$\lambda_{1,2} = -c \pm \sqrt{c^2 - \omega_0^2}.$$

При $c > \omega_0$ корни λ_1 и λ_2 вещественные и отрицательные. При этом y монотонно стремится к нулю, колебательный процесс отсутствует. При $c = \omega_0$ имеет место граничный случай между колебательным процессом и монотонным уменьшением y .

Рассмотрим случай $c < \omega_0$. При этом оба корня характеристического уравнения – сопряженные комплексные числа:

$$\lambda_{1,2} = -c \pm i\sqrt{\omega_0^2 - c^2}.$$

Обозначим $\omega_0^2 - c^2 = \omega^2$. С учетом этого решение уравнения (1.4) имеет вид:

$$y = c_1 e^{-ct+i\omega t} + c_2 e^{-ct-i\omega t} = e^{-ct} c_1 e^{i\omega t} + c_2 e^{-i\omega t}.$$

С помощью формулы Эйлера [3] преобразуем показательные функции в тригонометрические:

$$c_1 e^{i\omega t} = c_1 \cos \omega t + i \sin \omega t,$$

$$c_2 e^{-i\omega t} = c_2 \cos \omega t - i \sin \omega t.$$

Тогда

$$y = e^{-ct} \left[\tilde{n}_1 + \tilde{n}_2 \cos \omega t + i \tilde{n}_1 - \tilde{n}_2 \sin \omega t \right].$$

Обозначив $\tilde{n}_1 + \tilde{n}_2 = \tilde{n}_3$, $\tilde{n}_1 - \tilde{n}_2 = \tilde{n}_4$, получим:

$$y = e^{-ct} c_3 \cos \omega t + i c_4 \sin \omega t. \quad (1.6)$$

Решение получено в виде комплексного числа. Для того, чтобы получить решение в действительной форме, воспользуемся следующим правилом [3]: если уравнение (1.4) с действительными коэффициентами имеет комплексное решение в виде (1.6), то каждая из функций $e^{-ct} c_3 \cos \omega t$ и $e^{-ct} c_4 \sin \omega t$ является решением этого уравнения [3]. Зная два частных решения, строим общее решение в действительной форме:

$$y = e^{-ct} c_3 \cos \omega t + c_4 \sin \omega t. \quad (1.7)$$

Приведем это решение в более удобную форму. Для этого заменим постоянные \tilde{n}_3, \tilde{n}_4 на постоянные \dot{A}, α посредством подстановок $c_3 = \dot{A} \sin \alpha$, $c_4 = \dot{A} \cos \alpha$:

$$y = \dot{A} e^{-ct} \sin \omega t + \alpha. \quad (1.8)$$

Полученное выражение характеризует колебательный затухающий процесс с круговой частотой ω и начальной фазой колебаний α .

Константы \dot{A} и α могут быть определены из начальных условий. Пусть, например, при $t = 0$: $y = y_0$; $\dot{y} = 0$. Тогда, подставив эти условия в (1.8), получим уравнения

$$y_0 = \dot{A} \sin \alpha, \quad (1.9)$$

$$\dot{y} = 0 = -\tilde{n} \dot{A} \sin \alpha + \dot{A} \omega \cos \alpha. \quad (1.10)$$

Из (1.9), (1.10) определим:

$$\dot{A} = \frac{y_0}{\sin \alpha}, \quad (1.11)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega}{\tilde{n}}. \quad (1.12)$$

Соответствующий график $y = f(t)$ показан на рисунке 1.2.

Степень затухания колебаний оценивается логарифмическим декрементом затухания ε , определяемым из формулы

$$\varepsilon = \ln \frac{y_n}{y_{n+1}}, \quad (1.13)$$

где y_n, y_{n+1} – абсолютные значения ординат графика (рис. 1.2), соответствующие абсциссам, отстоящим на величину полупериода колебаний.

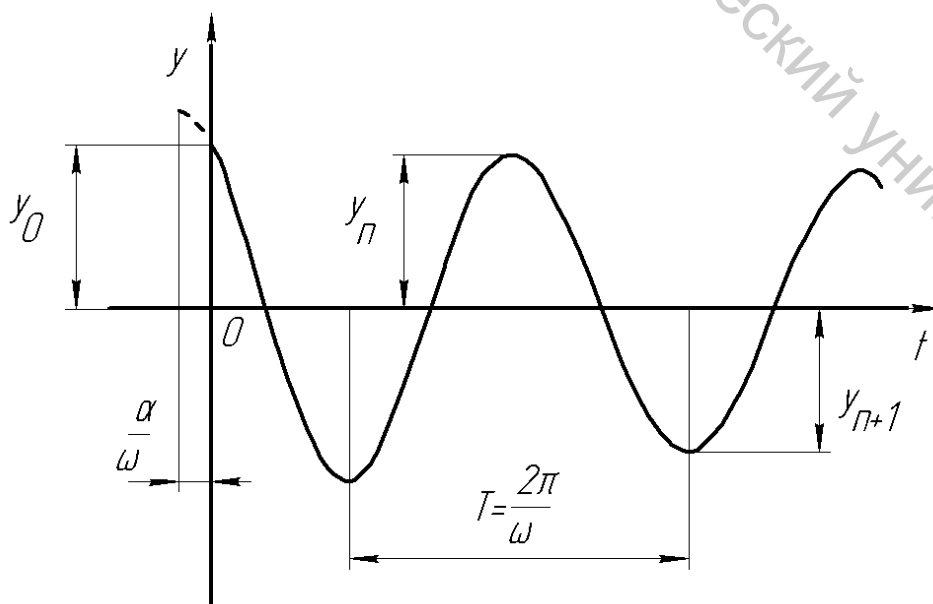


Рисунок 1.2

Для гармонических колебаний

$$\varepsilon = \ln \frac{\dot{A}e^{-\tilde{n}t}}{\dot{A}e^{-\tilde{n}\left(t+\frac{\pi}{\omega}\right)}} = \frac{\pi\tilde{n}}{\omega} = \frac{\pi\tilde{n}}{\sqrt{\omega_0^2 - \tilde{n}^2}}. \quad (1.14)$$

Логарифмический декремент затухания может быть определен экспериментально. Для этого необходимо экспериментальным методом определить амплитудные значения двух соседних колебаний y_n, y_{n+1} и подставить их значения в (1.13).

Величина ε зависит от материала элементов конструкции. Так, для стальных элементов конструкций машин $\varepsilon = 0,025...0,05$.

При известных ε и ω_0 из (1.14) определяется коэффициент \tilde{n} , входящий в уравнение колебаний (1.4):

$$c = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\varepsilon^2}}}.$$

Для стальных конструкций $\tilde{n} = 0,08...0,016 \omega_0$.

1.2 Свободные колебания системы с двумя степенями свободы

На рисунке 1.3 а приведена конструкция вала 2, установленного в подшипниках 1. На валу 2 закреплены рабочий барабан 3 и шкив клиноременной передачи 4.

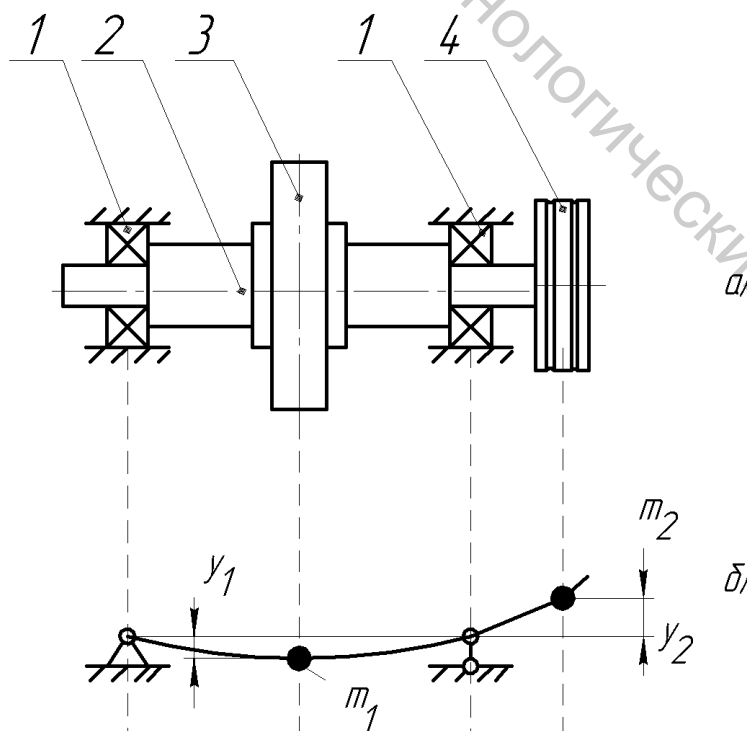


Рисунок 1.3

На рисунке 1.3 б приведена расчетная схема колебательной системы вала в виде упругой балки, установленной на двух опорах, и двух сосредоточенных масс m_1 и m_2 , закрепленных на балке. Массы m_1 и m_2 определяются по методу Лунца из соотношений

$$m_1 = m_3 + \frac{2m_3m_5}{3(m_4 + m_3)},$$

$$m_2 = m_4 + \frac{2m_4m_5}{3(m_4 + m_3)},$$

где m_3, m_4, m_5 – массы барабана 3, шкива 4 и вала 2.

Уравнения упругих колебаний точечных масс m_1 и m_2 без учета сил вязкого трения, способствующих затуханию колебаний, имеют вид:

$$m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 = 0, \quad (1.15)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 y_2 = 0. \quad (1.16)$$

Таким образом, деформация гибкой оси происходит под действием сил инерции масс m_1 и m_2 .

Тогда упругие перемещения y_1 и y_2 масс m_1 и m_2 под действием сил $-m_1 \ddot{y}_1$ и $-m_2 \ddot{y}_2$ определяются из уравнений [6]

$$y_1 = -m_1 \ddot{y}_1 \delta_{11} - m_2 \ddot{y}_2 \delta_{12}, \quad (1.17)$$

$$y_2 = -m_1 \ddot{y}_1 \delta_{21} - m_2 \ddot{y}_2 \delta_{22}, \quad (1.18)$$

где δ_{11} – упругое перемещение массы m_1 под действием единичной силы, приложенной к m_1 ;

δ_{12} – упругое перемещение массы m_1 под действием единичной силы, приложенной к m_2 ;

δ_{21} – упругое перемещение массы m_2 под действием единичной силы, приложенной к m_1 ;

δ_{22} – упругое перемещение массы m_2 под действием единичной силы, приложенной к m_2 .

Ищем решение системы дифференциальных уравнений (1.17), (1.18) в виде:

$$y_1 = \dot{A}_1 \sin \omega t + \alpha, \quad (1.19)$$

$$y_2 = \dot{A}_2 \sin \omega t + \alpha, \quad (1.20)$$

где \dot{A}_1 и \dot{A}_2 – амплитуды колебаний масс m_1 и m_2 ;

ω – круговая частота собственных колебаний системы;

α – начальный фазовый угол колебаний.

Подставим (1.19), (1.20), а также их вторые производные

$$\ddot{y}_1 = -\dot{A}_1 \omega^2 \sin \omega t + \alpha, \quad \ddot{y}_2 = -\dot{A}_2 \omega^2 \sin \omega t + \alpha \quad \text{в (2.17), (2.18).}$$

$$\dot{A}_1 \sin \omega t + \alpha - m_1 \omega^2 \dot{A}_1 \delta_{11} \sin \omega t + \alpha - m_2 \omega^2 \dot{A}_2 \delta_{12} \sin \omega t + \alpha = 0, \quad (1.21)$$

$$\dot{A}_2 \sin \omega t + \alpha - m_2 \omega^2 \dot{A}_1 \delta_{21} \sin \omega t + \alpha - m_2 \omega^2 \dot{A}_2 \delta_{22} \sin \omega t + \alpha = 0. \quad (1.22)$$

Уравнения (1.21) и (1.22) превращаются в тождества, если общие множители при $\sin \omega t + \alpha$ равны нулю:

$$1 - m_1 \delta_{11} \omega^2 \dot{A}_1 - m_2 \omega^2 \delta_{12} \dot{A}_2 = 0, \quad (1.23)$$

$$-m_1 \delta_{21} \omega^2 \dot{A}_1 + 1 - m_2 \delta_{22} \omega^2 \dot{A}_2 = 0. \quad (1.24)$$

Получили систему линейных уравнений относительно \dot{A}_1 и \dot{A}_2 . Не равные нулю корни системы имеют место при равенстве нулю общего определителя системы:

$$\begin{vmatrix} 1 - m_1 \delta_{11} \omega^2 & -m_2 \omega^2 \delta_{12} \\ -m_1 \omega^2 \delta_{21} & 1 - m_2 \delta_{22} \omega^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (1.25)$$

Решая определитель (1.25) с учетом равенства $\delta_{12} = \delta_{21}$, получим биквадратное (частотное) уравнение относительно ω :

$$m_1 m_2 \delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2 \omega^4 - m_1 \delta_{11} + m_2 \delta_{22} \omega^2 + 1 = 0. \quad (1.26)$$

Обозначим: $\omega^2 = x$; $m_1 m_2 \delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2 = \hat{A}$; $m_1 \delta_{11} + m_2 \delta_{22} = \hat{A}$, тогда $\hat{A} x^2 - \hat{A} x + 1 = 0$.

$$\text{Корни уравнения } x_{1,2} = \frac{\hat{A} \pm \sqrt{\hat{A}^2 - 4\hat{A}}}{2\hat{A}}.$$

Таким образом, имеем два действительных положительных корня уравнения (1.26).

Рассматриваемая система может совершать свободные колебания с двумя круговыми частотами $\omega_1 = \sqrt{x_1}$ и $\omega_2 = \sqrt{x_2}$. Этим частотам соответствуют разные формы колебаний упругой оси (рис. 1.4).

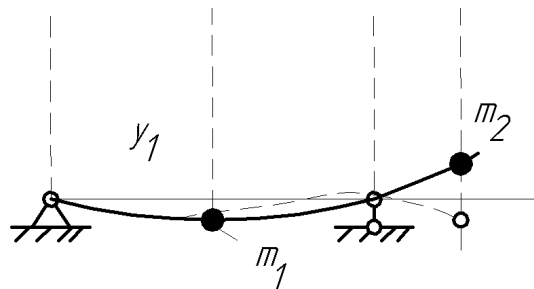


Рисунок 1.4

1.3 Свободные колебания систем со многими степенями свободы

Можно показать, что упругая система с числом n сосредоточенных масс имеет n круговых частот свободных колебаний

[5, 6]. При этом низшая круговая частота ω_1 называется основной, или главной, а остальные частоты $\omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ – высшими.

С увеличением числа масс растет степень частотного уравнения и возрастают трудности его решения.

Для приближенных расчетов можно пользоваться приближенными методами определения основных (низших) круговых частот собственных колебаний многомассовых систем. Рассмотрим некоторые методы.

Метод Рэлея

На рисунке 1.5 а приведена расчетная схема колебательной системы в виде упругой балки с закрепленными на ней четырьмя массами m_1, m_2, m_3, m_4 . Метод Рэлея основан на том, что для многомассовой системы определяются статические перемещения $y_{ст1}, y_{ст2}, y_{ст3}, y_{ст4}$ масс m_1, m_2, m_3, m_4 (рис. 1.5 б) при одновременном действии сил веса этих масс m_1g, m_2g, m_3g, m_4g . При этом можно воспользоваться уравнением упругой оси балки или методом Верещагина [7].

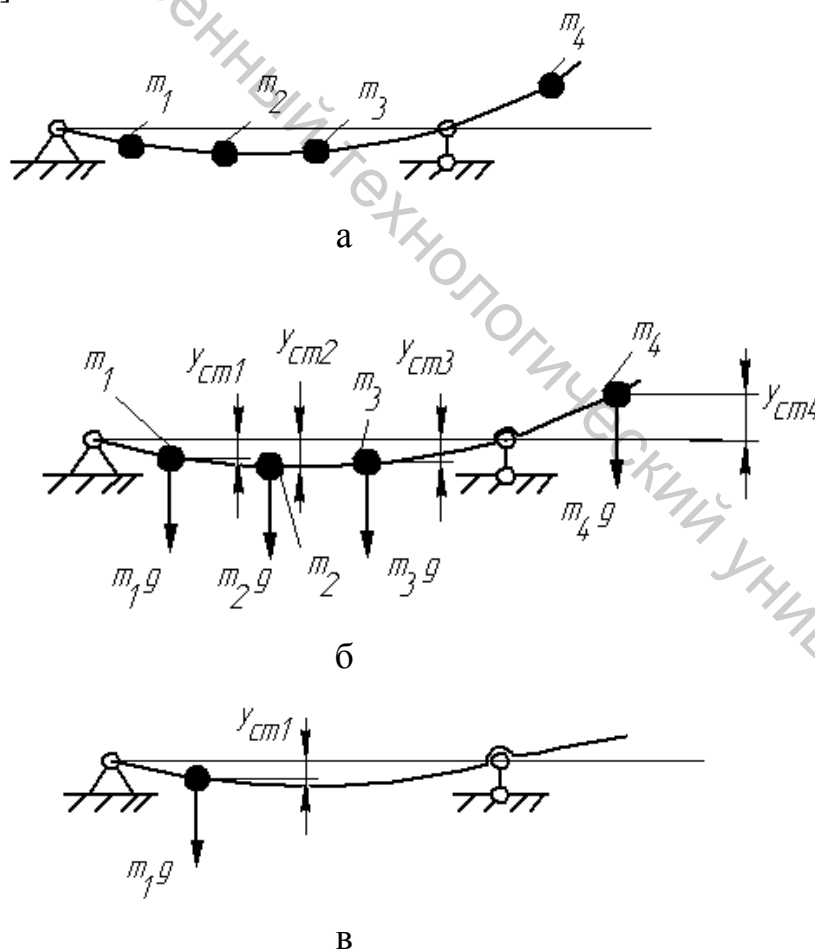


Рисунок 1.5

Низшая круговая частота колебаний системы определяется из формулы

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g \sum_{i=1}^n m_i y_{cmi}}{\sum_{i=1}^n m_i y_{cmi}^2}}. \quad (1.27)$$

В данном случае $i = 1, 2, 3, 4; n = 4$.

Метод Донкерли

Метод Донкерли основан на том, что сначала определяется статическое перемещение $y_{\bar{n}01}$ массы m_1 под действием только силы веса этой массы $m_1 g$ (рис. 1.5 в), аналогично определяются $y_{\bar{n}0i}$ для других масс. Затем из формулы

$$\frac{1}{\omega_0^2} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^n y_{cmi} \quad (1.28)$$

определяется низшая круговая частота системы.

Результаты, полученные из формул (1.27) и (1.28), различны. Истинное значение ω_0 расположено между полученными значениями.

1.4 Свободные колебания систем с распределенными параметрами

Конструктивные элементы станин машин, как правило, не могут быть представлены в виде упругих балок с сосредоточенными параметрами. Поэтому приходится рассматривать свободные колебания систем с распределенными параметрами.

На рисунке 1.6 показана конструкция станины основоуязальной машины, состоящая из двух вертикальных стоек 1, 3 и поперечины 2. При расчете частоты собственных колебаний поперечины 2 она может быть представлена в виде балки с двумя заделками (рис. 1.7).

Рассмотрим случай, когда удельная масса $q = \frac{m}{l}$ и момент инерции сечения I балки постоянны по ее длине l .

Выделим участок балки длиной dx на расстоянии x от начала координат $x - y$ и определим силу инерции этого элемента:

$$dP_e = -q dx \frac{d^2 y}{dt^2},$$

где y – смещение сечения элемента относительно положения равновесия. Уравнение изогнутой оси балки при действии

распределенной поперечной нагрузки интенсивностью $P = -q \frac{d^2 y}{dt^2}$ имеет вид [2]:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = p.$$

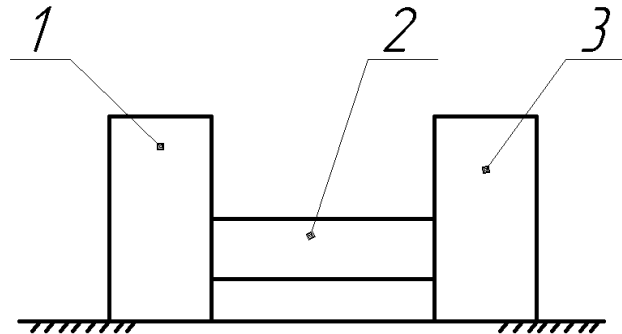


Рисунок 1.6

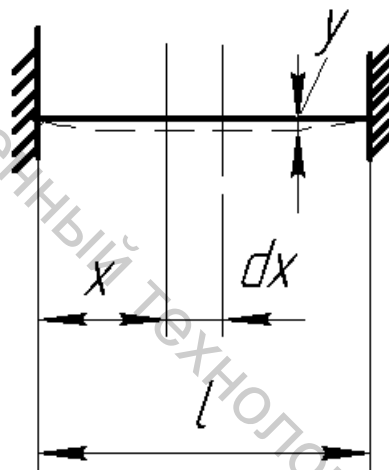


Рисунок 1.7

Уравнение свободных колебаний элемента балки:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + q \frac{d^2 y}{dt^2} = 0. \quad (1.29)$$

Перемещение y является функцией двух аргументов: x и t . Поэтому уравнение (1.29) перепишем в частных производных:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + q \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1.30)$$

Разделим члены уравнения на q и обозначим $\frac{EI}{q} = \beta$. Тогда

$$\beta \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1.31)$$

Решение дифференциального уравнения (1.31) ищем в виде произведения двух функций:

$$y = F(x) \cdot f(t). \quad (1.32)$$

Подставим (1.32) в (1.31):

$$\beta \cdot f(t) \frac{\partial^4 F(x)}{\partial x^4} + F(x) \frac{\partial^2 f(t)}{\partial t^2} = 0.$$

Разделим члены, содержащие переменные x и t :

$$\frac{1}{F(x)} \cdot \frac{d^4 F(x)}{dx^4} = -\frac{1}{\beta f(t)} \cdot \frac{d^2 f(t)}{dt^2} \quad (1.33)$$

Уравнение (1.33) превращается в тождество, если правая и левая части его равны постоянной величине, не зависящей ни от x , ни от t . Обозначим эту постоянную через γ^4 , тогда

$$\frac{d^4 F(x)}{dx^4} = F(x) \cdot \gamma^4, \quad (1.34)$$

$$\frac{d^2 f(t)}{dt^2} = -\beta f(t) \cdot \gamma^4. \quad (1.35)$$

Таким образом, получили систему двух обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами без правой части.

Рассмотрим сначала уравнение (1.35):

$$\frac{d^2 f(t)}{dt^2} + \beta \gamma^4 f(t) = 0.$$

Обозначим $\beta \gamma^4 = \omega_0^2$, тогда

$$\frac{d^2 f(t)}{dt^2} + \omega_0^2 f(t) = 0. \quad (1.36)$$

Общее решение этого уравнения ищем в виде:

$$f(t) = A \sin \omega_0 t + \alpha, \quad (1.37)$$

где A и α – постоянные интегрирования.

Рассмотрим теперь уравнение (1.34):

$$\frac{d^4 F(x)}{dx^4} - \gamma^4 F(x) = 0.$$

Решение этого однородного дифференциального уравнения 4-го порядка ищем в виде линейной комбинации показательных функций, показателями степени которых являются корни характеристического уравнения $\lambda^4 - \gamma^4 = 0$, умноженные на x : $\lambda_1 = \gamma$; $\lambda_2 = -\gamma$; $\lambda_3 = i\gamma$; $\lambda_4 = -i\gamma$.

Решение имеет вид:

$$F(x) = c_1 e^{\gamma x} + c_2 e^{-\gamma x} + c_3 e^{i\gamma x} + c_4 e^{-i\gamma x}. \quad (1.38)$$

Преобразуем это уравнение в уравнение с тригонометрическими функциями. Для этого воспользуемся известными соотношениями между показательными функциями с действительными и мнимыми

показателями, с одной стороны, и гиперболическими и тригонометрическими, с другой [3]:

$$\begin{aligned} e^{\gamma x} &= ch\gamma x + sh\gamma x, \\ e^{-\gamma x} &= ch\gamma x - sh\gamma x, \\ e^{i\gamma x} &= \cos \gamma x + \sin \gamma x, \\ e^{-i\gamma x} &= \cos \gamma x - \sin \gamma x. \end{aligned} \quad (1.39)$$

Подставив (1.39) в (1.38), получим:

$$F(x) = c_1 + c_2 ch\gamma x + c_1 - c_2 ch\gamma x + c_3 + c_4 \cos \gamma x + c_3 - c_4 \sin \gamma x.$$

Обозначим: $c_1 + c_2 = D_4$; $c_1 - c_2 = D_3$; $c_3 + c_4 = D_2$; $c_3 - c_4 = D_1$, тогда

$$F(x) = D_4 ch\gamma x + D_3 ch\gamma x + D_2 \cos \gamma x + D_1 \sin \gamma x \quad (1.40)$$

Общее решение уравнения (1.34) с учетом (1.37) и (1.40) имеет вид:

$$F(x) = D_1 \sin \gamma x + D_2 \cos \gamma x + D_3 sh\gamma x + D_4 ch\gamma x. \quad (1.41)$$

Из (1.41) следует, что колебания имеют негармонический характер без затухания. Постоянные интегрирования D_1, D_2, D_3, D_4 определяются из граничных условий (рис. 1.7). При $x=0$: $y=0$, $\frac{dy}{dx} = 0$. При $x=l$: $y=0$; $\frac{dy}{dx} = 0$. Подставим эти условия в (1.41):

$$y_{x=0} = A \sin \omega_0 t + \alpha \quad D_2 + D_4 = 0. \quad (1.42)$$

$$\frac{dy}{dx}_{x=0} = A\gamma \cos \omega_0 t + \alpha \quad D_1 + D_3 = 0. \quad (1.43)$$

$$y_{x=l} = A \sin \omega_0 t + \alpha \left[D_1 \sin \gamma l - sh\gamma l + D_2 \cos \gamma l - sh\gamma l \right]. \quad (1.44)$$

$$\frac{dy}{dx}_{x=l} = A\gamma \cos \omega_0 t + \alpha \left[D_1 \cos \gamma l - ch\gamma l - D_2 \sin \gamma l - sh\gamma l \right]. \quad (1.45)$$

Из (1.44) и (1.45) следует:

$$\begin{aligned} D_1 \sin \gamma l - sh\gamma l + D_2 \cos \gamma l - sh\gamma l &= 0, \\ D_1 \cos \gamma l - ch\gamma l - D_2 \sin \gamma l + sh\gamma l &= 0. \end{aligned} \quad (1.46)$$

Система уравнений (1.46) имеет корни, отличные от нуля, если равен нулю определитель, составленный из коэффициентов при неизвестных D_1 и D_2 :

$$\begin{vmatrix} \sin \gamma l - sh\gamma l & \cos \gamma l - ch\gamma l \\ \cos \gamma l - ch\gamma l & \sin \gamma l + sh\gamma l \end{vmatrix} = 0.$$

Решая определитель, получим уравнение:

$$\sin \gamma l - sh\gamma l \quad \sin \gamma l + sh\gamma l - \cos \gamma l - ch\gamma l \quad \cos \gamma l - ch\gamma l = 0.$$

Решая это уравнение, получим:

$$\cos \gamma l = \frac{1}{ch\gamma l}. \quad (1.47)$$

Уравнение (1.47) можно решить графически, построив графики функций $\cos \gamma l$ и $1/ch\gamma l$ и найдя точки пересечения графиков (рис. 1.8):

$$\gamma l_1 = 4,73; \quad \gamma l_2 = 7,85; \quad \gamma l_k = \frac{2k+1}{2}\pi.$$

В уравнении (1.36) $\omega_0^2 = \beta\gamma^4$, а в уравнении (1.31) $\beta = \frac{EI}{q}$.

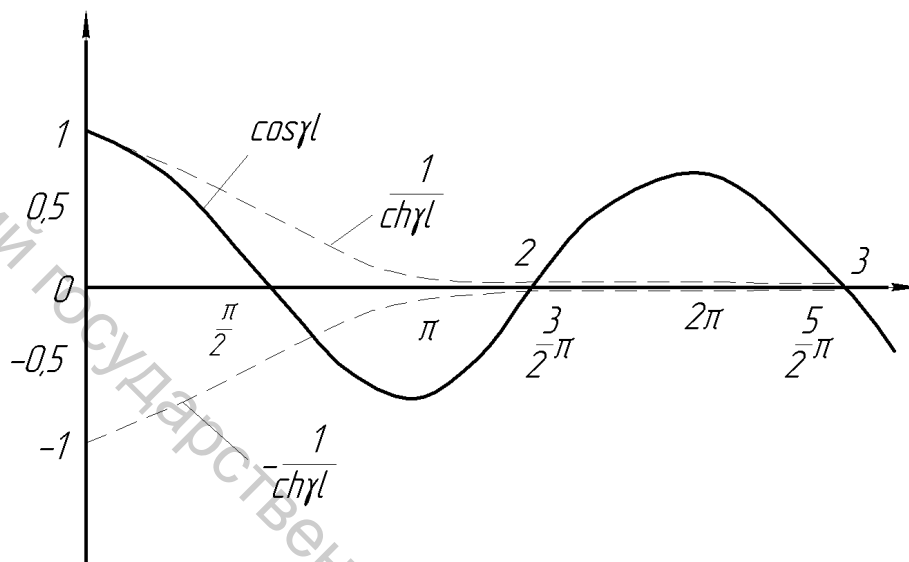


Рисунок 1.8

С учетом этого получим: $\omega_0 = \frac{\gamma l^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{q}}$.

Таким образом:

$$\omega_1 = \frac{22,37}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{q}}; \quad \omega_2 = \frac{61,62}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{q}}; \quad \omega_{k>2} = \frac{2k+1}{2} \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{q}}.$$

Указанных частот может быть бесконечно большое число из-за наличия распределенной массы.

2 ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

Вынужденными называются колебания, которые совершает система под действием внешних возмущающих сил.

2.1 Возмущающие силы

Силы, вызывающие колебания элементов машин, называются возмущающими. Природа возмущающих сил может быть различной. Чаще всего, это силы инерции подвижных звеньев (элементов) машин.

При вращении неуравновешенных масс возникают центробежные силы инерции. Если валу 2 (рис. 1.1 а) сообщить вращение с угловой скоростью Ω (например, через полумуфту, насаженную на правый

конец вала), то вследствие неуравновешенности барабана 3 возникает центробежная сила (рис. 2.1)

$$P_0 = m\Omega^2 e, \quad (2.1)$$

где m – приведенная масса барабана 3;

e – дисбаланс барабана 3, то есть смещение центра массы барабана относительно оси вращения вала.

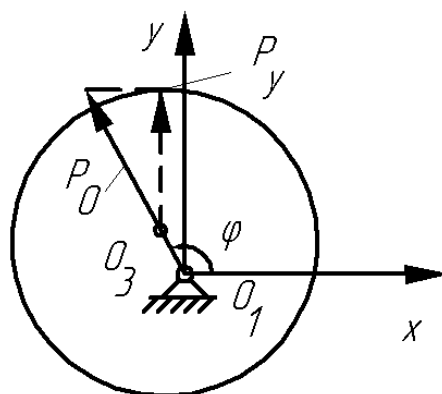


Рисунок 2.1 – Возмущающая сила от центробежной силы P_0 :
 O_1 – центр вращения вала 1, O_3 – центр массы барабана 3

При изучении вертикальных колебаний массы m (рис. 1.1 б) в качестве возмущающей силы следует принять проекцию на ось y силы P_0 (рис. 2.1):

$$P_y = P_0 \sin \varphi = P_0 \sin \Omega t, \quad (2.2)$$

где φ – угол поворота линии O_1O_3 , соединяющей центр вращения вала O_1 и центр массы барабана O_3 , отсчитываемый от оси x (рис. 2.1).

На рисунке 2.2 показана плоская схема сил инерции звеньев механизмов швейной машины, вызывающих вынужденные колебания корпуса 1, установленного на упругие опоры в виде резиновых прокладок 2. В качестве возмущающей нагрузки, вызывающей вертикальные (по оси y) колебания корпуса швейной машины, следует принять сумму проекций на ось y сил инерции звеньев механизмов:

$$P_y = \sum_{i=1}^{n=5} P_{yi},$$

где $i = 1, 2, \dots, 5$; n – число подвижных звеньев; P_{yi} – проекция на ось y силы P_i инерции i -го звена.

На рисунке 2.3 показан график изменения силы P_y в функции угла φ поворота кривошипа OA (рис. 2.2) механизма иглы, отсчитываемого от оси Oy . Из графика видно, что периодическая зависимость $P_y = f_y \varphi$ не имеет вида гармонической зависимости. Однако известно, что любая периодическая зависимость может быть

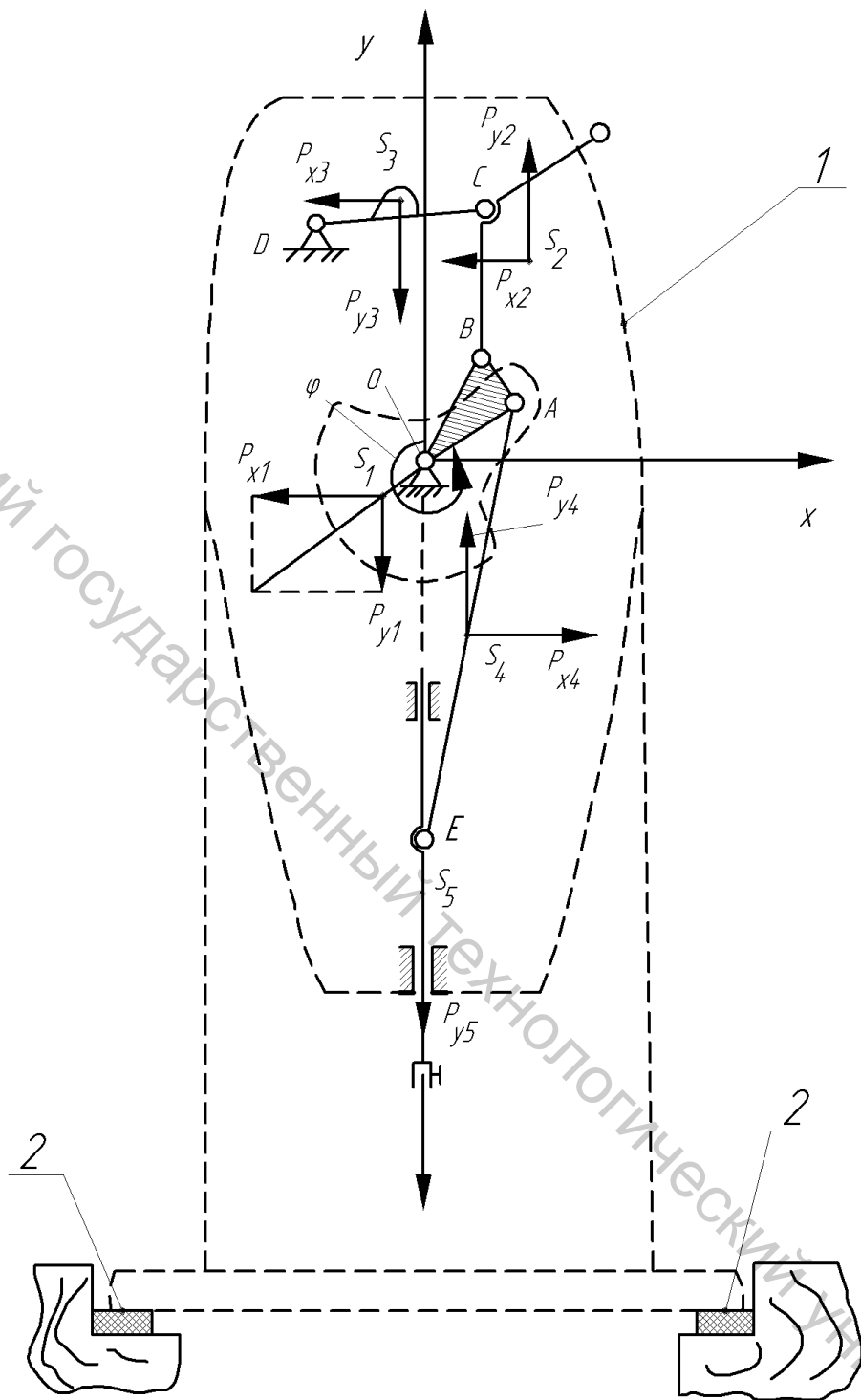


Рисунок 2.2

представлена в виде суммы простых гармонических посредством разложения в ряд Фурье [3]:

$$P_y = f \varphi = \frac{P_0}{2} + \sum_{i=1}^m P_i \cos i\Omega t + F_i \sin i\Omega t ,$$

где $\frac{P_0}{2}$ – свободный член ряда; P_i, F_i – коэффициенты ряда; m – число членов ряда.

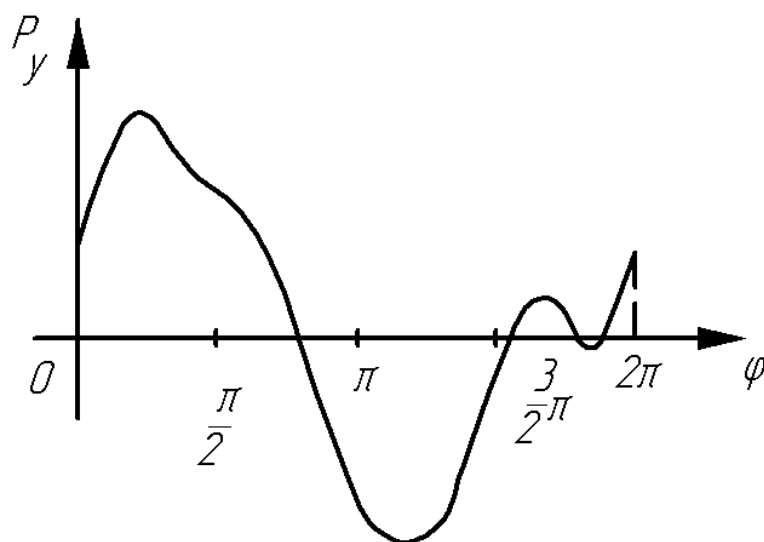


Рисунок 2.3

2.2 Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы

Рассмотрим вынужденные колебания вращающегося вала (рис. 1.1). Расчетная схема колебательной системы вала представлена на рисунке 2.4.

Уравнение вертикальных колебаний массы имеет вид:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = P_0 \sin \Omega t. \quad (2.3)$$

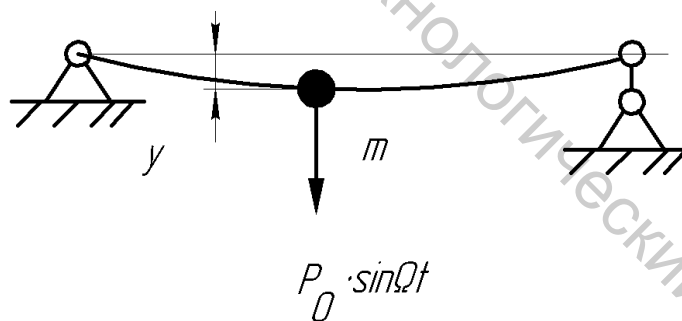


Рисунок 2.4

Разделив члены уравнения (2.3) на m и обозначив $\frac{b}{m} = 2c$;

$\frac{k}{m} = \omega_0^2$; $\frac{P_0}{m} = q$; $\frac{d^2 y}{dt^2} = \ddot{y}$; $\frac{dy}{dt} = \dot{y}$, получим:

$$\ddot{y} + 2c\dot{y} + \omega_0^2 y = q \sin \Omega t. \quad (2.4)$$

Решение линейного дифференциального уравнения второго порядка с правой частью (2.4) ищем в виде суммы общего решения (1.8) и частного решения

$$y = B \sin \Omega t + D \cos \Omega t. \quad (2.5)$$

Подставим частное решение (2.5) и его производные

$$\dot{y} = B\Omega \cos \Omega t - D\Omega \sin \Omega t,$$

$$\ddot{y} = -B\Omega^2 \sin \Omega t - D\Omega^2 \cos \Omega t$$

в исходное дифференциальное уравнение (2.4):

$$-B\Omega^2 - 2cD\Omega + \omega_0^2 B - q \sin \Omega t + -D\Omega^2 + 2cB\Omega + \omega_0^2 D \cos \Omega t = 0. \quad (2.6)$$

Полученное уравнение (2.6) превращается в тождество при равенстве нулю коэффициентов при $\sin \Omega t$ и $\cos \Omega t$:

$$B \omega_0^2 - \Omega^2 - 2c\Omega D = q, \quad (2.7)$$

$$B \cdot 2c\Omega + \omega_0^2 - \Omega^2 D = 0.$$

Решим систему (2.7) линейных уравнений относительно B и D :

$$B = \frac{q \omega_0^2 - \Omega^2}{\omega_0^2 - \Omega^2 + 4c^2 \Omega^2}, \quad (2.8)$$

$$D = \frac{-2c\Omega q}{\omega_0^2 - \Omega^2 + 4c^2 \Omega^2}. \quad (2.9)$$

Представим решение (2.5) в более удобной форме, заменив постоянные B и D на A_1 и α_1 :

$$B = A_1 \cos \alpha_1, \quad (2.10)$$

$$D = A_1 \sin \alpha_1. \quad (2.11)$$

Подставим (2.10) и (2.11) в (2.5), получим:

$$y = A_1 \sin \Omega t + \alpha_1, \quad (2.12)$$

где, с учетом (2.10) и (2.11), получим:

$$A_1 = \sqrt{B^2 + D^2} = \frac{q}{\sqrt{\omega_0^2 - \Omega^2 + 4c^2 \Omega^2}}, \quad (2.13)$$

$$\alpha_1 = \arctg \frac{B}{D} = \arctg \left(-\frac{2c\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2} \right). \quad (2.14)$$

Уравнение (2.12) описывает колебания с амплитудой A_1 и начальным фазовым углом α_1 .

Уравнение вынужденных колебаний следует представить в виде суммы выражений (1.8) и (2.12):

$$y = Ae^{-ct} \sin \omega t + \alpha + A_1 \sin \Omega t + \alpha_1. \quad (2.15)$$

При установившемся режиме колебаний $t \rightarrow \infty$ первый член уравнения (2.15) быстро уменьшается и может быть принят равным нулю. Тогда вынужденные колебания описываются уравнением (2.12).

При анализе вынужденных колебаний вводится динамический коэффициент амплитуды β [2], равный отношению амплитуды A_1 колебаний к величине перемещения A_{c0} массы m (рис. 2.5) под действием статической нагрузки, равной модулю P_0 :

$$\beta = \frac{A_1}{A_{c0}}. \quad (2.16)$$

Подставив в формулу $A_{c0} = \frac{P_0}{k}$ и A_1 из формулы (2.13), получим:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \frac{4c\Omega^2}{\omega_0^4}}}. \quad (2.17)$$

На рисунке 2.5 приведены графики зависимости β от соотношения $\frac{\Omega}{\omega_0}$ при различных значениях коэффициента $\frac{2c}{\omega_0}$.

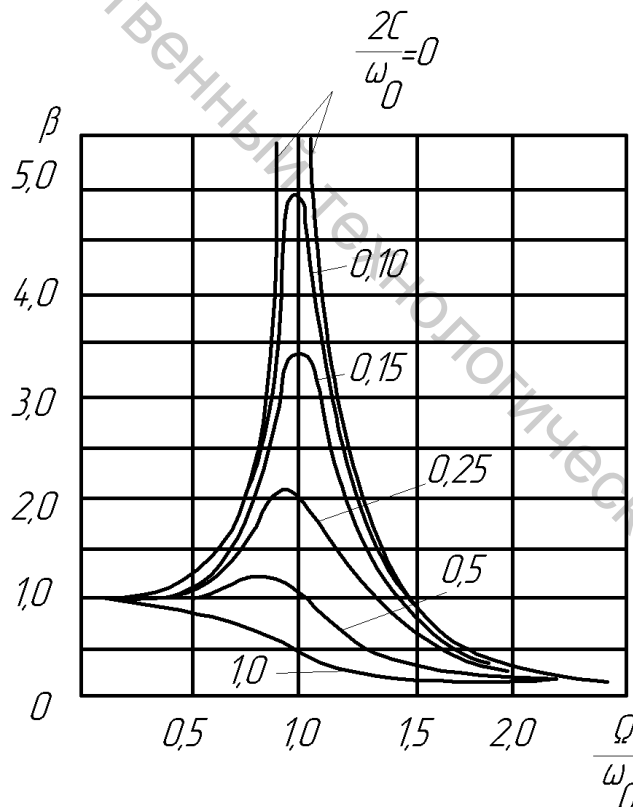


Рисунок 2.5 – Амплитудно-частотные характеристики

Пиковые значения β соответствуют совпадению частот собственных ω_0 и вынужденных колебаний системы, при котором имеет место резонансное состояние колебательной системы. При $c = 0$ формула (2.17) имеет вид:

$$\beta = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{\Omega^2}{\omega_0^2} \right) \right|}. \quad (2.18)$$

2.3 Вынужденные колебания систем со многими степенями свободы

В работах [5, 6] показано, что системы с n степенями свободы, имеющие n частот собственных колебаний ($\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$), имеют n резонансных состояний при совпадении круговой частоты Ω возмущающей нагрузки с одной из этих частот.

Система с распределенными параметрами, имеющая бесконечно большое число частот собственных колебаний, входит в резонансные состояния при совпадении Ω с каждой из частот собственных колебаний.

2.4 Нормирование вибраций элементов машин

Реальные вынужденные колебания элементов машин имеют значительно более сложный характер, чем в системах с одной степенью свободы, вследствие взаимодействия колебаний взаимосвязанных элементов машины, происходящих под действием различных по характеру возмущающих нагрузок. Экспериментальные исследования колебаний элементов машин показывают [4], что они слагаются из большого числа простейших гармонических составляющих с различными амплитудами, частотами и начальными фазами.

Зависимость амплитуд сложных колебательных процессов от соотношения фаз элементарных составляющих делает нецелесообразным использование амплитуд для оценки колебаний. Более универсальной характеристикой является среднеквадратичное значение y , называемое эффективным. Например, для синусоидальных колебаний $y_{эф} = 0,707y_{max}$.

Важнейшей характеристикой колебаний является их частотный спектр. Разложение сложного колебательного процесса на простейшие составляющие называют частотным анализом. Частотным спектром называют график зависимости амплитуды A_1 вынужденных колебаний в функции частоты f колебаний, где $f = \frac{\Omega}{2\pi}$.

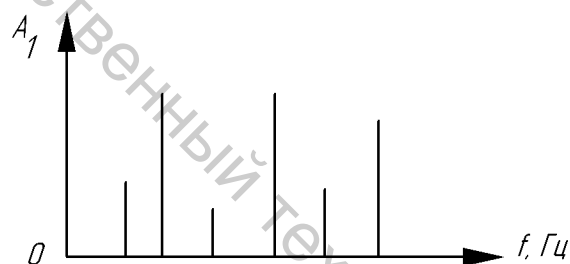
Различают три вида спектров: дискретный, сплошной, смешанный (рис. 2.6). Дискретный спектр (рис. 2.6 а) имеет место в случае периодических колебаний, для которых период T стабилен. Сплошной спектр (рис. 2.6 б) характерен для непериодических колебаний, нестабильных во времени, с переменными значениями

периодов T . Они могут быть представлены в виде графика непрерывной зависимости $A_1 = f t$. В машинах имеют место колебания указанных видов, представленных смешанным спектром (рис. 2.6 в).

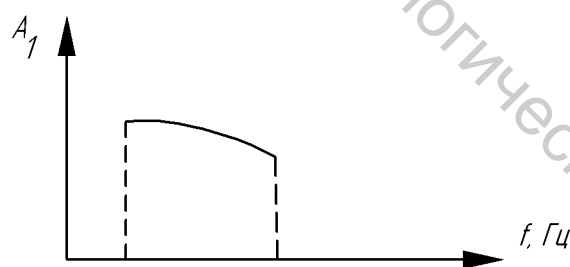
Октавной называется полоса частот, в которой верхняя (наибольшая) частота f_B в два раза больше нижней (наименьшей) частоты f_i . Результаты измерений амплитуд (скоростей и ускорений) при анализе относят к среднегеометрической частоте f , которую определяют по формуле

$$f = \sqrt{f_B \cdot f_i} = \sqrt{2 f_i \cdot f_i} = \sqrt{2} \cdot f_i = \frac{f_B}{\sqrt{2}}.$$

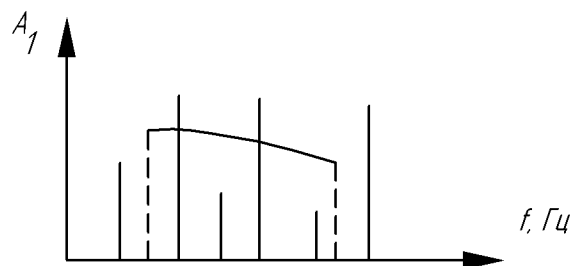
Среднегеометрические частоты нормированы и измерительные приборы для спектрального анализа имеют фильтры с определенными по ГОСТ среднегеометрическими частотами. Для спектрального анализа колебаний машин используют обычно октавные полосы со среднегеометрическими частотами (в Гц): 2, 4, 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000.



а



б



в

Рисунок 2.6

Вибрацию удобно выражать в относительных единицах виброскорости. За пороговое (нулевое) значение виброскорости принимают величину $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с (среднеквадратическая скорость), что соответствует звуковому давлению $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Логарифмический уровень виброскорости выражается в децибеллах (дБ) и определяется по формуле

$$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}, \quad (2.19)$$

где v – среднегеометрическое значение виброскорости (м/с), фиксируемое прибором для октавной полосы.

Повышенная вибрация отрицательно сказывается на здоровье работающих, она вызывает профессиональные заболевания и понижение производительности труда.

Вибрация, воздействующая на человека, делится на общую и локальную. Общая вибрация передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека (транспорт, ткацкие станки). Систематическое воздействие общей вибрации может быть причиной вибрационной болезни.

Локальная вибрация передается на руки человека (швейные машины). Вибрации подразделяются по направлению воздействия: вдоль осей системы координат x, y, z . Гигиеническими характеристиками вибрации, определяющими ее воздействие на человека, являются среднегеометрические значения виброскорости v (м/с) или ее логарифмические уровни в дБ в октавных полосах частот.

В таблице 2.1 даны нормируемые ГОСТ 12.1.012–90 значения виброскорости в производственных условиях.

Таблица 2.1 – Гигиенические нормы вибрации, воздействующие на человека в производственных условиях

Виды вибрации	Направления, по которым нормируется вибрация	Среднеквадратические значения виброскорости м/с·10 ⁻² , не более										
		Логарифмические уровни виброскорости, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
		1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Локальная вибрация	По каждой из осей	-	-	-	$\frac{5,0}{120}$	$\frac{5,0}{120}$	$\frac{3,5}{117}$	$\frac{2,5}{114}$	$\frac{1,8}{111}$	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,9}{105}$	$\frac{0,65}{102}$
Технологическая: на постоянных рабочих местах в производственных помещениях предприятий	Вертикальная (по оси z), или горизонтальная (по осям x и y)	-	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$				

3 МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И ЗАЩИТЫ ОТ НИХ

При конструировании машин принимаются меры для уменьшения параметров колебаний и защиты отдельных конструктивных элементов от источников колебаний. Известные методы подразделяют на следующие группы [2]:

- 1) уравнивание сил инерции звеньев;
- 2) демпфирование колебаний;
- 3) виброизоляция.

Рассмотрим указанные методы.

3.1 Уравнивание сил инерции звеньев

Силы инерции вращающихся масс уменьшают за счет балансировки этих масс [1].

При конструировании валов и закрепленных на них деталей стремятся таким образом определить форму деталей и распределить их массы, чтобы общий центр вращающейся системы располагался на оси вращения. Правильно спроектированная с точки зрения уравнивания система вращающихся деталей все же может иметь некоторую неуравновешенность вследствие неоднородности материалов, из которых изготовлены детали, неточности изготовления и монтажа. Поэтому быстровращающиеся валы, с закрепленными на них деталями, проверяют на балансировочных станках [1]. Конструкции балансировочных станков очень разнообразны, но большинство из них основано на принципе установки балансируемой системы на упругое основание (люлька на пружинах, подшипники на упругих опорах) и сообщении этой системе скорости вращения, близкой к резонансной.

Тогда неуравновешенные силы создают значительные амплитуды колебаний, которые регистрируются специальными устройствами, позволяющими определить места, в которых надо установить дополнительные уравнивающие массы или удалить лишнее количество материала.

Силы инерции звеньев механизмов машин, совершающих плоскопараллельное и поступательное движение, обычно уравнивают посредством установки вращающихся противовесов.

Например, силы инерции звеньев 1, 2, ..., n (рис. 2.2) швейной машины уравнивают противовесом, установленным на конце главного вала (точка O на рисунке 2.2) в передней части корпуса швейной машины. Конструктивная схема противовеса, совмещенного с ведущим звеном OA (рис. 2.2), показана на рисунке 3.1. В качестве параметров противовеса принимаем массу m_1 , OS_1 – расстояние между осью вращения O и центром массы S_1 , α – угол между кривошипом

OA и линией OS_1 . Центробежная сила инерции противовеса определится из формулы

$$P_1 = m_1 \Omega^2 \cdot OS_1. \quad (3.1)$$

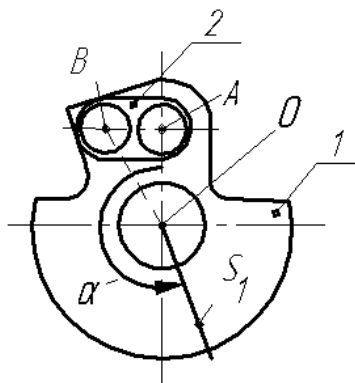


Рисунок 3.1 – Основной противовес швейной машины:
1 – диск, 2 – коленчатый палец

Обозначим: $m_1 \cdot OS_1 = S_1$, где S_1 – статический момент m_1 относительно O . Тогда

$$P_1 = S_1 \cdot \Omega^2. \quad (3.2)$$

Проекция P_1 на оси координат x и y (рис. 2.2 и 3.1) определяются из формул

$$P_{x1} = P_1 \cdot \sin \varphi - \alpha, \quad (3.3)$$

$$P_{y1} = P_1 \cdot \cos \varphi - \alpha. \quad (3.4)$$

Процесс уравнивания заключается в минимизации суммы сил инерции звеньев P_x и P_y за счет варьирования параметров m_1 , OS_1 , α . Суммарные силы инерции звеньев определяются из уравнений

$$P_x = \sum_{i=1}^n P_{xi}, \quad (3.5)$$

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{yi}. \quad (3.6)$$

где P_{xi} , P_{yi} – проекции на оси x и y сил инерции i -го звена; $i = 1, 2, \dots, n$; n – число звеньев механизма. С учетом (3.3) и (3.4) перепишем (3.4) и (3.5):

$$P_x = P_1 \sin \varphi - \alpha + \sum_{i=2}^n P_{xi}, \quad (3.7)$$

$$P_y = P_1 \cos \varphi - \alpha + \sum_{i=2}^n P_{yi}. \quad (3.8)$$

На рисунке 3.2 приведены графики P_x и P_y для механизмов швейного полуавтомата 1820 класса АО "Орша" при существующей

конструкции противовеса. Обозначим $|P_x|_{\max}, |P_y|_{\max}$ – максимальные модули функций $P_x = f_x \varphi$ и $P_y = f_y \varphi$. Из графиков на рисунке 3.2 видно, что $|P_y|_{\max} > |P_x|_{\max}$. В связи с этим можно поставить задачу минимизации $|P_y|_{\max}$ посредством уравнивания $|P_y|_{\max}$ и $|P_x|_{\max}$:

$$\Delta P = |P_y|_{\max} - |P_x|_{\max} = 0. \quad (3.9)$$

При $\Delta P = 0$ наибольшее по модулю амплитудное значение проекций сил инерции уменьшится. Из (3.1), (3.3), (3.7), (3.8), (3.9) следует, что

$$\Delta P = f m_1 OS_1 \alpha = 0. \quad (3.10)$$

Следовательно, задача уравнивания сводится к решению уравнения (3.10).

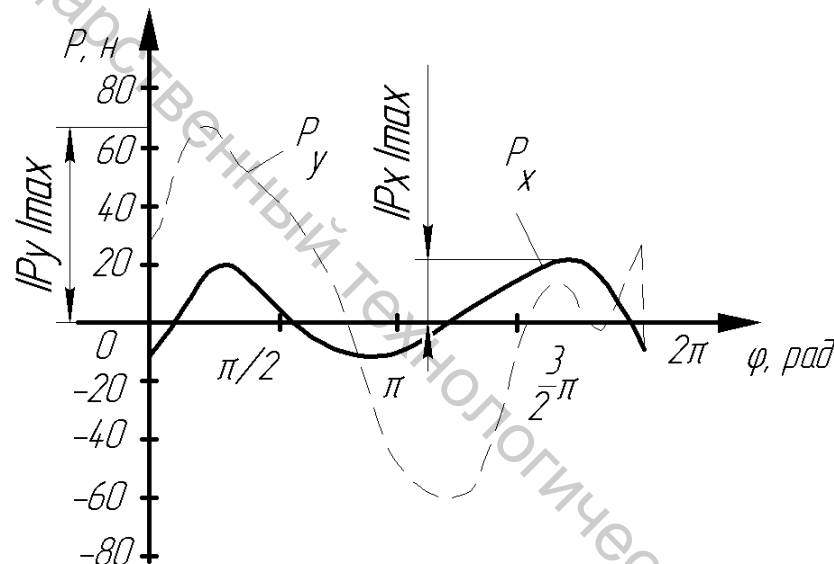


Рисунок 3.2 – Графики сил инерции механизмов швейного полуавтомата 1820 класса АО «Орша»

Решение может быть выполнено на ЭВМ. При этом для определения P_x и P_y согласно (3.7) и (3.8) можно использовать библиотеку программ «Assur» кинематического и силового анализа механизмов, разработанную в УО «ВГТУ» [8]. Корни уравнения (3.10) m_1^*, OS_1^*, α^* есть параметры противовеса, при которых $|P_x|_{\max} = |P_y|_{\max}$, а амплитудное значение проекций сил инерции на оси x и y – минимальное.

Ввиду ограниченности пространства в передней части корпуса швейной машины часто не удается разместить там противовес с пара-

метрами m_1^* , OS_1^* , α^* . В этом случае в передней части корпуса устанавливается основной противовес с параметрами $m_{i\bar{n}i}$, $OS_{i\bar{n}i}$, $\alpha_{i\bar{n}i}$ а в средней части корпуса – дополнительный противовес с параметрами $m_{1\bar{a}i}$, $OS_{1\bar{a}i}$, $\alpha_{\bar{a}i}$, определяемыми из равенств:

$$\begin{aligned} m_{1\bar{a}i} &= m_1^* - m_{i\bar{n}i}, \\ OS_{1\bar{a}i} &= OS_1^* - OS_{i\bar{n}i}, \\ \alpha_{\bar{a}i} &= \alpha^*. \end{aligned}$$

Отметим, что для определения параметров дополнительного противовеса необходимо знать параметры $m_{i\bar{n}i}$, $OS_{i\bar{n}i}$, $\alpha_{i\bar{n}i}$. Последние ввиду сложности конструкции основного противовеса (рис. 3.1) определяются со значительными погрешностями. Для уточнения параметров дополнительного противовеса целесообразно воспользоваться экспериментальным методом.

На рисунке 3.3 показана конструкция дополнительного противовеса с регулируемой массой. Дополнительный противовес выполнен разъемным для удобства установки на средней части главного вала без его разборки. Он состоит из деталей 1 и 3, стягиваемых двумя винтами 2. В детали 1 имеется отверстие диаметра D , заливаемое свинцом. Высверливая в свинце отверстия разных диаметров d можно изменять статический момент массы дополнительного противовеса, определяемый из формулы

$$S_{1\bar{a}i} = \left[\left(a \cdot b - \frac{\pi D^2}{4} \right) c \rho_1 + \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} c \rho_2 \right] e, \quad (3.11)$$

где a, b, c, e – размеры нижней детали дополнительного противовеса; ρ_1, ρ_2 – плотность стали и свинца.

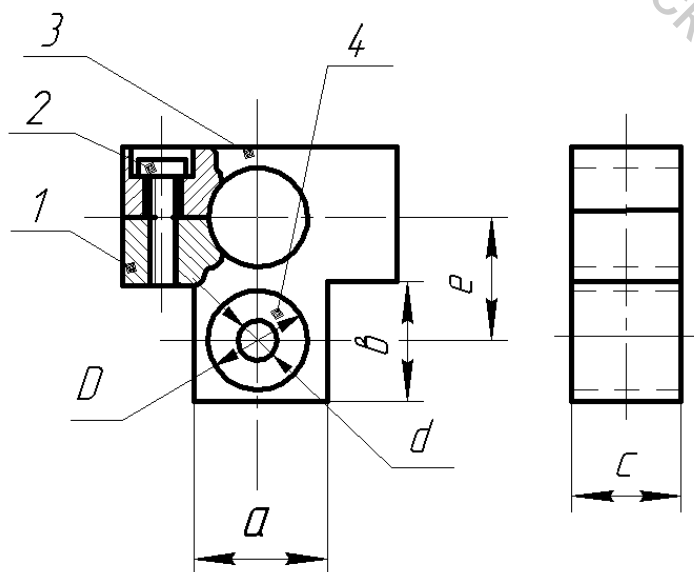


Рисунок 3.3 – Конструкция противовеса с регулируемой массой

При экспериментальном уточнении параметров дополнительного противовеса возможна минимизация непосредственно нормируемых показателей вибраций швейной машины. Например, можно установить в точках 1 и 2 (рис. 3.4) корпуса швейной машины датчики, фиксирующие виброскорости по направлениям осей x и y . Затем, изменяя статический момент массы дополнительного противовеса $OS_{\text{л\ddot{a}i\ddot{r}}}$ посредством высверливания в свинце отверстий диаметра $0 < d < D$, (рис. 3.3), фиксируют прибором виброскорости v_x и v_y . По результатам эксперимента строятся графики зависимостей $v_x = f_x S_{\text{л\ddot{a}i\ddot{r}}}$, $v_y = f_y S_{\text{л\ddot{a}i\ddot{r}}}$.

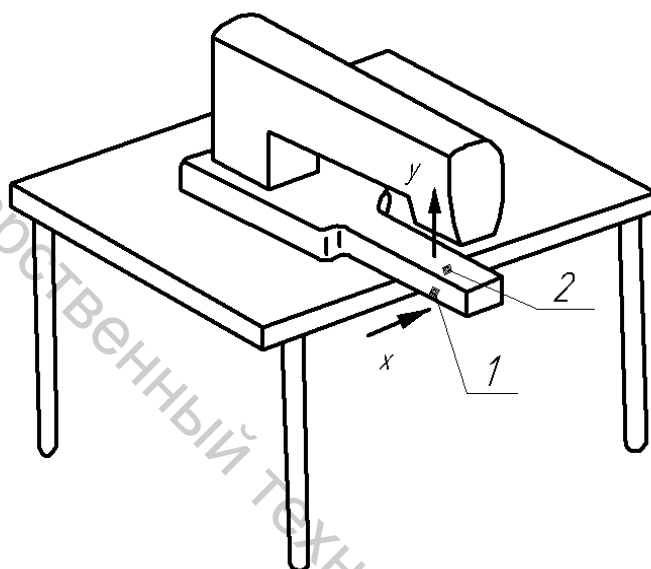


Рисунок 3.4 – Установка датчиков виброскорости на корпусе швейного полуавтомата 1820 класса АО «Орша»

На рисунке 3.5 построены графики по результатам экспериментальных исследований швейного полуавтомата 1820 класса АО "Орша". Из графиков видно, что при отсутствии дополнительного противовеса $v_y = 110$ дБА, $v_x = 102,5$ дБА. В точке пересечения графиков значения v_y и v_x уравниваются: $v_x = v_y = 105,65$ дБА.

Соответствующее значение $S_{\text{л\ddot{a}i\ddot{r}}} = 144$ г·см следует считать оптимальным, так как при этом верхний уровень виброскорости по осям x и y снижается со 110 дБА до 105,65 дБА, то есть на 4,35 дБА.

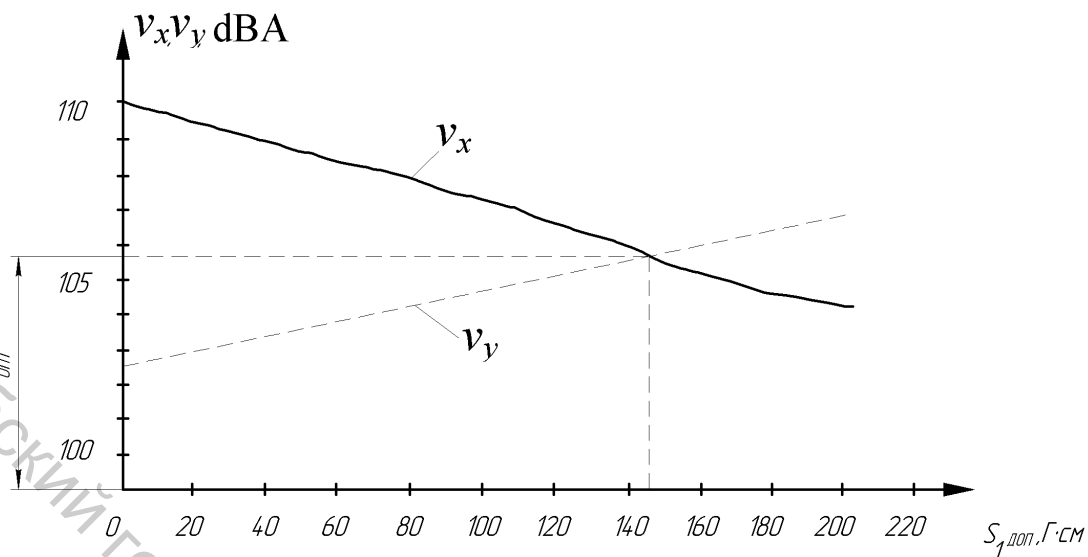


Рисунок 3.5 – Графики v_x и v_y , полученные по результатам эксперимента

3.2 Демпфирование колебаний

Демпфирование колебаний ставит целью снижение амплитуды колебаний системы. Наиболее распространено демпфирование колебаний посредством установки antivibratora и демпферов вязкого трения (амортизаторов) [2].

3.2.1 Расчет antivibratora

Колеблющуюся систему с antivibratorом можно представить в виде барабана 3 (рис. 3.6 а) и вала 2, установленного в подшипниках 1 и 6. В кольцевой выточке барабана установлен antivibrator в виде кольца 5, опирающегося на упругий элемент 4. С помощью пластины 7 кольцо 5 удерживается от вращения. Расчетная схема колебательной системы может быть представлена в виде (рис. 3.6 б) упругой балки с закрепленной на ней точечной массой m_1 и прикрепленной к этой массе посредством пружины точечной массы m_2 . Коэффициент упругости балки k_1 определяется из формулы (1.1). Масса m_1 определяется по методу Лунца:

$$m_1 = m_3 + \frac{2}{3} m_A,$$

где m_3 – масса барабана 3 (рис. 3.6 а);
 m_B – масса вала 2.

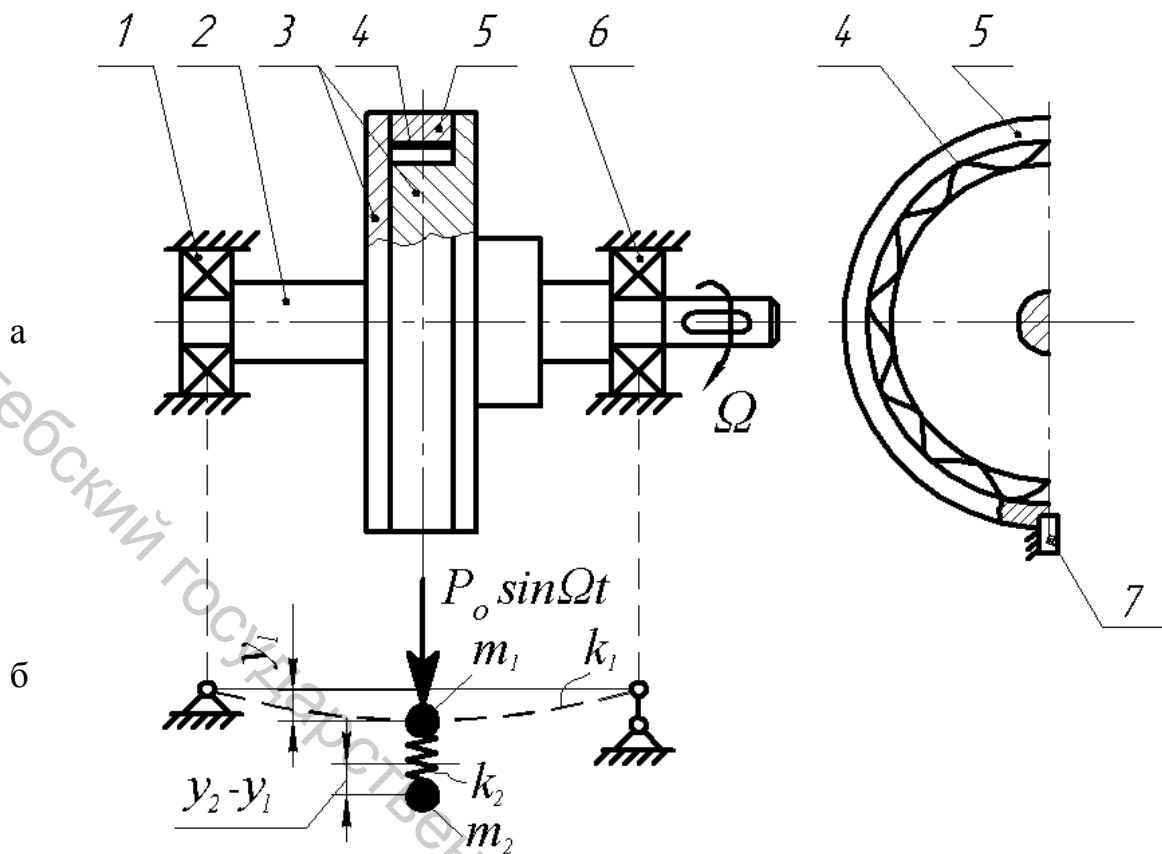


Рисунок 3.6 – Конструктивная и расчетная схемы системы с antivибратором

Коэффициент упругости k_2 пружины определяется экспериментальным методом, посредством нагружения упругого элемента 4 силой P (рис. 3.6 а) и определения его деформации в радиальном направлении y :

$$k_2 = P / y.$$

Масса m_2 равна массе antivибратора 5 (рис. 3.6 а).

Рассмотрим вынужденные колебания системы под действием вертикальной составляющей центробежной силы P_0 барабана 3 (рис. 2.1). Обозначим: y_1 – смещение массы m_1 относительно положения статического равновесия в неподвижной системе отсчета; y_2 – смещение массы m_2 относительно положения статического равновесия в системе отсчета, жестко связанной с упругой балкой.

Уравнения вынужденных колебаний масс m_1 и m_2 запишем в виде:

$$m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + k_2 (y_1 - y_2) = P_0 \sin \Omega t, \quad (3.12)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) = 0. \quad (3.13)$$

Учитывая отсутствие в уравнениях (3.12), (3.13) первых производных от y_1 и y_2 ищем решение системы в виде:

$$y_1 = C_1 \sin \Omega t, \quad (3.14)$$

$$y_2 = C_2 \sin \Omega t. \quad (3.15)$$

Подставим (3.14), (3.15), а также их производные $\ddot{y}_1 = -C_1 \Omega^2 \sin \Omega t$ и $\ddot{y}_2 = -C_2 \Omega^2 \sin \Omega t$ в (3.12), (3.13):

$$-m_1 C_1 \Omega^2 \sin \Omega t + k_1 C_1 \sin \Omega t + k_2 (C_1 - C_2) \sin \Omega t = P_0 \sin \Omega t, \quad (3.16)$$

$$-m_2 C_2 \Omega^2 \sin \Omega t + k_2 (C_2 - C_1) \sin \Omega t = 0. \quad (3.17)$$

Уравнения (3.16), (3.17) превращаются в тождества при равенстве нулю коэффициентов при $\sin \Omega t$:

$$\left[k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2 \right] C_1 - k_2 C_2 = P_0, \quad (3.18)$$

$$-k_2 C_1 + k_2 - m_2 \Omega^2 C_2 = 0. \quad (3.19)$$

Решая систему уравнений (3.18), (3.19) относительно C_1 и C_2 , получим:

$$C_1 = \frac{1 - \frac{m_2 \Omega^2}{k_2}}{k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2 \left(1 - \frac{m_2 \Omega^2}{k_2} \right) - k_2} \cdot P_0. \quad (3.20)$$

$$C_2 = \frac{-k_2}{k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2 \left(1 + \frac{m_2 \Omega^2}{k_2} \right) - k_2} \cdot P_0. \quad (3.21)$$

Из (3.14) и (3.20) видно, что колебания массы m_1 отсутствуют $y_1 = 0$, если $C_1 = 0$, при этом числитель выражения (3.20) должен быть равен нулю: $1 - \frac{m_2 \Omega^2}{k_2} = 0$ и $\Omega = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}} = \omega_2$, где ω_2 – частота собственных колебаний массы m_2 (рис. 3.6 б). Таким образом, при совпадении частоты ω_2 собственных колебаний антивибратора с частотой Ω возмущающей нагрузки устраняются колебания основной системы – массы m_1 , закрепленной на упругой балке.

Теперь найдем частоту колебаний ω_0 двухмассовой системы (рис. 3.6 б). Для этого воспользуемся тем обстоятельством, что при $\omega_0 = \Omega$ эта система находится в состоянии резонанса, то есть $y_1 = \infty, y_2 = \infty$. Это возможно, если знаменатель выражений (3.20) и (3.21) равен нулю:

$$k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2 \left(1 - \frac{m_2 \Omega^2}{k_2} \right) - k_2 = 0. \quad (3.22)$$

Подставив в (3.22) $\Omega = \omega_0$, получим:

$$k_1 + k_2 - m_1 \omega_0^2 \left(1 - \frac{m_2 \omega_0^2}{k_2} \right) - k_2 = 0. \quad (3.23)$$

Перемножив в (3.23) скобки и обозначив $\frac{k_1}{m_1} = \omega_1^2$, $\frac{k_2}{m_2} = \omega_2^2$,

получим частотное уравнение

$$\omega_0^4 - \left(\omega_2^2 + \omega_1^2 + \frac{m_2}{m_1} \omega_2^2 \right) \omega_0^2 + \omega_1^2 \omega_2^2 = 0. \quad (3.24)$$

Обозначим в (3.24):

$$\omega_2^2 + \omega_1^2 + \frac{m_2}{m_1} \omega_2^2 = B, \quad (3.25)$$

$$\omega_1^2 \cdot \omega_2^2 = C,$$

$$\omega_0^2 = x. \quad (3.26)$$

Тогда получим: $x^2 - Bx + C = 0$.

Решая квадратное уравнение, определим x :

$$x_{1,2} = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\frac{B^2}{4} - C}$$

Тогда

$$\omega_{01}^2 = \frac{B}{2} + \sqrt{\frac{B^2}{4} - C}, \quad (3.27)$$

$$\omega_{02}^2 = \frac{B}{2} - \sqrt{\frac{B^2}{4} - C}. \quad (3.28)$$

Рассмотрим поведение двухмассовой системы (рис. 3.6 б) для случая, когда основная одномассовая система (без антивибратора) находится в резонансе. При этом $\omega_1 = \Omega$. Пусть также подбором параметров антивибратора из условия $\omega_2 = \Omega$ устранены колебания двухмассовой системы. Определим из (3.27), (3.28) новые частоты ω_{01} и ω_{02} собственных колебаний двухмассовой системы, приняв для определенности $m_2 = 0,5m_1$.

Подставив в (3.25), (3.26) $\omega_2 = \omega_1$ из (3.27) и (3.28) определим:

$$\omega_{01}^2 = 2,04\omega_1^2; \quad \omega_{01} = 1,43\omega_1;$$

$$\omega_{02}^2 = 0,46\omega_1^2; \quad \omega_{02} = 0,68\omega_1.$$

Амплитудно-частотные характеристики системы без антивибратора приведены на рисунке 3.7 пунктирной кривой 1, с антивибратором – сплошными кривыми 2.

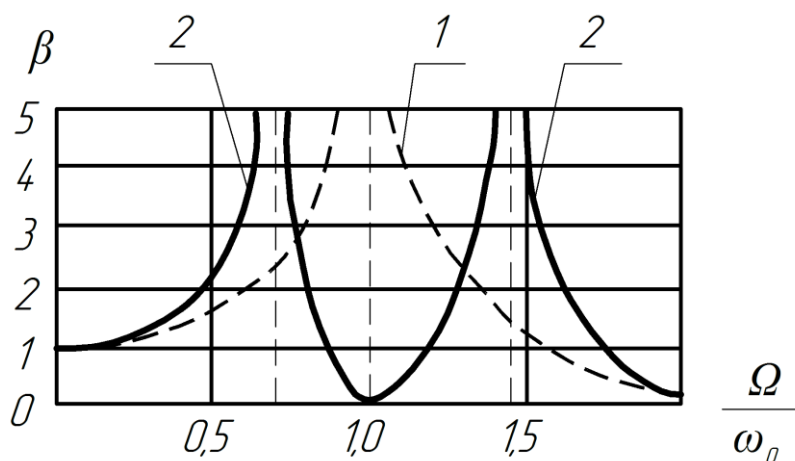


Рисунок 3.7 – Амплитудно-частотные характеристики системы без (кривая 1) и с антивибратором (кривая 2)

Из рассмотренного примера следует вывод о том, что установкой антивибратора можно полностью устранить колебания основной системы при заданной угловой скорости вала Ω . При этом следует иметь в виду, что система может входить в резонанс при частотах, меньших и больших заданной величины Ω .

3.2.2 Расчет демпфера вязкого трения

Демпферы вязкого трения в виде гидравлических амортизаторов применяются для уменьшения амплитуды колебаний тяжелых машин относительно фундамента.

На рисунке 3.8 показана схема установки станины 3, совершающей колебания на упругих опорах 2 и 4, на амортизатор. Амортизатор представляет собой гидравлический цилиндр 7, жестко установленный на основание. Шток 5 поршня 6 связан со станиной. В гидроцилиндр залито масло. Верхняя и нижняя полости гидроцилиндра сообщаются посредством трубопровода 1 диаметра $d_{тр}$ и длиной l . Уравнение вынужденных колебаний станины относительно основания имеет вид (2.3),

где m – масса станины;

y – смещение центра масс S станины относительно положения S_0 равновесия;

k – коэффициент упругости пружин 2 и 4;

b – коэффициент силы вязкого трения, создаваемой амортизатором, пропорциональной скорости колебаний;

P_0, Ω – амплитуда и круговая частота возмущающей нагрузки.

Для определения b рассмотрим силу гидравлического сопротивления амортизатора:

$$P_c = \Delta P_{\delta\delta} \frac{\pi D^2 - d^2}{4}, \quad (3.29)$$

где D – диаметр гидроцилиндра;

d – диаметр штока;

$\Delta P_{\delta\delta}$ – потери напора при движении жидкости по трубопроводу.

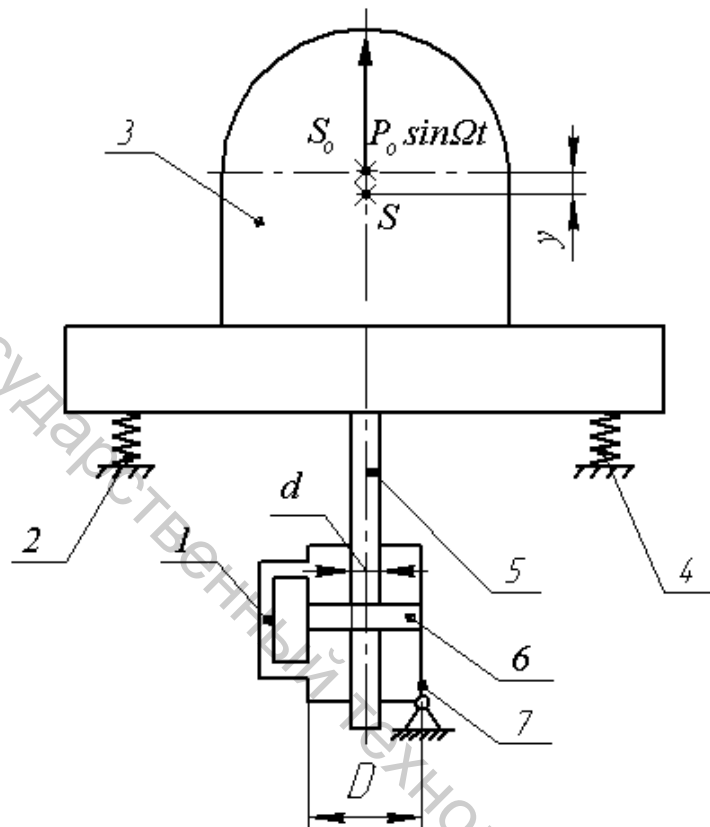


Рисунок 3.8 – Схема установки станины машины на амортизаторе

Из гидравлики известно, что

$$\Delta P_{\delta\delta} = \frac{41vl\rho}{d_{\delta\delta}^4} Q, \quad (3.30)$$

где ν – кинематическая вязкость масла, м²/с;

l, d_{mp} – длина и диаметр трубопровода, м;

ρ – плотность масла, кг/м³;

Q – расход масла в трубопроводе, м³/с.

Известно также, что

$$Q = \frac{\pi D^2 - d^2}{4} \cdot \frac{dy}{dt}. \quad (3.31)$$

Подставив (3.30), (3.31) в (3.29), получим:

$$P_c = \frac{41vl\rho}{d_{\delta\delta}^4} \left(\frac{\pi D^2 - d^2}{4} \right)^2 \frac{dy}{dt}. \quad (3.32)$$

Из (3.32) следует, что коэффициент b силы сопротивления вязкого трения равен:

$$b = \frac{41\nu l \rho}{d_{\partial\partial}^4} \left(\frac{\pi D^2 - d^2}{4} \right)^2. \quad (3.33)$$

3.3 Расчет виброизоляции машин

Виброизоляция служит для уменьшения колебаний, передаваемых от одних элементов машин к другим. Различают активную и пассивную виброизоляцию. Активная и пассивная виброизоляция осуществляются посредством включения в систему упругих элементов (амортизаторов) в виде пружин, резиновых прокладок и др. При активной виброизоляции на амортизаторе устанавливается источник колебаний, а при пассивной виброизоляции – защищаемый элемент (прибор, механизм). На рисунке 3.9 показана расчетная схема активной виброизоляции. Станина машины 3 совершает упругие колебания под действием возмущающей нагрузки $P_0 \sin \Omega t$ и расположена на упругих элементах 1 и 4 (пружинах, прокладках), установленных на основание 2. Ставится задача определить податливость δ упругих элементов 1 и 4, при которой амплитуда силы R , передаваемой от колеблющейся станины на основание, меньше силы P_0 .

Уравнение колебаний станины 3 запишем в виде:

$$m\ddot{y} + \frac{y}{\delta} = P_0 \sin \Omega t. \quad (3.34)$$

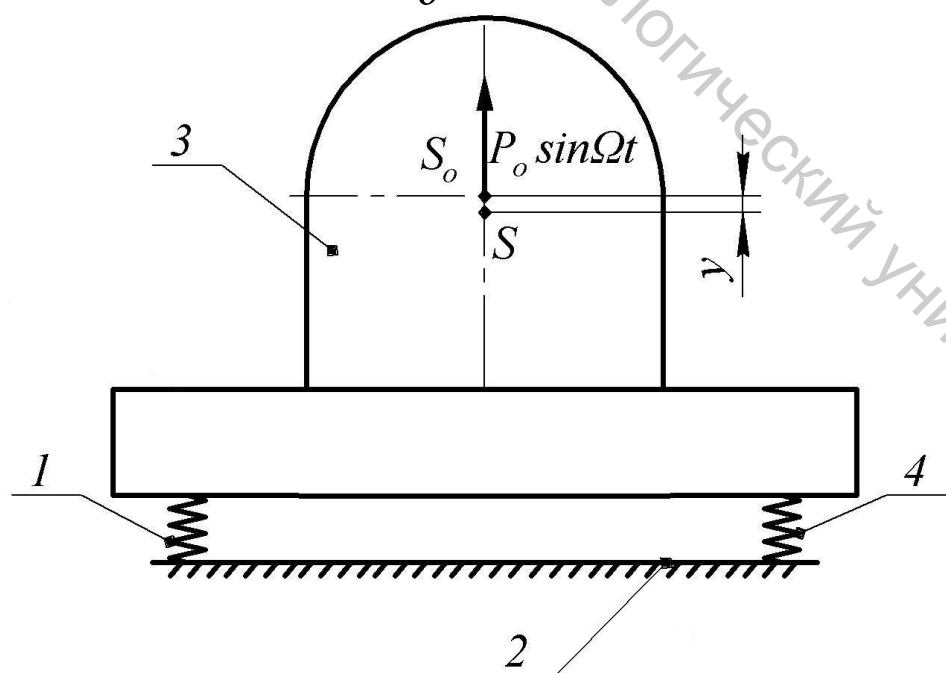


Рисунок 3.9 – Расчетная схема активной виброизоляции

Разделив члены уравнения на m и обозначив

$$\frac{1}{m\delta} = \omega_0^2, \quad (3.35)$$

$$\frac{P_0}{m} = q, \quad (3.36)$$

получим:

$$\ddot{y} + \omega_0^2 y = q \sin \Omega t. \quad (3.37)$$

Решение этого уравнения имеет вид (2.12).

Нагрузка, передаваемая колеблющейся станиной на основание, определяется из формулы

$$R = \frac{y}{\delta} = \frac{A_1}{\delta} \sin \Omega t + \alpha_1.$$

Амплитудное значение этой силы R_{\max} равно:

$$R_{\max} = \frac{A_1}{\delta} = \frac{\beta A_{\text{н\ddot{o}}}}{\delta} = \frac{\beta P_0 \delta}{\delta} = \beta P_0. \quad (3.38)$$

где β – динамический коэффициент амплитуды, определяемый из (2.18). Виброизоляция имеет смысл при $\beta < 1$. Из графиков на рисунке 2.5 следует, что $\beta < 1$ имеет место в зоне, расположенной за резонансом, то есть при $\frac{\Omega}{\omega_0} > 1$. Тогда в (2.18) знаменатель можно записать в виде:

$$\beta = \frac{1}{\frac{\Omega^2}{\omega_0^2} - 1}. \quad (3.39)$$

При заданной величине $\beta = \frac{R_{\max}}{P_0} < 1$ из (3.39) определяется:

$$\omega_0 = \frac{\Omega}{\sqrt{1 + \frac{1}{\beta}}}. \quad (3.40)$$

Формулы (3.40), (3.35) используются для расчета виброизоляции. Если виброизоляция выполнена в виде стальных пружин, то

$$\delta = \frac{1}{k}; \quad k = k_1 + k_2,$$

где k_1, k_2 – коэффициенты упругости пружин 1 и 4 (рис. 3.9). Если виброизоляция выполнена в виде резиновой прокладки, то

$$\delta = \frac{h}{EF}, \quad (3.41)$$

где h – толщина прокладки в сжатом состоянии;

F – суммарная площадь прокладки, воспринимающая нагрузку от колеблющейся станины;

E – динамический модуль упругости материала прокладки.

В таблице 3.1 даны значения E для некоторых материалов.

Таблица 3.1 – Значения динамического модуля упругости для виброизолирующих материалов

Материал	Губчатая резина	Губчатый каучук	Пенопласт ПХВ-Э	Поролон	Войлок волосяной
$E, 10^5$ Н/м^2	3...26	0,2...0,3	5,8...7,4	3,2...5,5	24...42

На рисунке 3.10 приведена расчетная схема пассивной виброизоляции. Станина 3 машины колеблется на упругих элементах 2 и 6 относительно неподвижного основания 1. На станине 3 установлен элемент 5 (регистрирующий прибор, механизм и тому подобное) посредством виброизолирующего элемента 4 (прокладка, пружина). Цель виброизоляции – уменьшить колебания элемента 5, передаваемые от колеблющейся станины 3. Обозначим: y_1 – смещение центра массы станины S_1 относительно положения равновесия S_{10} , y – смещение центра массы S элемента 5 относительно положения равновесия S_0 , отсчитываемого от станины 3; δ – податливость виброизолирующего элемента 4 (пружины, прокладки); m – масса элемента 5. Уравнение колебаний изолируемого элемента 5 имеет вид:

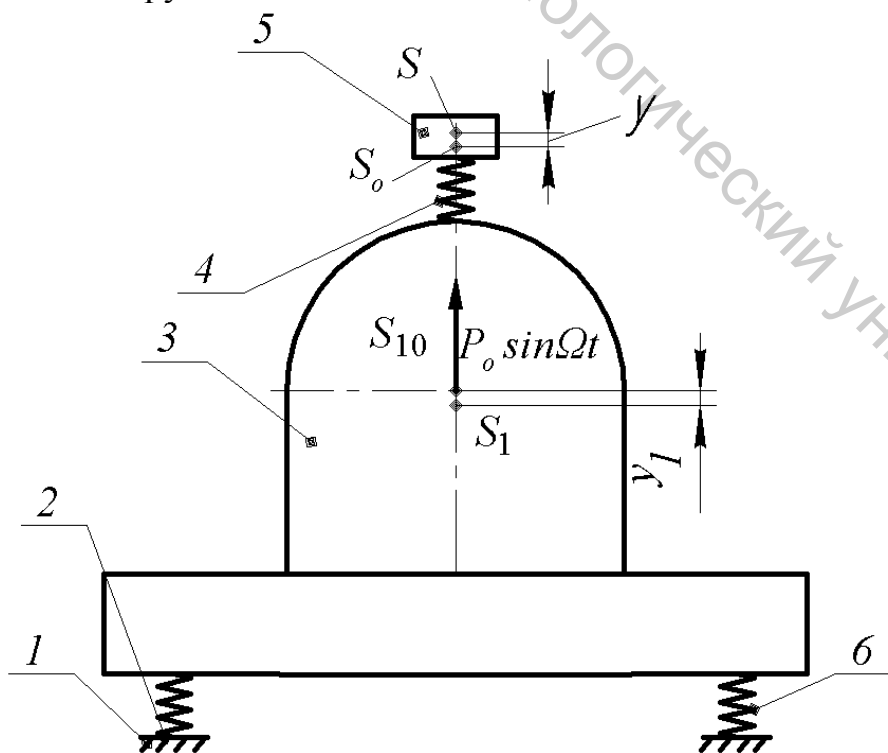


Рисунок 3.10 – Расчетная схема пассивной виброизоляции

$$m\ddot{y} + \frac{y}{\delta} = R_1. \quad (3.42)$$

где R_1 – сила, передаваемая от станины к элементу 5 через виброизоляцию,

$$R_1 = \frac{y_1}{\delta}. \quad (3.43)$$

Подставив (3.43) в (3.42), получим:

$$m\ddot{y} + \frac{y}{\delta} = \frac{y_1}{\delta}. \quad (3.44)$$

Уравнение колебаний станины 3 запишем в виде (2.12). Тогда, подставив в (3.44) выражение (2.12), получим:

$$m\ddot{y} + \frac{y}{\delta} = \frac{A_1}{\delta} \sin \Omega t + \alpha_1. \quad (3.45)$$

Разделив члены уравнения (3.45) на m и обозначив $\frac{1}{m\delta} = \omega_0^2$,

$$A_1 \omega_0^2 = q \quad (3.46)$$

получим:

$$\ddot{y} + \omega_0^2 y = q \sin \Omega t. \quad (3.47)$$

Амплитуда вынужденных колебаний, описываемых уравнением (3.47), определяется из формулы (2.13) при подстановке в нее $c = 0$:

$$A = \frac{q}{|\omega_0^2 - \Omega^2|}. \quad (3.48)$$

Подставив в (3.48) выражение q из (3.46), получим:

$$A = \frac{A_1}{\left|1 - \frac{\Omega^2}{\omega_0^2}\right|} = \beta \cdot A_1. \quad (3.49)$$

Из (3.49) следует, что виброизоляция имеет смысл при $\beta < 1$, где β определяется из (3.39). При заданном β требуемое значение ω_0 определится из формулы (3.40).

ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН-АВТОМАТОВ

Теория производительности машин-автоматов является одним из разделов теории машин-автоматов. Появление этой теории связано с разработкой машин полуавтоматического действия, автоматов и автоматических линий сначала в станкостроении, а затем – в других обрабатывающих отраслях, в том числе и в легкой промышленности.

Основоположником теории производительности является академик Г.А. Шаумян, создавший научную школу по теории производительности машин-автоматов [9].

Разработкой теории производительности машин-автоматов легкой промышленности занимался И.И. Капустин [10].

В разделах 4–7 изложены основные сведения из теории производительности машин-автоматов легкой промышленности.

4 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

4.1 Основные понятия и определения теории производительности машин-автоматов

Технологический процесс представляет собой множество приемов обработки, в результате которых сырье, материалы перерабатываются в готовые изделия (одежду, обувь и т. п.).

Технологический процесс состоит из технологических операций.

Технологической операцией называют совокупность приемов обработки, выполняемых комплектом рабочих инструментов на одном рабочем месте, и обладающих чертами технологической общности и завершенности.

В современном производстве большинство операций выполняется с помощью машин-автоматов. На машине-автомате может выполняться одна операция или несколько операций.

Агрегат – машина-автомат, на которой выполняется несколько операций.

Технологическую операцию можно подразделить на отдельные составляющие, которые будем называть технологическими переходами.

Можно выделить технологические переходы, которые являются общими при обработке штучных изделий: загрузка, выгрузка, обработка.

Позиция – место, занимаемое изделием в машине-автомате в процессе обработки. Во время обработки на позиции изделие может

совершать перемещения, необходимые для обработки: вращательное, поступательное, плоскопараллельное, колебательное и т. п.

При наличии в машине-автомате нескольких позиций изделие может перемещаться с одной позиции на другую с помощью транспортирующего устройства в виде ротора, барабана и т. п.

Время операционного цикла T_{on} есть длительность выполнения операции.

Время рабочего цикла T_p – время, приходящееся на выпуск из машины-автомата одного изделия.

Теоретическая производительность Q_m – количество изделий, обрабатываемых в машине-автомате за определенный отрезок времени (секунду, час, смену) при непрерывной работе без простоев.

Секундная производительность определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{1}{T_{\delta}} \text{ (штук/с),}$$

где T_p – время рабочего цикла, с.

Часовая производительность определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{3600}{T_{\delta}} \text{ (штук/час).}$$

Сменная производительность определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{28800}{T_{\delta}} \text{ (штук/смену).}$$

Фактическая производительность Q_{ϕ} – количество изделий, обрабатываемых в машине-автомате за определенный отрезок времени с учетом простоев.

Производительность труда – количество изделий, приходящихся на одного оператора, обслуживающего машину-автомат за определенный отрезок времени.

4.2 Классификация машин-автоматов по способу организации рабочего и технологического циклов

Развитие технологических машин-автоматов идет в направлении повышения их производительности. Повышение производительности часто сдерживается тем обстоятельством, что в составе технологической операции имеются переходы, длительность которых велика по сравнению с длительностями других переходов. Таковыми могут быть некоторые виды обработки (вышивка, склеивание деталей обуви, литье низа обуви и т. п.), а иногда переходы загрузки, выгрузки изделий, например, в полуавтоматах для сборки плоских заготовок верха обуви.

При большой длительности обработки производительность может быть повышена, если в машине-автомате синхронно обрабатывается N изделий. В результате время, приходящееся на выпуск одного изделия, снижается примерно в N раз. Однако при этом требуется иметь в машине-автомате N комплектов рабочих инструментов, что значительно повышает стоимость машины-автомата.

Другой способ повышения производительности – это использование N машин-автоматов, работающих несинхронно, что позволяет частично или полностью совместить обработку с загрузкой-выгрузкой изделий и, тем самым, сократить время рабочего цикла.

Наконец, можно применить многопозиционную обработку изделия, при которой оно перемещается внутри машины-автомата. При этом наиболее длительные переходы разделяются на менее длительные таким образом, чтобы время переходов, включая загрузку-выгрузку, было бы одинаковым. Это приводит к сокращению времени, приходящегося на обработку одного изделия, и росту производительности.

При наличии нескольких операций, имеющих примерно одинаковую длительность и образующих некий технологический цикл, возможно объединить их выполнение в одном устройстве, называемом машиной-агрегатом.

В машине-агрегате должны быть устройства многооперационного транспортирования и исключены устройства загрузки-выгрузки на второй и предпоследней операциях, выполняемых в агрегате. Так как обслуживание машины-агрегата, как правило, производится одним оператором, то многократно увеличивается производительность машины-автомата.

Если в машине-автомате объединить все операции некоторого технологического процесса, а также выполнять операции обработки группой рабочих инструментов, то можно значительно снизить время обработки, приходящееся на одно изделие, и кардинально повысить производительность. Такой способ организации технологического процесса реализован в автоматических роторных линиях, предложенных академиком Л.Н. Кошкиным.

Рассмотренные способы повышения производительности обработки позволяют создать классификацию машин-автоматов, представленную на рисунке 4.1 в виде блок-схемы.

Согласно классификации все машины-автоматы подразделяются на две группы: однооперационные – предназначенные для выполнения одной операции, и многооперационные – предназначенные для выполнения нескольких взаимосвязанных операций (агрегаты).

В однопозиционных машинах-автоматах одновременно обрабатывается одно изделие, при этом оно занимает одну позицию. В многопозиционных машинах-автоматах обрабатываемое изделие

занимает несколько позиций, на которых выполняются отдельные переходы, входящие в состав операции.

В многоголовочных полуавтоматах с единым приводом головок синхронно выполняется одна операция обработки с помощью множества комплектов рабочих инструментов (головок), приводимых в движение от единого двигателя. Не исключена возможность использования общего механизма, осуществляющего, например, синхронное транспортирование изделий в процессе обработки. При этом переходы загрузки и выгрузки изделий могут быть вынесены за пределы времени обработки и выполняться вручную.



Рисунок 4.1 – Блок-схема классификации машин-автоматов по способу организации технологического цикла

В системе автономных машин-автоматов, обслуживаемых одним оператором, операции обработки выполняются несинхронно по мере загрузки и выгрузки изделий оператором. При этом, при определенном числе машин-автоматов, времена загрузки и выгрузки изделий полностью совмещаются со временем обработки и не влияют на длительность рабочего цикла.

Многооперационные машины-автоматы можно подразделить на две группы.

В агрегатах с единым устройством межоперационного транспортирования, движущимся с остановками, обработка изделий на всех операциях производится во время остановки. В это же время производится загрузка изделий перед первой операцией и выгрузка – после последней. При этом длительность рабочего цикла равна сумме времени остановки и перемещения изделия между позициями.

Роторная линия состоит из рабочих роторов, на которых выполняется обработка изделий на операциях, причем число рабочих роторов равно числу операций. Межоперационное транспортирование осуществляется транспортными роторами, передающими изделия с одного рабочего ротора на другой. На одном рабочем роторе одновременно обрабатывается несколько изделий. В результате возрастает темп обработки и снижается время, приходящееся на выпуск одного изделия.

5 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ОДНООПЕРАЦИОННЫХ МАШИНАХ-АВТОМАТАХ

Теоретическая производительность Q_m машины-автомата зависит от времени рабочего цикла, то есть времени, затрачиваемого на выпуск одного изделия.

Поэтому в последующих разделах учебника уделяется внимание определению времени T_p , при этом имеется в виду, что с уменьшением T_p теоретическая производительность пропорционально растет.

5.1 Однопозиционные машины-автоматы

На рисунке 5.1 показана технологическая схема однооперационной однопозиционной машины-автомата. Время рабочего цикла определится из формулы

$$T_{\text{ц}} = t_z + t_v + \sum t_{i\text{ад}},$$

где t_z – время загрузки;

t_v – время выгрузки;

$\sum t_{i\text{ад}}$ – суммарное время обработки.

В случае последовательного выполнения переходов, входящих в обработку, время $\sum t_{i\text{ад}}$ определится из формулы

$$\sum t_{i\text{ад}} = t_1 + t_2 + \dots + t_n,$$

где $t_1 + t_2 + \dots + t_n$ – времена выполнения переходов (всего имеется n переходов).

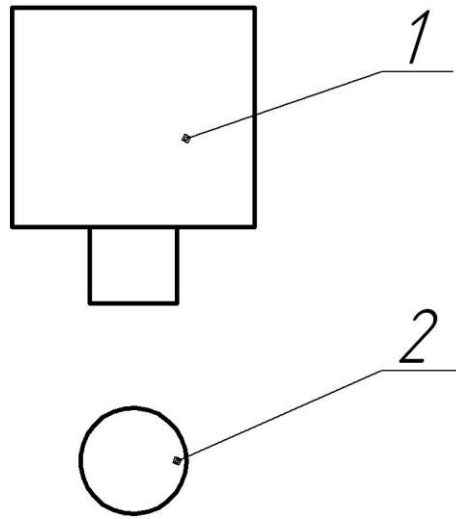


Рисунок 5.1 – Технологическая схема однооперационной однопозиционной машины-автомата: 1 – машина, 2 – оператор

В случае одновременного (параллельного) выполнения переходов

$$\sum t_{i\alpha\delta} = \max t_1, t_2, \dots, t_n$$

В большинстве случаев часть переходов выполняется последовательно, а часть – одновременно. В этом случае

$$\sum t_{i\alpha\delta} = \max t_1, t_2, \dots, t_m \exists (t_{m+1} + t_{m+2}, \dots, t_n) \quad m < n$$

где t_1, t_2, \dots, t_m – времена переходов, выполняемых одновременно;

$t_{m+1} + t_{m+2}, \dots, t_n$ – времена переходов, выполняемых последовательно.

5.2 Многопозиционные машины-автоматы с ротором, вращающимся с остановками

На рисунке 5.2 приведена технологическая схема многопозиционного литейного агрегата с ротором, вращающимся с остановками [11].

Продолжительность процесса литья низа обуви (подошвы) является достаточно длительной и занимает по времени от 20 с до 40 с. Процесс происходит в пресс-форме, образующей замкнутое пространство для подошвы. В одной пресс-форме обрабатывается одновременно пара изделий. N пресс-форм 2 закреплены на роторе 1, совершающем повороты на угол $\Delta\varphi = 360^\circ/N$ с последующими остановками. Оператор 3 производит загрузку заготовок обуви в пресс-форму, оператор 5 – выгрузку обработанных изделий из пресс-форм. Устройство 4 осуществляет впрыск рабочей смеси в замкнутое пространство пресс-форм для формирования подошв.

Заготовка в течение технологического цикла обработки занимает N позиций. На позиции I (рис. 5.2) производится загрузка заготовок в

пресс-форму, на позиции II – впрыск рабочей смеси в пресс-форму, на позициях III...(N-1) – формирование подошв, на позиции N – выгрузка готовых изделий.

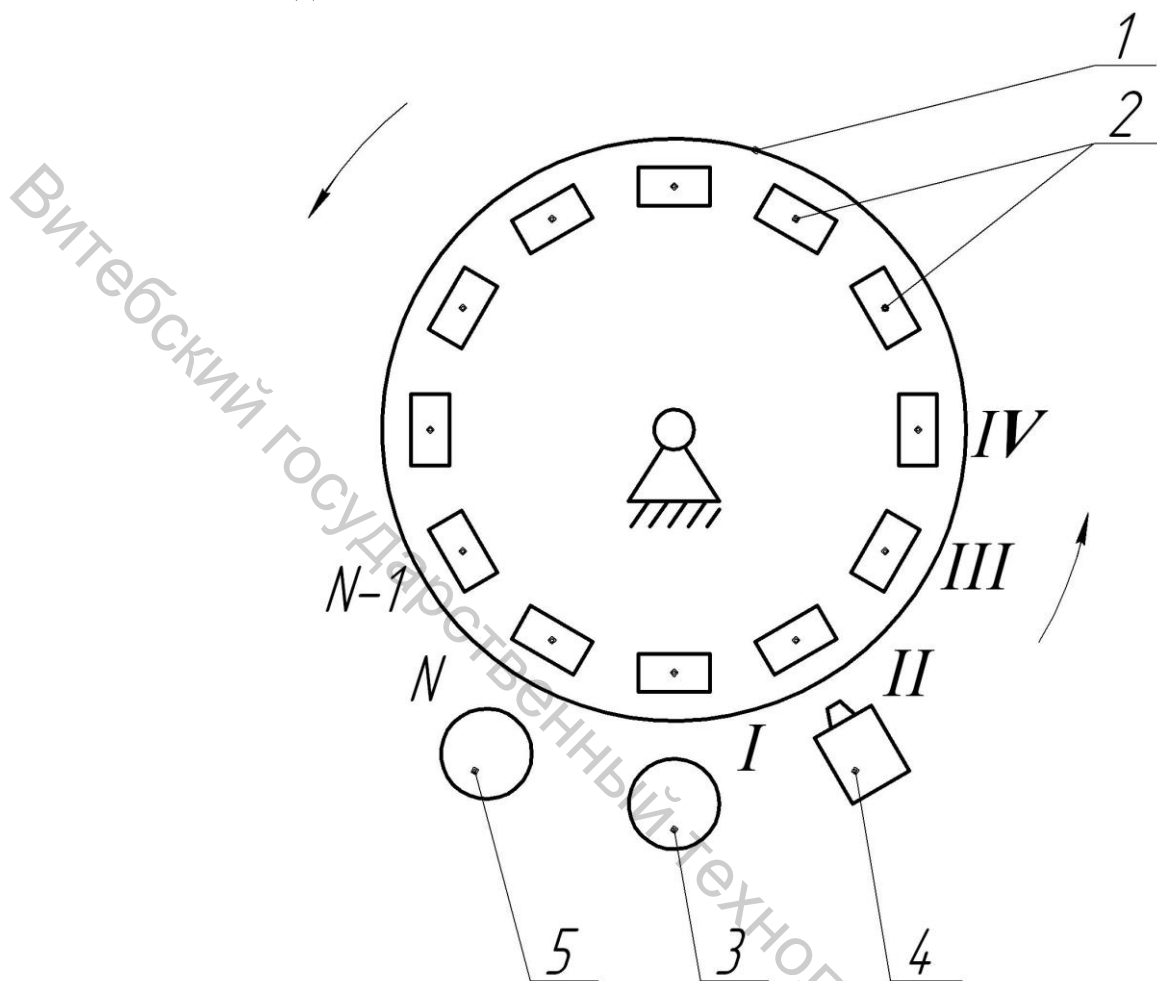


Рисунок 5.2 – Схема однооперационного многопозиционного литейного агрегата: 1 – транспортирующий ротор, 2 – пресс-формы, 4 – устройство для впрыска рабочей смеси, 3, 5 – операторы

Время выполнения операции литья подошв составляет:

$$t_{ii} = t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + \sum t_{i\hat{a}\delta}, \quad (5.1)$$

где t_{ζ} – время загрузки;

t_{δ} – время выгрузки;

$\sum t_{i\hat{a}\delta}$ – суммарное время обработки.

$$\sum t_{i\hat{a}\delta} = t_{\hat{a}\delta} + t_{\delta i \delta i}, \quad (5.2)$$

где $t_{впр}$ – время впрыска рабочей смеси;

$t_{форм}$ – время формирования подошвы.

Время между выходами из агрегата пары готовых изделий составляет:

$$\dot{O}_\delta = t_{ii\hat{a}} + t_{i\hat{n}\delta}, \quad (5.3)$$

где t_{nov} – время поворота ротора 1 на угол $\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{N}$;

$t_{ост}$ – время остановки ротора.

Рассмотрим возможности уменьшения T_p . Время поворота t_{nov} ротора зависит от динамики привода, поэтому в рамках настоящего учебника не будем его рассматривать.

Время остановки лимитируется временами переходов, выполняемых на I, II и N позициях:

$$t_{i\hat{n}\delta} \geq \max \{ t_\zeta, t_{\hat{a}}, t_{\hat{a}i\delta} \}.$$

Из этого следует, что для уменьшения $t_{ост}$ следует уменьшать $\max \{ t_\zeta, t_{\hat{a}}, t_{\hat{a}i\delta} \}$.

Рассмотрим определение позиций N. Наиболее длительным переходом в операции является формирование подошв. Время $t_{форм}$ этого перехода распределяется на (N-3) позиций, поэтому

$$t_{\hat{o}i\delta i} \leq (N-3) (t_{ii\hat{a}} + t_{i\hat{n}\delta}), \quad (5.4)$$

откуда:

$$N \geq \frac{t_{\hat{o}i\delta i}}{t_{ii\hat{a}} + t_{i\hat{n}\delta}} + 3. \quad (5.5)$$

Представляет интерес соотношение T_{on} и T_p .

Из (5.3), (5.4) следует:

$$T_\delta = \frac{t_{\hat{o}i\delta i}}{N-3}. \quad (5.6)$$

Из (5.1), (5.2) определим:

$$t_{\hat{o}i\delta i} = T_{ii} - t_\zeta + t_{\hat{a}} + t_{\hat{a}i\delta}. \quad (5.7)$$

Тогда из (5.6) и (5.7) определим:

$$T_\delta = \frac{T_{ii} - t_\zeta - t_{\hat{a}} - t_{\hat{a}i\delta}}{(N-3)}.$$

Из последнего выражения следует, что время рабочего цикла меньше операционного более чем в (N-3) раза.

5.3 Многопозиционные роторные машины-автоматы с ротором, вращающимся непрерывно

В некоторых отраслях промышленности (пищевой, машиностроении) возможно разделение операции на переходы, выполняемые при непрерывном вращении ротора. Примером может служить заверточный автомат типа ГАШ-15 [9].

При вращении ротора 1 изделия 2 непрерывно перемещаются, и при этом производится обработка изделий с помощью рабочих инструментов 3. При этом рабочие инструменты могут быть неподвижными, как это показано на рисунке 5.3, или перемещаться: совершать вращательное, колебательное и т. п. движения.

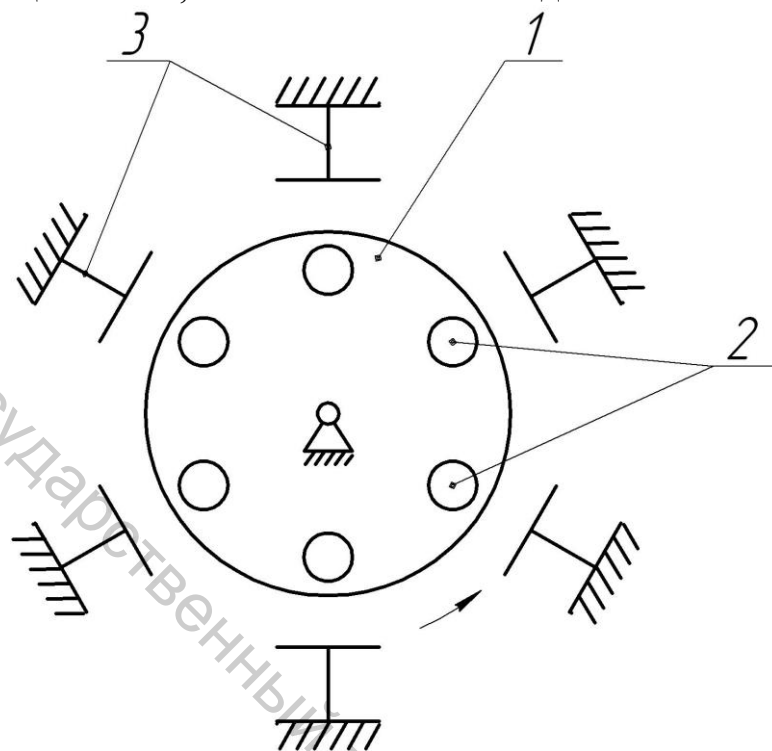


Рисунок 5.3 – Схема многопозиционной роторной машины-автомата: 1 – транспортирующий ротор, 2 – обрабатываемые детали, 3 – рабочие инструменты

К числу рабочих инструментов относятся и устройства загрузки-выгрузки изделий, выполняемых автоматически или с участием оператора.

Время рабочего цикла T_p равно времени $t_{нов}$ ротора на угловой шаг ротора $\alpha_\delta = \frac{360^\circ}{N}$, где N – число рабочих гнезд в роторе. При $N = 6$ получим $\alpha_\delta = 60^\circ$. Очевидно, что $t_{\text{н\ddot{a}}} \geq \max \{t_I, t_{II}, \dots, t_N\}$, где t_I, t_{II}, \dots, t_N – времена выполнения переходов, включая загрузку-выгрузку.

При непрерывном вращении ротора время рабочего цикла уменьшается за счет исключения времени остановки ротора.

5.4 Однооперационные многоголовочные машины-автоматы

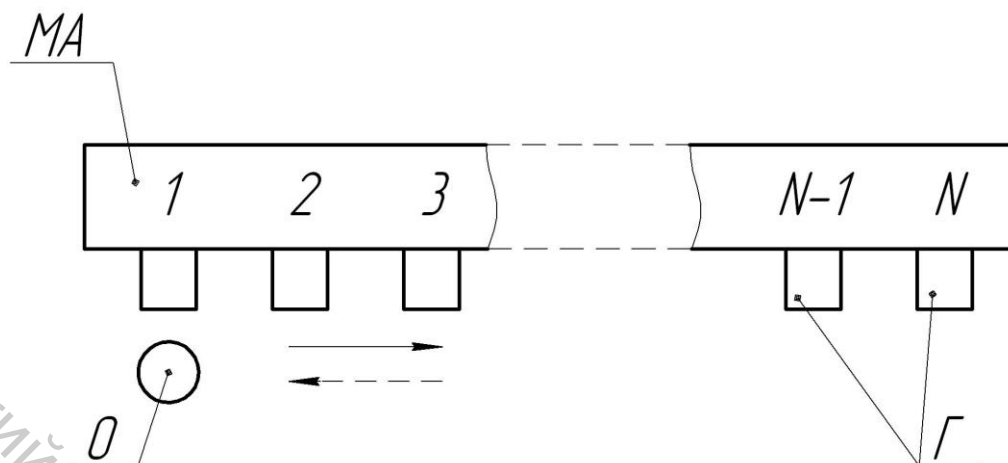


Рисунок 5.4 – Технологическая схема однооперационной многоголовочной машины-автомата: МА – машина-автомат, Г – головки (всего N головок), О – оператор

Головка – сборочная единица машины-автомата, содержащая комплект рабочих инструментов, предназначенных для обработки изделия. Примером машины-автомата рассматриваемого вида может служить многоголовочный вышивальный полуавтомат.

Сначала оператор О осуществляет съем пялец с вышитым изделием и загрузку пялец с тканью на всех головках и при этом перемещается вдоль машины-автомата. Затем запускается привод и производится синхронная обработка (вышивка) всех изделий. Время одного цикла обслуживания $t_{обсл}$ полуавтомата составляет:

$$t_{обсл} = t_з + t_в + t_{пер} + \sum_{i=1}^N t_{i\dot{a}\dot{d}},$$

где $t_з$ – время загрузки пялец тканью;

$t_в$ – время выгрузки пялец с вышитым изделием;

$t_{пер}$ – среднее время перехода оператора от одной головки к другой;

$\sum_{i=1}^N t_{i\dot{a}\dot{d}}$ – суммарное время обработки (вышивки) одного изделия.

За время $t_{обсл}$ выпускается N изделий, поэтому время рабочего цикла составляет:

$$T_p = t_з + t_в + t_{пер} + \frac{\sum_{i=1}^N t_{i\dot{a}\dot{d}}}{N}. \quad (5.8)$$

Для уменьшения T_p необходимо сокращать $t_з$, $t_в$ или, что наиболее существенно, увеличивать число головок N . При этом следует учесть, что с увеличением N увеличивается стоимость машины-автомата, занимаемая им площадь, снижается надежность работы.

Рассмотрим, как соотносятся времена операционного T_{on} и рабочего T_p циклов. Операционный цикл включает в себя $t_{\zeta}, t_{\hat{a}}, \sum t_{i\hat{a}\delta}$:

$$T_{ii} = t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + \sum t_{i\hat{a}\delta} . \quad (5.9)$$

Из (5.9) определим $\sum t_{i\hat{a}\delta}$:

$$\sum t_{i\hat{a}\delta} = T_{ii} - t_{\zeta} - t_{\hat{a}} . \quad (5.10)$$

Подставив $\sum t_{i\hat{a}\delta}$ из (5.10) в (5.8), получим:

$$T_{\delta} = \frac{T_{ii} - t_{\zeta} - t_{\hat{a}}}{N} + t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{i\hat{a}\delta} .$$

Из последнего выражения следует, что в рассматриваемой машине-автомате время T_p примерно в N раз меньше T_{on} , так как $t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{i\hat{a}\delta}$ обычно значительно меньше T_{on} .

5.5 Система однооперационных автономных машин-автоматов

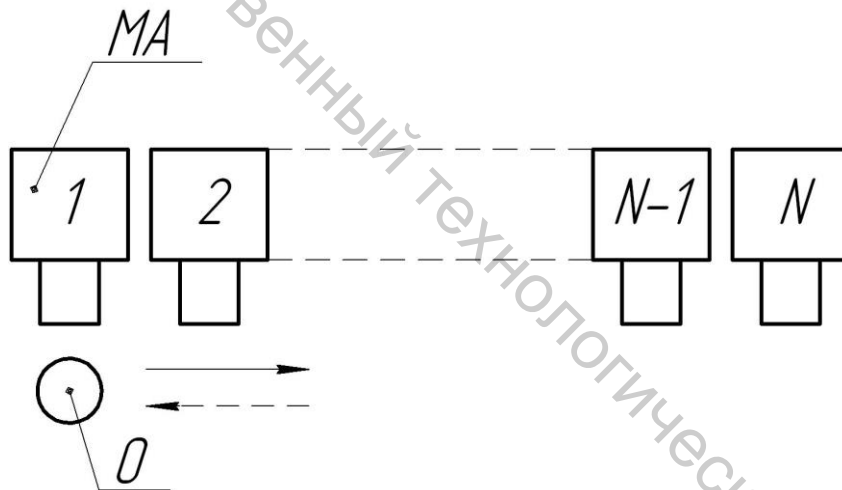


Рисунок 5.5 – Технологическая схема системы однооперационных машин-автоматов, обслуживаемых одним оператором:

МА – машина-автомат (всего N), О – оператор

Все N машин-автоматов выполняют одну и ту же операцию. Оператор О производит выгрузку обработанного изделия и загрузку полуфабриката на машине-автомате 1, затем включает привод этой машины-автомата, начинается обработка изделия, затем оператор переходит к машине-автомату 2 и так далее. Безостановочная работа оператора по приведенному алгоритму возможна, если в момент прихода к машине-автомату 2 завершена обработка изделия на этой машине-автомате, то есть выполняется условие

$$\sum t_{i\hat{a}\delta} = t_{\zeta} + t_{\hat{a}} + t_{i\hat{a}\delta} \times N - 1 , \quad (5.11)$$

где $\sum t_{i\dot{a}\delta}$ – суммарное время обработки изделия;

t_3 – время загрузки;

t_6 – время выгрузки;

$t_{пер}$ – среднее время перехода оператора между машинами-автоматами.

При этом общее количество N машин-автоматов составит:

$$N = \frac{\sum t_{i\dot{a}\delta}}{t_3 + t_6 + t_{пер}} + 1, \quad (5.12)$$

а среднее время, приходящееся на выпуск одного изделия, определяется из формулы

$$\dot{O}_\delta = t_3 + t_6 + t_{пер}. \quad (5.13)$$

В том случае, когда число машин-автоматов меньше значения, определяемого из (5.12), время рабочего цикла T_p определяется из следующих соображений.

Время $t_{обсл}$ одного цикла обслуживания оператором N полуавтоматов определится из формулы

$$t_{i\dot{a}\ddot{e}} = t_3 + t_6 + t_{пер} \cdot N - 1 + \sum t_{i\dot{a}\delta} - t_3 + t_6 + t_{пер} \cdot N - 1. \quad (5.14)$$

Вторая часть формулы есть время ожидания оператором завершения обработки на каждой машине-автомате.

Выполняя преобразования (5.14), получим:

$$t_{i\dot{a}\ddot{e}} = \sum t_{i\dot{a}\delta}.$$

За время $t_{i\dot{a}\ddot{e}}$ из системы выходит $(N-1)$ изделий, поэтому:

$$T_\delta = \frac{\sum t_{i\dot{a}\delta}}{N - 1}. \quad (5.15)$$

На практике более вероятен случай, когда число машин-автоматов N меньше предусмотренного формулой (5.12).

Рассмотрим, как в этом случае соотносятся T_{on} и T_p . Время операционного цикла T_{on} определяется из формулы

$$T_{\ddot{v}} = t_3 + t_6 + \sum t_{i\dot{a}\delta}.$$

Из этой формулы определим:

$$\sum t_{i\dot{a}\delta} = T_{\ddot{v}} - t_3 - t_6.$$

Последнее выражение подставим в (5.15), в результате получим:

$$T_\delta = \frac{T_{\ddot{v}} - t_3 - t_6}{N - 1}. \quad (5.16)$$

Из (5.16) следует, что при обработке на рассматриваемой системе машин-автоматов время рабочего цикла в $(N-1)$ раз меньше T_{on} .

6 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ МАШИН-АВТОМАТОВ

В многооперационной машине-автомате выполняется N операций. Как правило, обслуживание этих машин-автоматов производится одним оператором. Поэтому при той же длительности рабочего цикла по сравнению с однооперационной машиной получаем производительность труда в N раз большую.

6.1 Машина-автомат с единым устройством многооперационного транспортирования, движущимся с остановками

На рисунке 6.1 приведена технологическая схема агрегата контурной обработки подошв АКОП-9, который может быть отнесен к рассматриваемому типу машин-автоматов. На цепи транспортера 1 закреплено девять кареток 2. В каждой каретке имеется по два зажимных устройства для правой и левой заготовки подошв, а также – привод, обеспечивающий сложное движение каждой заготовки в процессе обработки.

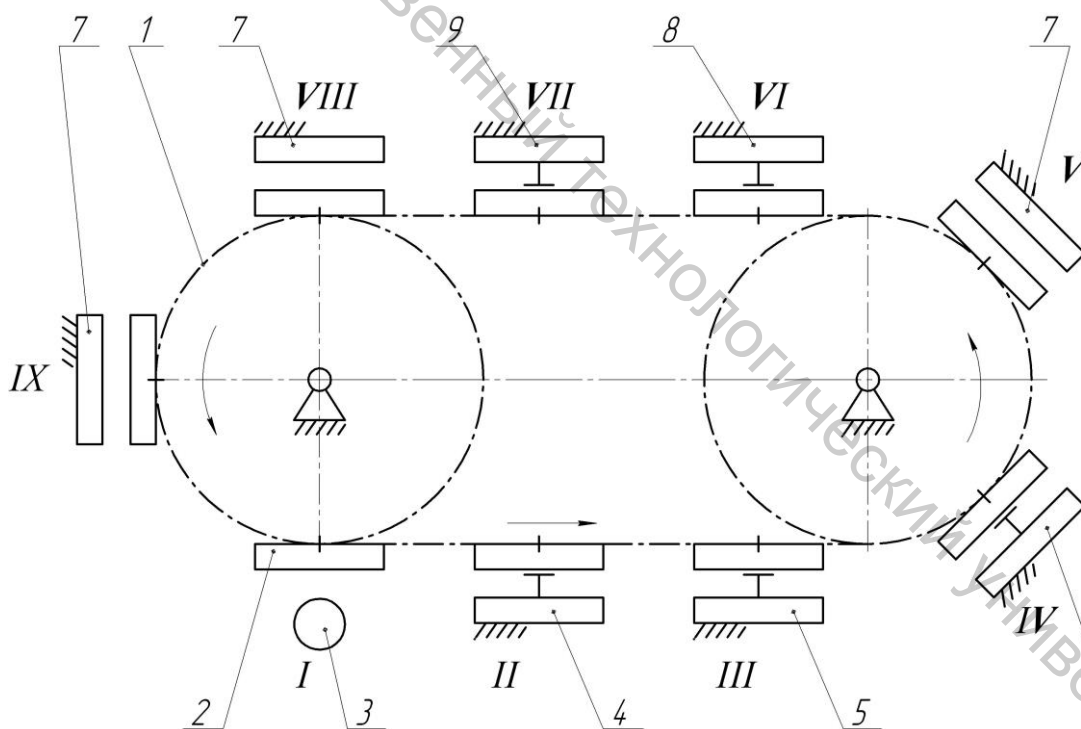


Рисунок 6.1 – Технологическая схема агрегата контурной обработки подошв АКОП-9: 1 – цепной транспортер, 2 – каретки (всего 9), 3 – оператор, 4, 5, 6, 8, 9 – обрабатывающие головки, 7 – установки для сушки (всего 3), позиции: I – загрузка-выгрузка, II – фрезерование контура подошв, III – увлажнение, IV – нанесение мыльной эмульсии, V – подсушка, VI – уплотнение, VII – покраска торца, VIII, IX – сушка

За один цикл обработки изделия совершают перемещение по девяти позициям. На позиции I оператор 3 производит загрузку необработанных подошв и выгрузку обработанных. На позиции II производится фрезерование контура подошв с помощью фрезерных головок 4. На позиции III производится увлажнение обработанного контура подошв посредством головок 5. На позиции IV на увлажненную часть подошв наносится мыльная эмульсия с помощью головок 6. На позиции V производится подсушка подошв посредством сушильной установки 7. На позиции VI контур подошв уплотняется посредством головок 8. На позиции VII производится окраска торца подошв посредством красильной головки 9. Далее на позициях VIII и IX производится окончательная сушка обработанных контуров подошв.

Время между выходами из машины-автомата пары обработанных подошв равно:

$$\dot{Q}_{\delta} = t_{\text{ин}\delta} + t_{\delta\delta}, \quad (6.1)$$

где $t_{\text{ост}}$ – время остановки транспортера;

$t_{\text{тр}}$ – время транспортирования заготовок между соседними позициями.

Из (6.1) следует, что для уменьшения T_p нужно уменьшать время $t_{\text{ост}}$, так как $t_{\text{тр}}$ определяется динамикой привода транспортера. Время остановки лимитируется длительностью выполняемых операций обработки на позициях II-IX и загрузки-выгрузки на позиции I.

6.2 Роторная линия

Если несколько однооперационных многопозиционных роторных машин-автоматов с роторами, вращающимися непрерывно, соединить в одну линию и установить между роторами устройства передачи изделий с одного ротора на другой, то получим роторную линию. Изобретателем роторных линий является академик Л.Н. Кошкин. Принципиальная схема роторной линии показана на рисунке 6.2. Линия состоит из загрузочного устройства 1, устройства выгрузки готовых изделий 2, рабочих роторов 3, транспортных (питающих и снимающих) роторов 4. На каждом рабочем роторе выполняется одна операция. Часть рабочих гнезд рабочего ротора занята переходами загрузки-выгрузки (приема-передачи деталей) или свободна. Оставшиеся гнезда заняты обработкой изделий.

Как видно из схемы, количество гнезд в роторе, в том числе рабочих, может быть различным. Однако длительность рабочего цикла T_p определяется временем поворота каждого транспортного ротора на угловой шаг между гнездами:

$$\dot{Q}_{\delta} = t_{\text{и}\delta}.$$

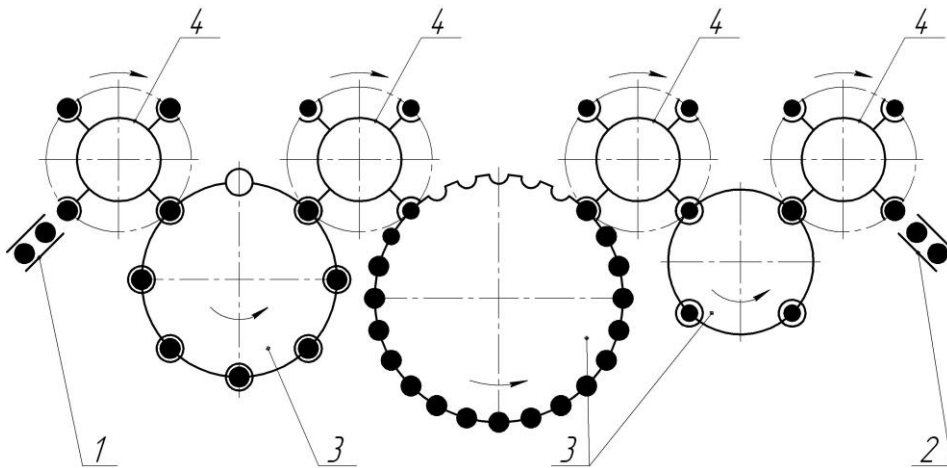


Рисунок 6.2 – Схема роторной линии:

1 – питатель (загрузка заготовок), 2 – приемник изделий, 3 – рабочие роторы, 4 – транспортные (питающие и снимающие) роторы

Время T_p задает темп работы роторной линии и должно быть одинаковым для всех транспортных и рабочих роторов. Это возможно, если угловые скорости роторов ω_i подчиняются равенству:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{N_i \times t_{iia}}$$

где N_i – общее число гнезд в роторе.

7 РАСЧЕТ ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН

В условиях реального производства технологическая машина не может работать непрерывно. Периодически имеют место простои по тем или иным причинам. Таковыми могут быть: смена инструмента, отказы в работе механизмов машины, перерывы в работе, предусмотренные регламентом или вызванные сбоями в организации производства, переналадка машины на выпуск нового ассортимента продукции. Кроме того, время, затраченное на выпуск бракованной продукции, должно быть также отнесено к потерям.

Перечисленные простои могут повторяться через определенный период времени, либо иметь случайный характер. В последнем случае путем длительных наблюдений за работой машины может быть установлен период времени, в течение которого велика вероятность наступления простоя.

Предположим, что путем наблюдений установлена наибольшая длительность одного из простоев, а все остальные простои имеют меньший период повторяемости. Обозначим этот период времени Θ .

Тогда фактическая производительность за период Θ определится из формулы

$$Q_{\delta} = \frac{Z_{\delta}}{\Theta}, \quad (7.1)$$

где Z_{δ} – фактическое количество изделий, обработанных за время Θ .

Время Θ представим в виде:

$$\Theta = \Theta_{\delta} + \sum \Theta_i, \quad (7.2)$$

где Θ_{δ} – время работы машины за период Θ ;

$\sum \Theta_i$ – суммарное время простоев.

Тогда

$$Z_{\delta} = \frac{\Theta_{\delta}}{T_{\delta}}. \quad (7.3)$$

Подставим в (7.1) выражения из (7.2), (7.3). В результате получим:

$$Q_{\delta} = \frac{\Theta_{\delta}}{T_{\delta} (\Theta_{\delta} + \sum \Theta_i)}$$

Обозначим $1/T_p = Q_m$, имея ввиду, что размерности Q_m и T_p согласованы, тогда

$$Q_{\delta} = Q_{\delta} \cdot \frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_i}. \quad (7.4)$$

Обозначим

$$\frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_i} = \eta_{\delta} \quad (7.5)$$

и назовем η_{δ} коэффициентом использования машины. Тогда

$$Q_{\delta} = Q_{\delta} \cdot \eta_{\delta}.$$

Коэффициент использования η_{δ} выражает потери производительности по причинам, зависящим как от совершенства конструкции машины, так и по причинам, от нее не зависящим.

Рассмотрим типовую структуру потерь времени на простои [12]:

$$\sum \Theta_i = \Theta_{\delta} + \Theta_{i\acute{a}} + \Theta_{i\grave{a}\delta} + \Theta_{\acute{a}\delta} + \Theta_{i\delta\grave{a}}, \quad (7.6)$$

где Θ_{δ} – потери времени на смену инструмента;

$\Theta_{i\acute{a}}$ – потери времени на устранение отказов оборудования;

$\Theta_{i\grave{a}\delta}$ – потери времени на переналадку машины в связи с выпуском нового ассортимента продукции;

$\Theta_{\acute{a}\delta}$ – потери времени на выпуск бракованной продукции;

$\Theta_{i\delta\bar{a}}$ – потери времени по организационным причинам.

Первые четыре вида потерь в формуле (7.6) напрямую связаны с совершенством конструкции машины. Обозначим сумму этих потерь $\sum \Theta_{\bar{n}}$:

$$\sum \Theta_{\bar{n}} = \Theta_{\grave{e}} + \Theta_{i\acute{a}} + \Theta_{i\grave{a}\delta} + \Theta_{\acute{a}\delta}. \quad (7.7)$$

Подставим (7.7) в (7.6), а затем в (7.5):

$$\eta_{\grave{e}} = \frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}} + \Theta_{i\delta\bar{a}}}. \quad (7.8)$$

Умножим числитель и знаменатель правой части уравнения (7.8) на $(\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}})$:

$$\eta_{\grave{e}} = \frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}} \cdot \frac{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}} + \Theta_{i\delta\bar{a}}}.$$

Обозначим $\frac{\Theta_{\delta}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}} = \eta_{\delta\acute{a}\delta}$, $\frac{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}}}{\Theta_{\delta} + \sum \Theta_{\bar{n}} + \Theta_{i\delta\bar{a}}} = \eta_{\zeta}$,

где $\eta_{\delta\acute{a}\delta}$ – коэффициент технического использования;

η_{ζ} – коэффициент загрузки.

Тогда $\eta_{\grave{e}} = \eta_{\delta\acute{a}\delta} \cdot \eta_{\zeta}$.

Иногда необходимо оценить степень использования машины за период, превышающий время Θ , например за весь срок эксплуатации. При этом можно воспользоваться коэффициентом эксплуатации:

$$\eta_{\acute{y}} = \frac{\sum N_i}{N_{\acute{y}}},$$

где $N_{\acute{y}}$ – календарный срок службы машины-автомата (срок эксплуатации);

$\sum N_i$ – суммарная календарная длительность периодов работы машины в течение $N_{\acute{y}}$, $\sum N_i = N_{\acute{y}} - \sum \tau_{i\bar{\delta}}$;

$\sum \tau_{i\bar{\delta}}$ – суммарная календарная длительность планово-предупредительных ремонтов машины-автомата за срок службы.

Суммарная степень использования машины за срок эксплуатации оценивается общим коэффициентом использования

$$\eta_{i\grave{e}} = \eta_{\grave{e}} \cdot \eta_{\acute{y}}.$$

ЧАСТЬ 3. СТРУКТУРА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН-АВТОМАТОВ

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.

В настоящей части учебника изложены некоторые вопросы функционирования и проектирования систем управления машин-автоматов легкой промышленности.

8 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

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 φ , пропорциональной времени: $u = F(t)$; $u = F(\varphi)$.

На рисунке 8.1 *a* приведен график закона движения иглы швейной машины, представленного в виде зависимости координаты y точки острия иглы от угла поворота φ ведущего кривошипа механизма иглы. Угол φ 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 рисунке 8.1 *a* кинематическому циклу иглы соответствует поворот кривошипа на угол $\varphi = 2\pi$, а величина t_K определится из равенства

$$t_K = \frac{2\pi}{\omega},$$

где ω – угловая скорость ведущего кривошипа.

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

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

Рассмотрим эти формы.

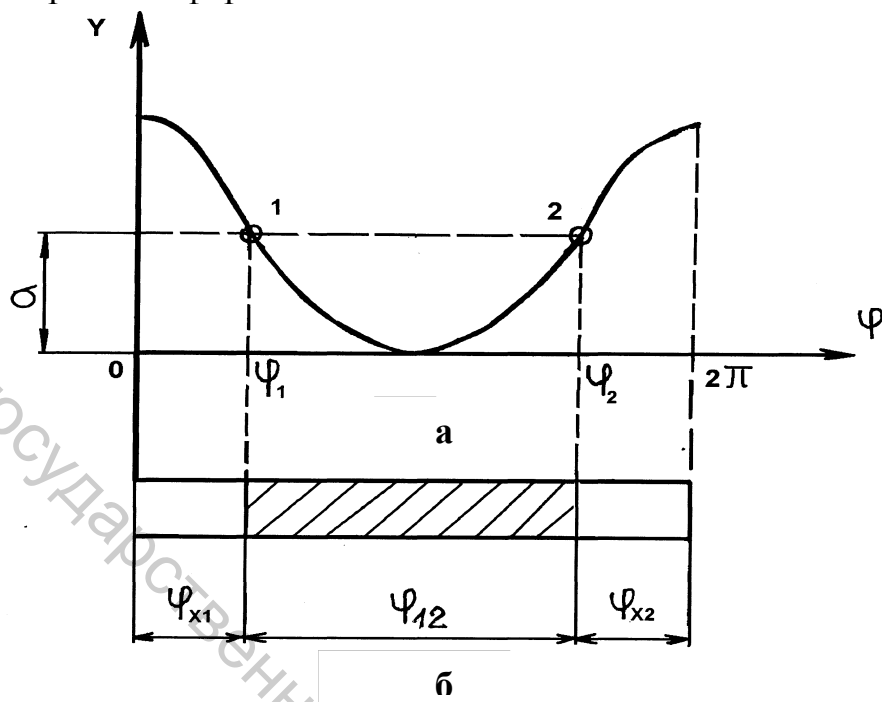


Рисунок 8.1 – а) график закона движения иглы швейной машины; б) цикловая диаграмма иглы

8.1 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 рисунке 8.1 б 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 так далее). Например, в качестве рабочего хода иглы швейной машины (рис. 8.1 а) принимают часть цикла φ_{12} от момента прокола материала (точка 1 на графике) до момента выхода ее из материала (точка 2). Точки 1 и 2 на графике 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 φ_x), на протяжении которого рабочий инструмент не взаимодействует с обрабатываемым материалом. На рисунке 8.1 а холостой ход φ_x иглы равен $\varphi_x = \varphi_{x1} + \varphi_{x2}$, где φ_{x1} – отрезок $[0, \varphi_1]$ на оси абсцисс; φ_{x2} – отрезок $[\varphi_2, 2\pi]$ 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 рисунке 8.2 показана схема рабочих инструментов прессы ПОТГ-20, а на рисунке 8.3 приведена тактограмма ударника для его горизонтальных перемещений.

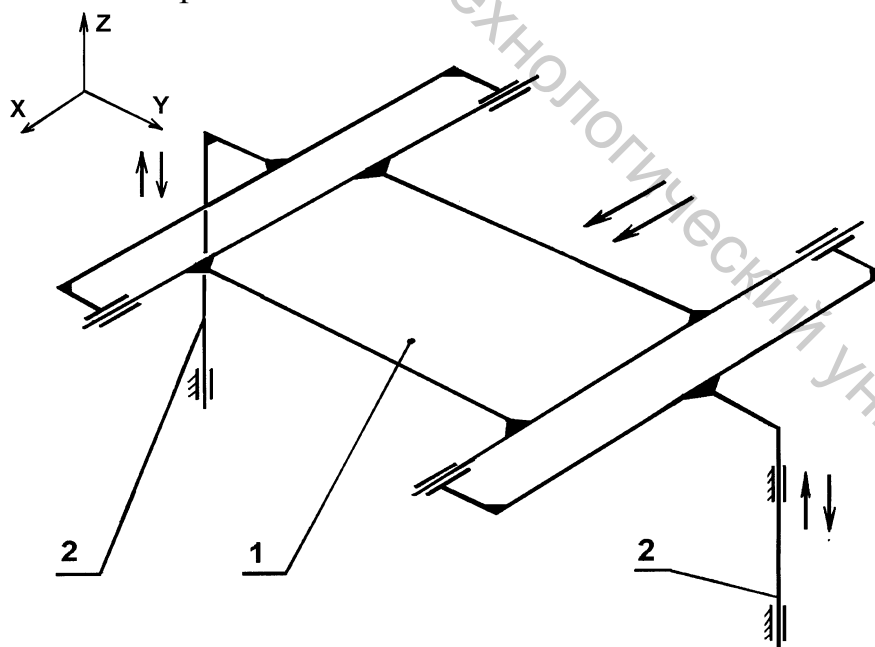


Рисунок 8.2 – Схема рабочих органов вырубочного прессы ПОТГ-20: 1 – траверса; 2 – вертикальные стойки

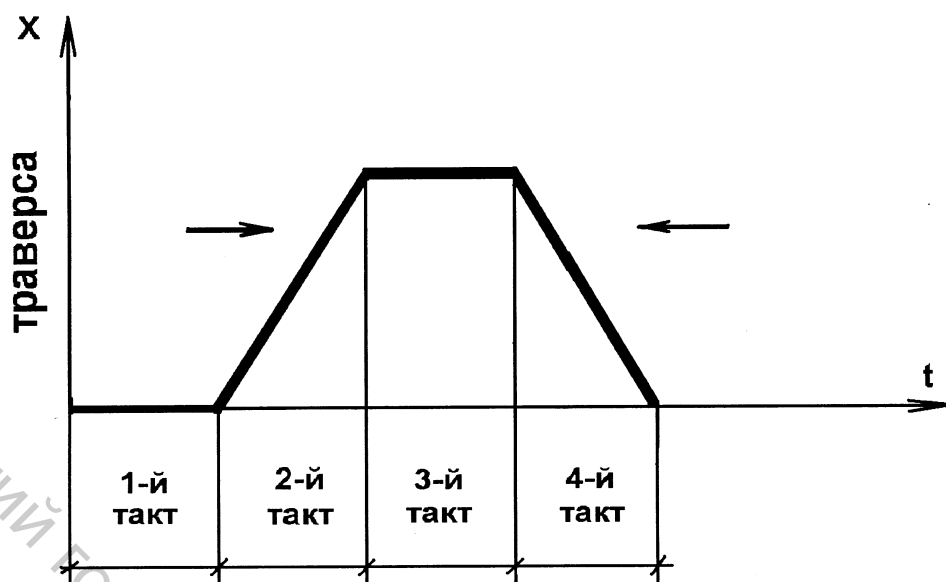


Рисунок 8.3 – Тактограмма траверсы

8.2 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 рисунке 8.4 пунктирной линией показана траектория T , 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 T 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.

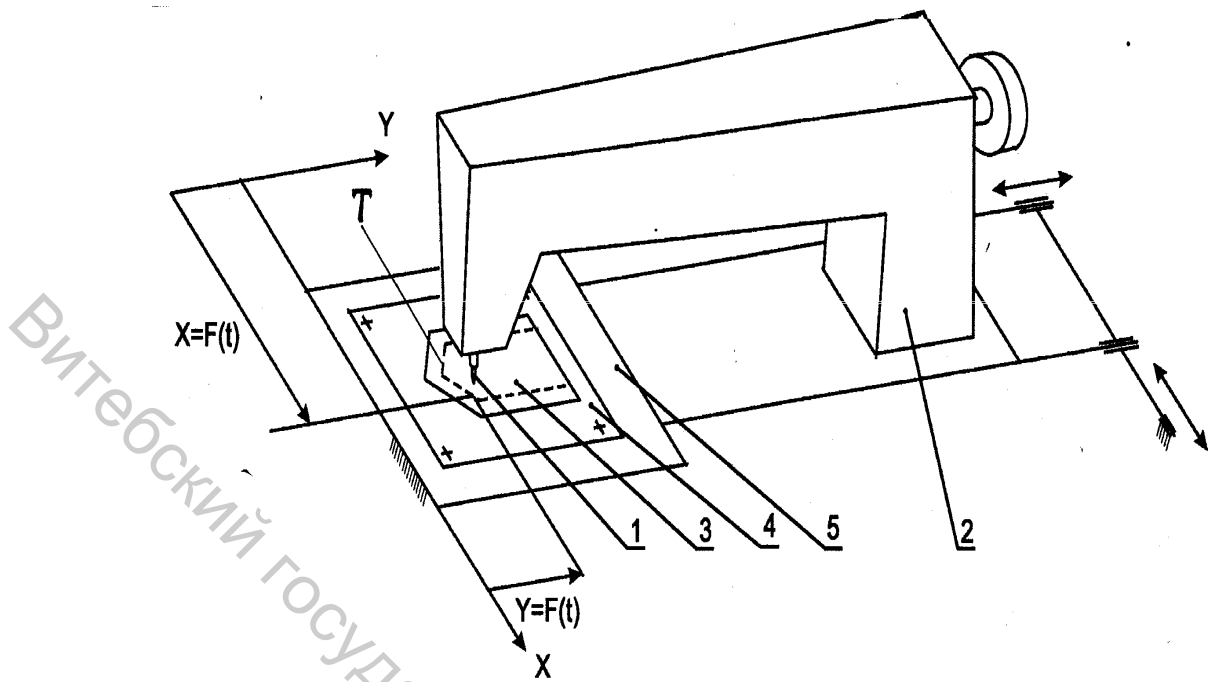


Рисунок 8.4 – Тактограмма сложного движения иглы швейной головки

На рисунке 8.5 показана прямоугольная цикловая диаграмма швейной машины.



Рисунок 8.5 – Циклограмма швейной машины

Согласование законов движения рабочих инструментов машины-автомата, представленных позициями, отражается в виде раскладки. На рисунке 8.6 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.

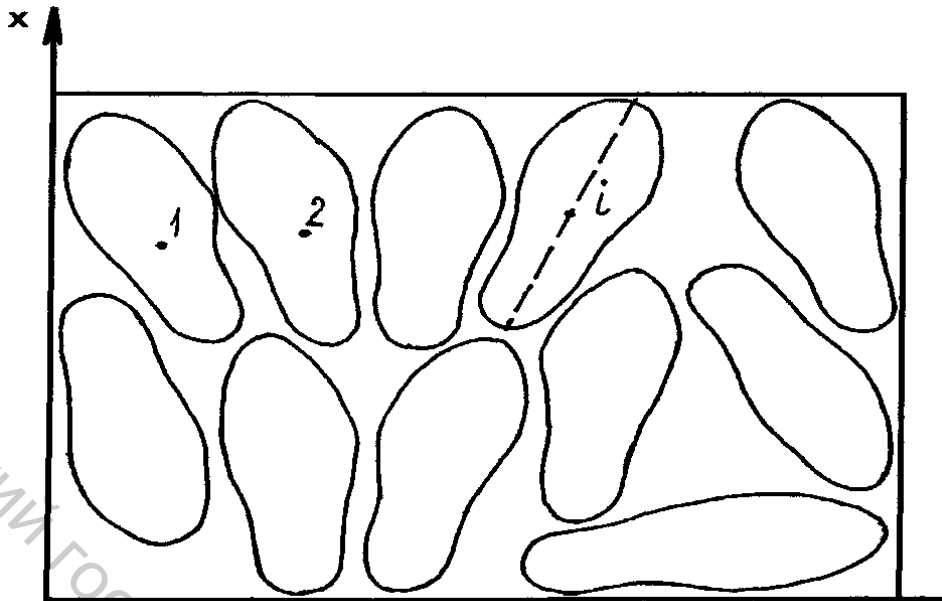


Рисунок 8.6 – Раскладка деталей низа обуви на листе материала

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

На рисунке 8.7 показана тактограмма вырубочного пресса ПОТГ-20-0 (рис. 8.2).

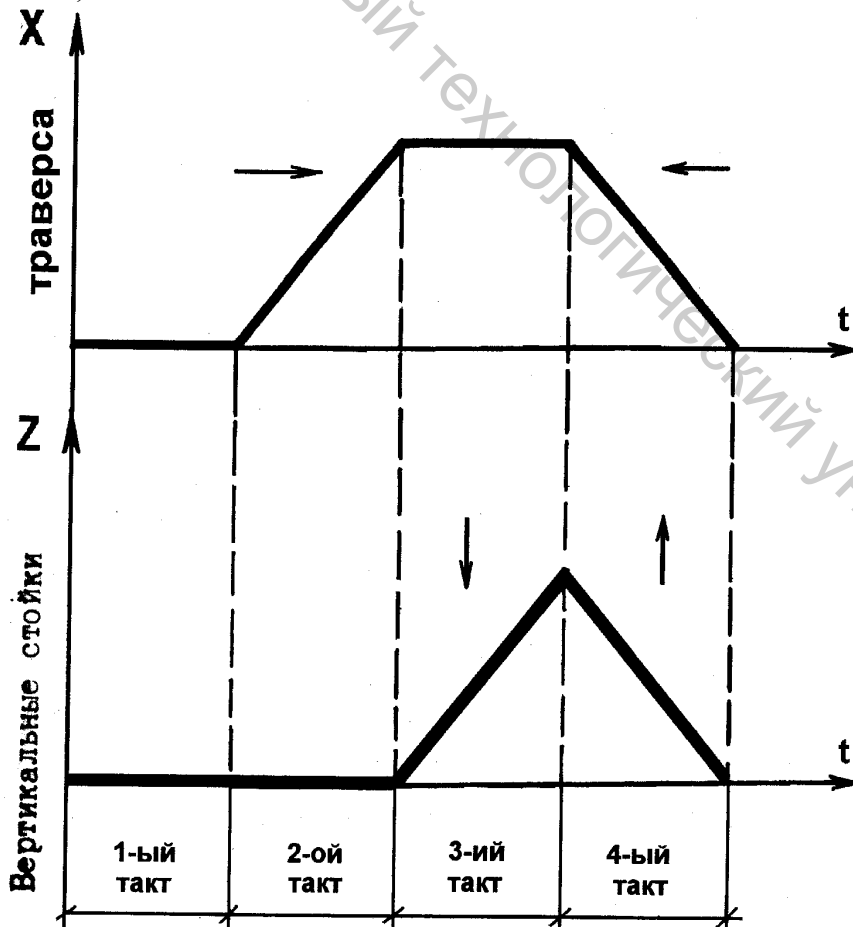


Рисунок 8.7 – Тактограмма вырубочного пресса

8.3 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 [13]. 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 [14]. В дальнейшем будем придерживаться первого названия.

9 СТРУКТУРА СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

9.1 Классификация систем путевого управления

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

На рисунке 9.1 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 рисунке 9.2 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 [14].

Несмотря на то, что имеется литература [14, 15, 16], в которой достаточно подробно изложены элементы алгебры логики, считаем целесообразным дать необходимые сведения в настоящем учебнике.

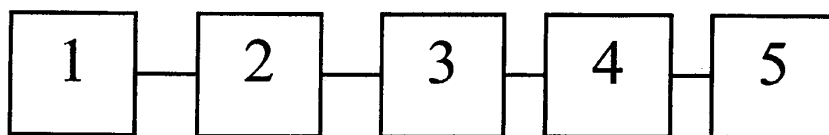


Рисунок 9.1

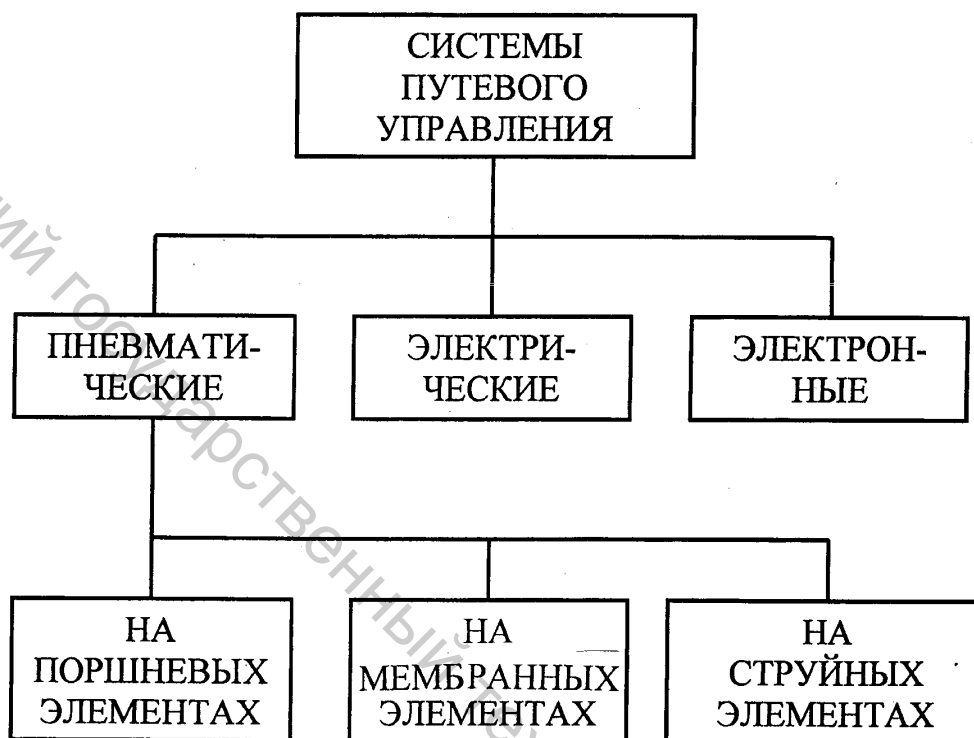


Рисунок 9.2

9.2 Сведения из алгебры логики, используемые при проектировании систем путевого управления

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

В алгебре логики рассматриваются переменные, которые могут принимать только два значения, например, 0 и 1. Обозначим независимые переменные через x_1, x_2, \dots , а функции – через f_1, f_2, \dots . 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 ($x_1, x_2, \dots, f_1, f_2, \dots$).

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

Функция логического умножения (конъюнкция): $f = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$ *. 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 два значения (0 или 1), то возможное число комбинаций значений этих переменных (число состояний) равно 2^n .

На рисунках 9.3–9.6 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: $(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$;

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

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:

$$x + x = x, \quad (9.1) \quad x \cdot x = x, \quad (9.5)$$

$$x + \bar{x} = 1, \quad (9.2) \quad x \cdot \bar{x} = 0, \quad (9.6)$$

$$x + 1 = 1, \quad (9.3) \quad x \cdot 1 = x, \quad (9.7)$$

$$x + 0 = x, \quad (9.4) \quad x \cdot 0 = 0, \quad (9.8)$$

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 \quad (9.9)$$

$$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \quad (9.10)$$

* (знаки логического сложения \wedge и умножения \vee отличаются от обычных, однако допустимо пользоваться последними при обозначении логических операций).

№№ состояний	x	f
1	0	0
2	1	1

Рисунок 9.3 – Таблица состояний функции повторения

№№ состояний	x	f
1	0	1
2	1	0

Рисунок 9.4 – 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

Рисунок 9.5 – 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

Рисунок 9.6 – Таблица состояний функции логического умножения

Справедливость тождеств (9.1)–(9.8) очевидна. В справедливости же (9.9), (9.10) можно убедиться из таблиц состояний, приведенных на рисунках 9.7, 9.8.

Функции, стоящие в левых частях (9.9), (9.10), 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» (рис. 9.7).

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 (рис. 9.7) мы должны записать следующее выражение:

$$f = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2. \quad (9.11)$$

Форма записи (9.11) 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 (9.11) удовлетворяет таблице состояний функции «штрих Шеффера». Однако выражение (9.11) отличается от записи (9.9) этой функции. Различие выражений свидетельствует о том, что форма записи (9.11) не является оптимальной. Выражение (9.11) можно упростить. Упрощение аналитического выражения логической функции называют её минимизацией. Критерием минимизации является число символов независимых переменных в аналитическом выражении функции.

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

Рисунок 9.7 – Таблица состояний функции «Штрих Шеффера»

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

Рисунок 9.8 – Таблица состояний функции «стрелка Пирса»

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 (9.2) равно 1. Кроме того, согласно (9.7) умножение логической переменной, находящейся за скобками, на 1 даёт значение этой же переменной. В результате указанное выражение в скобках вообще исключается из записи. Пример:

$$f = x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1 \cdot x_2 (\bar{x}_3 + x_3) = x_1 \cdot x_2. \quad (9.12)$$

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 (9.1) не изменит значения логической функции. Этот прием может быть использован при минимизации полученного нами выражения (9.11).

Для этого прибавим к сумме еще раз слагаемое $\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$:

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

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 рисунках 9.9–9.13 приведены разметки карт Вейча для логических функций двух, трех, четырех, пяти и шести переменных. Для каждой переменной x_i ($i = 2, 3, \dots, n$) 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 .

	\bar{X}_2	X_2
X_1	1	0
\bar{X}_1	1	1

Рисунок 9.9

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

Рисунок 9.10

	\bar{X}_2		X_2		
X_1		1	1		\bar{X}_3
		1	1		X_3
\bar{X}_1					\bar{X}_3
	\bar{X}_4		X_4		\bar{X}_4

Рисунок 9.11

	\bar{X}_2				X_2				
X_1			1	1	1	1			\bar{X}_3
			1	1	1	1			X_3
\bar{X}_1									\bar{X}_3
	\bar{X}_4				X_4				\bar{X}_4
	\bar{X}_5		X_5		\bar{X}_5		X_5		\bar{X}_5

Рисунок 9.12

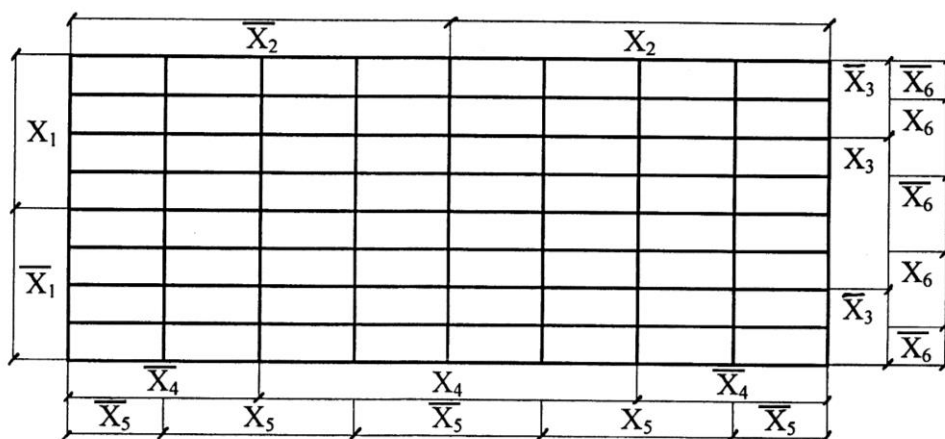


Рисунок 9.13

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

В каждую клетку вписывается значение логической функции (0 или 1) для того состояния, которому эта клетка соответствует.

В качестве примера рассмотрим процесс вписывания 1 и 0 в клетки карты Вейча (рис. 9.9) по заданной таблице состояний (рис. 9.7). Состояние № 1 содержит $x_1 = 0$; $x_2 = 0$, поэтому ему соответствует клетка, расположенная в поле \bar{x}_1 и \bar{x}_2 , то есть в нижнем левом углу. В эту клетку вписываем цифру 1, так как в состоянии № 1 логическая функция равна 1. Состоянию № 2 соответствует клетка, расположенная в поле x_1 и \bar{x}_2 , то есть в верхнем левом углу, так как $x_1 = 1$, $x_2 = 0$. 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. 9.10) 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. 9.11).

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

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

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. 9.12), 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 (9.1).

Например, для карты Вейча на рисунке 9.9 можно рассматривать две группы по две 1:

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

9.3 Элементы систем путевого управления

В блок-схеме системы путевого управления (рис. 9.1) следует выделить элементы, выполняющие собственно функции управления: путевые переключатели 1 и логические элементы 2. Управление состоит в переключении состояний логических элементов в зависимости от состояний путевых переключателей.

В настоящем учебнике поставлена задача изложения общих принципов проектирования систем путевого управления. Реализация этих принципов рассмотрена на примере пневматических систем с поршневыми 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. 9.14) 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, \dots , выходные f_1, f_2, \dots , 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 рисунке 9.15 а. Пневматический повторитель может быть выполнен в виде двухпозиционного трехходового распределителя (рис. 9.15 б) с пневматическим управлением, с возвратной пружиной. Верхнее поле этого распределителя соответствует присоединению управляющей линии x к атмосфере ($x = 0$).

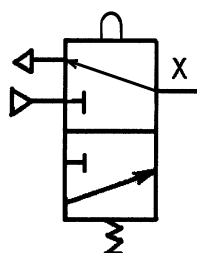


Рисунок 9.14

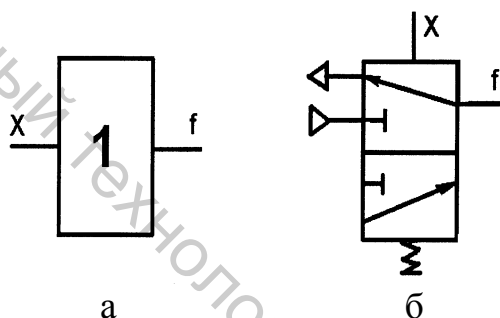


Рисунок 9.15 – Схемы повторителей:
а – логическая; б – пневматическая

Инверсор (элемент "НЕ") реализует функцию логического отрицания (инверсию) $f = \bar{x}$. Логическая схема инверсора приведена на рисунке 9.16 а. Пневматический инверсор может быть выполнен на базе поршневого повторителя, если в последнем верхнюю входную линию присоединить к магистрали, а нижнюю – к атмосфере (рис. 9.16 б).

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

Логическая схема элемента "ИЛИ" приведена на рисунке 9.17 а.

Пневматический элемент "ИЛИ" может быть выполнен на базе двух обратных клапанов (рис. 9.17 б). 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.

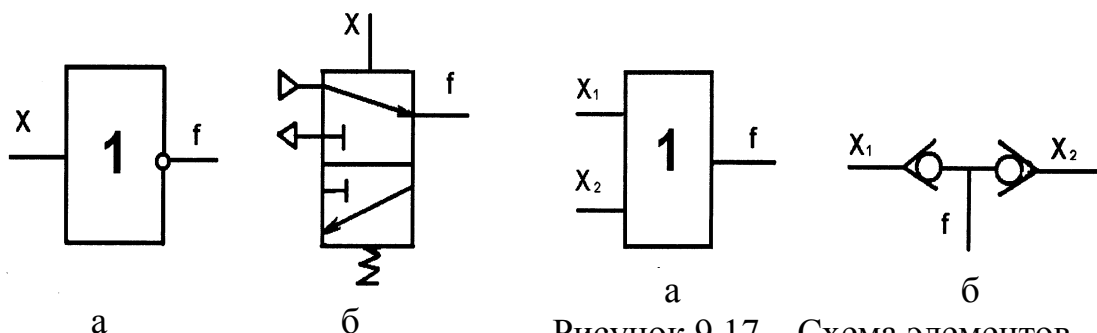


Рисунок 9.16 – Схема инверсоров:
а – логическая; б – пневматическая

Рисунок 9.17 – Схема элементов «ИЛИ»:
а – логическая; б – пневматическая

Элемент "И" реализует функцию логического умножения $f = x_1 \cdot x_2$. Логическая схема элемента "И" приведена на рисунке 9.18 а. Пневматический элемент "И" выполняется на базе двухпозиционного трехлинейного распределителя с пневматическим управлением с возвратной пружиной (рис. 9.18 б). 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» $f = x_1 + x_2$ реализуется логическим элементом "ИЛИ-НЕ". Логическая схема этого элемента приведена на рисунке 9.19 а. Пневматический элемент "ИЛИ-НЕ" может быть получен с помощью последовательно соединенных пневматических элементов "ИЛИ" (рис. 9.17 б) и "НЕ" (рис. 9.16 б).

Функция «штрих Шеффера» $f = x_1 \cdot x_2$ реализуется логическим элементом "И-НЕ". Логическая схема этого элемента приведена на рисунке 9.19 б. Пневматический элемент "И-НЕ" может быть получен с помощью последовательно соединенных пневматических элементов "И" (рис. 9.18 б) и "НЕ" (рис. 9.16 б).

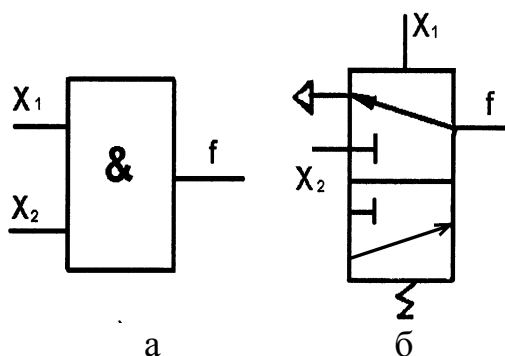


Рисунок 9.18 – Схема элементов «И»:
а – логическая;
б – пневматическая

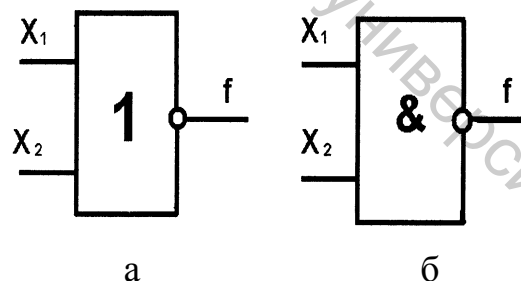


Рисунок 9.19 – Логические
схемы элементов:
а – ИЛИ-НЕ; б – И-НЕ

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, то есть указанные состояния не совмещены по времени. Такие элементы можно получить соединением комбинационных логических элементов. На рисунке 9.20 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 $x_2 = f_1$ и $x_3 = f_1$.

Рассмотрим таблицу состояний нового устройства (рис. 9.21), имея в виду для каждого элемента "ИЛИ-НЕ" таблицу состояний на рисунке 9.8.

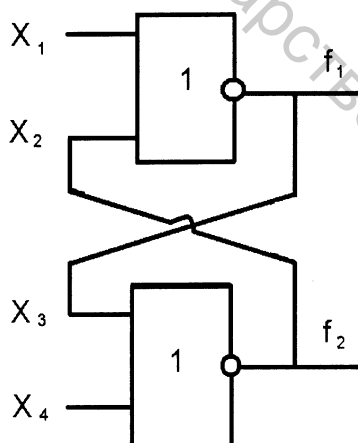


Рисунок 9.20 – Соединение двух элементов «ИЛИ-НЕ»

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

Рисунок 9.21

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 $f_2 = 0$, то есть 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 $x_3 = 0, x_4 = 0$ изменяются 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 $f_1 = \bar{f}_2$, то есть переменные f_1 и f_2 являются инверсиями. Учитывая, что $x_2 = f_2, x_3 = f_1$, перепишем таблицу состояний устройства в виде рисунка 9.22.

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 рисунке 9.23 построены временные диаграммы переменных x_1, x_4 и f_1 при переходе от состояния 1 в состояние 2 и так далее 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.

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

Рисунок 9.22

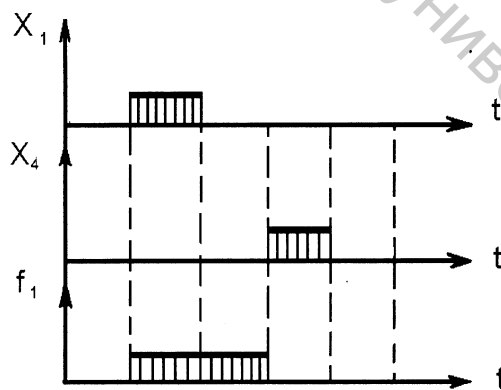


Рисунок 9.23

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 в системах управления и имеет в связи с этим особое обозначение, которое приведено на рисунке 9.24. 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 отдельными 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. 9.25). Состоянию $x_{\text{вкл.}} = 1$ соответствует правое поле.

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

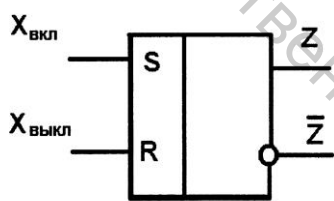


Рисунок 9.24

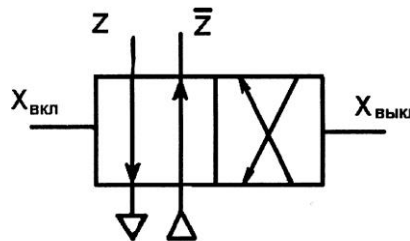
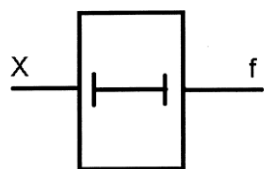
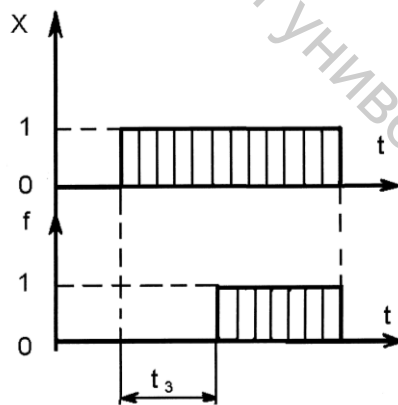


Рисунок 9.25

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_3 позже, чем независимая переменная на входе. На рисунке 9.26 а показано изображение элемента задержки на логических схемах, на рисунке 9.26 б – временная диаграмма входной и выходной переменных.



а



б

Рисунок 9.26

Пневматический элемент задержки выполняется на базе пневматической емкости (ресивера), обратного клапана, регулируемого дросселя и двухпозиционного трехлинейного распределителя с пневматическим управлением, с возвратной пружиной (рис. 9.27).

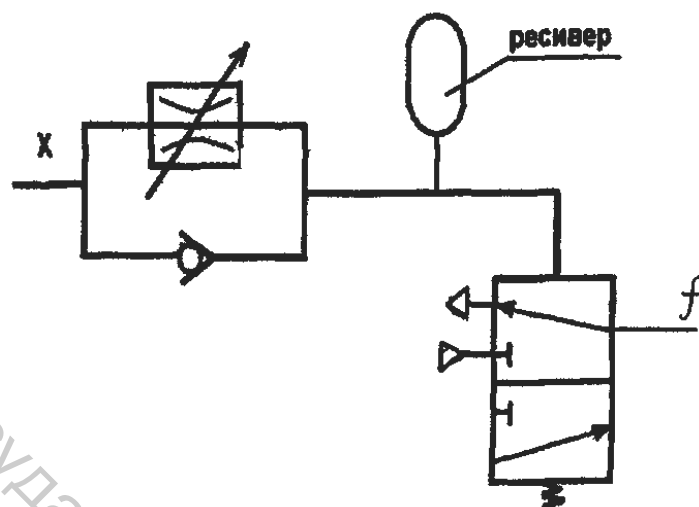


Рисунок 9.27 – Пневматический элемент задержки

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_3 после появления значения $x = 1$. Время задержки t_3 изменяется регулировкой дросселя.

Другие элементы систем путевого управления

Такие элементы систем путевого управления, как усилитель мощности 3 (рис. 9.1), 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.

10 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

10.1 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 [16, 26].

На рисунке 10.1 приведена принципиальная схема пневмопривода машины-автомата. Схема включает в себя распределительные устройства в виде пневматических двухпозиционных распределителей P1 и P2 с пневматическим управлением и возвратной пружиной; исполнительные устройства, состоящие из пневмоцилиндров Ц1, Ц2 и поршней П1, П2.

На рисунке 10.2 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. 10.1) являются распределители P1 и P2. Тип управления распределителями определяет и тип системы управления. Так, на рисунке 10.1 тип управления пневматический и соответствующая система управления должна быть пневматической.

Из тактограммы (рис. 10.2) следует, что изменения состояний рабочих органов происходят в их крайних положениях, 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 X1, X2,

X_3, X_4 осуществляется кулачками K_1 и K_2 , установленными на штоках поршней Π_1 и Π_2 .

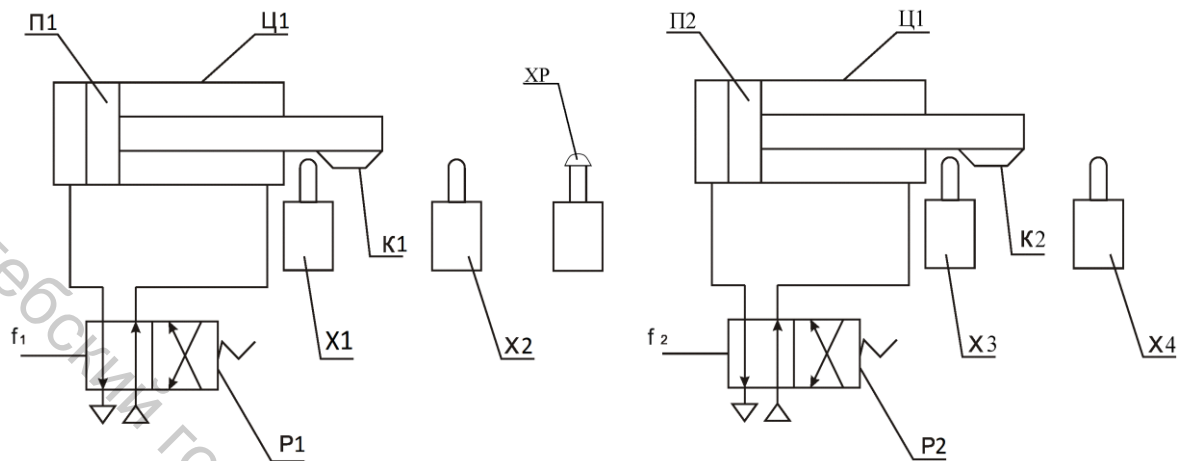


Рисунок 10.1

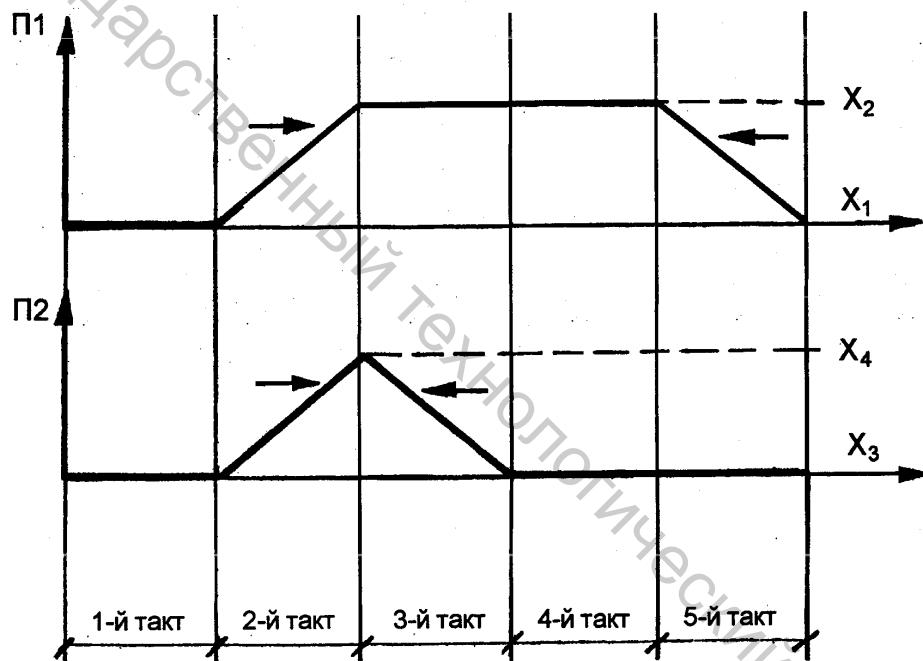


Рисунок 10.2

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

На управляющие линии распределителей P_1 и P_2 подаются пневматические сигналы f_1 и f_2 , являющиеся выходными для системы путевого 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 P1) поршень П1 может находиться в 2-х состояниях: движение вправо и остановка в крайнем правом положении. При $f_1 = 0$ (левое поле P1) 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 рисунке 10.3.

Временные диаграммы входных переменных x_1, x_2, \dots и выходных f_1, f_2, \dots строятся из условия, что заданная тактограмма (рис. 10.2) 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 X1 и X3, и на выходах переключателей установлены сигналы $x_1 = 1, x_3 = 1$. Штоки путевых переключателей X2 и X4 в первом такте не нажаты, поэтому $x_2 = 0, x_4 = 0$.

Распределители P1 и P2 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 рисунке 10.3. Обратим внимание на то, что путевой переключатель X4 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, \dots могут быть только потенциальными.

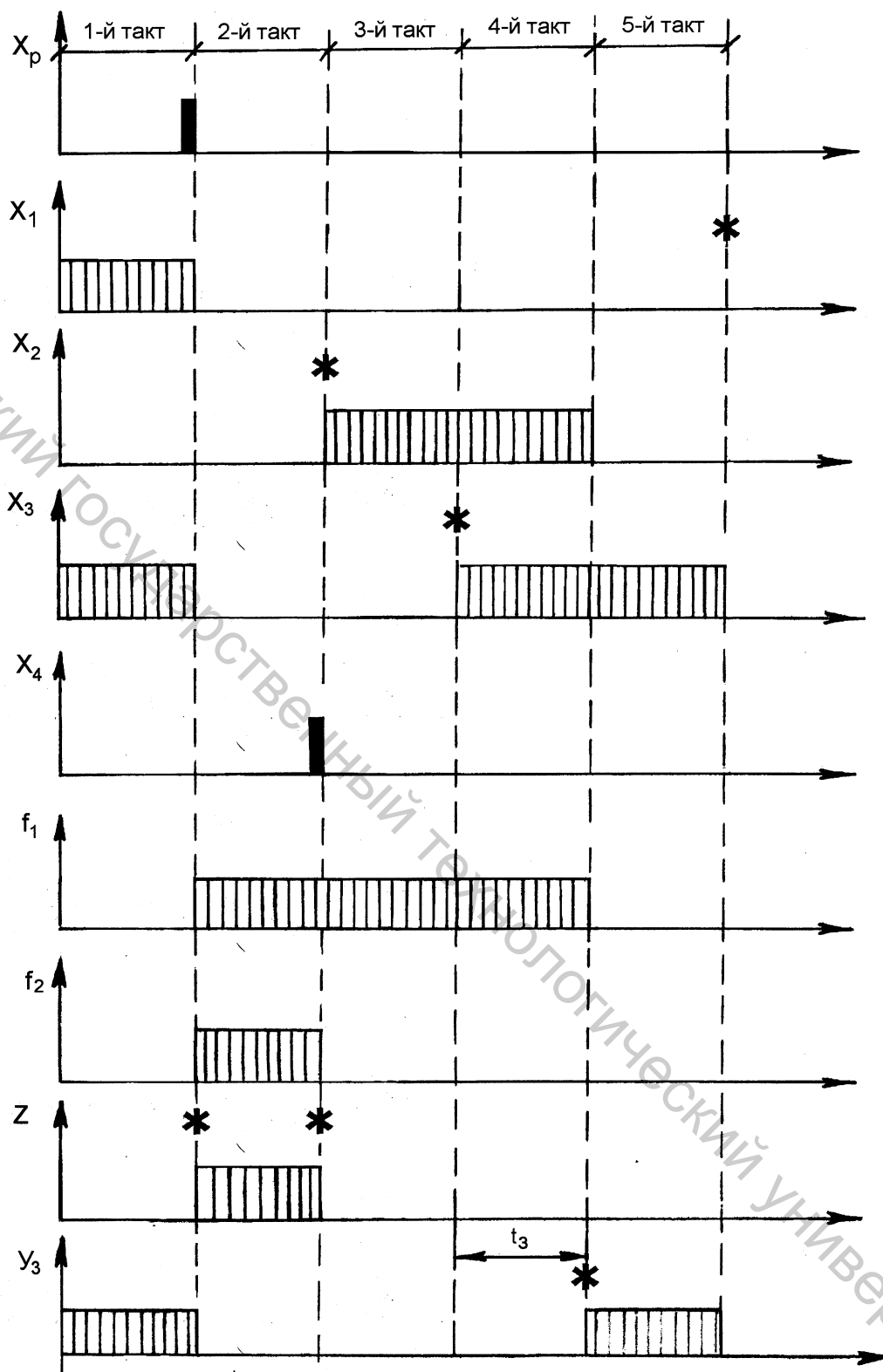


Рисунок 10.3

Условия переключения выходных функций.

Для того, чтобы реализовать временные диаграммы выходных функций f_1, f_2, \dots 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, \dots, x_n . Очевидно, что это возможно лишь в конце тактов движения рабочих органов. Отметим на временных диаграммах x (рис. 10.3) 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. 10.3), 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, \dots 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 X_P , а переключать автоматически в состояние 0 – импульсным входным сигналом x_4 . Соответствующие временные диаграммы x_p и z приведены на рисунке 10.3. Моменты, соответствующие переключению потенциального

входного сигнала z , обозначим знаками $*$. С введением 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 рисунке 10.3. 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 рисунке 10.2, согласно временным диаграммам (рис. 10.1), 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.

10.2 Порядок проектирования систем путевого управления

На основании изложенного в подразделе 10.1 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 ХР, предназначенных для запуска автоматической части цикла, обычно равно 1. В том случае, когда необходимо заблокировать возможность попадания рук оператора

в опасную зону, предусматривается запуск цикла одновременным нажатием двумя руками на два ручных переключателя $XР1, XР2$.

2. Производится индексация путевых переключателей $X1, X2...XN$ и ручной кнопки $XР$ 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 $f_1, f_2, ...$.

4. Строятся временные диаграммы входных сигналов $x_1, x_2, ...x_N, x_P$ и выходных функций $f_1, f_2, ...$ (рис. 10.3).

5. Проверяем, выполняется ли «правило автоматических переключений» выходных функций $f_1, f_2, ...$. Это правило исходя из рассуждений, приведенных на стр. 83–85 настоящего учебника, 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 сигналов элементов памяти z_j , 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 (рис. 3.3), то вводят элементы памяти, а при необходимости, и реле времени.

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 10.1 приведено рекомендуемое число элементов памяти в зависимости от числа импульсных сигналов x_i .

Таблица 10.1 – 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 рисунке 10.3 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 (рис. 10.3), после чего определяются входные импульсные

сигналы x_i , подаваемые на входы включения и выключения каждого элемента памяти. Например, из диаграммы z на рисунке 10.3 следует: $x_{\text{вкл}} = x_p$; $x_{\text{выкл}} = x_4$. Если элементов памяти несколько ($Z1, Z2, \dots$), то для каждого элемента памяти определяются импульсные сигналы x_i , подаваемые на входы включения $x_{\text{вкл}1}, x_{\text{вкл}2}, \dots$ и входы выключения $x_{\text{выкл}1}, x_{\text{выкл}2}, \dots$ 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 $Z1, Z2, \dots$ задача переключения выходных функций f_1, f_2, \dots все равно не решается, то вводятся реле времени. Практика проектирования показывает, что необходимость введения реле времени появляется в том случае, если на тактограмме (рис. 10.2) имеется хотя бы один такт (кроме 1-го), на протяжении которого все рабочие органы машины-автомата находятся в состоянии покоя. На рисунке 10.2 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 рисунке 10.3 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 (рис. 10.3).

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

Таблица 10.2 – 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, \dots составляются таблицы состояний выходных функций f_1, f_2, \dots . 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, таблица 10.3).

Таблица 10.3 – 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 10.3 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 10.3. такты 1 и 5 одинаковы, поэтому число состояний равно четырем.

10. Для выходных функций f_1, f_2, \dots составляются карты Вейча. На рисунках 10.4, 10.5 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, \dots в аналитических выражениях функций должны быть сохранены переменные, указанные для этой функции в таблице переключений (таблица 10.2). Например, в выражении функции f_1 (табл. 10.2) должны сохраниться переменные z и y_3 (или их инверсии \bar{z} и \bar{y}_3), для функции f_2 – переменная z (или ее инверсия \bar{z}).

Так, для функции f_1 на карте Вейча (рис. 10.4) имеющиеся 3 единицы можно объединять в две группы по две клетки, содержащие 1 и (-) симметричные оси перемещений x_3 . В результате получим $f_1 = \bar{z} \cdot \bar{y}_3 + z \cdot \bar{y}_3$.

Функцию f_2 (рис. 10.4), имеющую одну единицу, можно включить в группу из четырех клеток с тремя (-). В результате получим $f_2 = z$.

12. Пользуясь таблицей переключений (таблица 10.2), составляется логическая функциональная схема системы управления. Для проектируемой системы управления логическая функциональная схема приведена на рисунке 10.6.

13. Логическая функциональная схема реализуется с помощью конкретных элементов. Для проектируемой системы управления на рисунке 10.7 приведена принципиальная пневматическая схема.

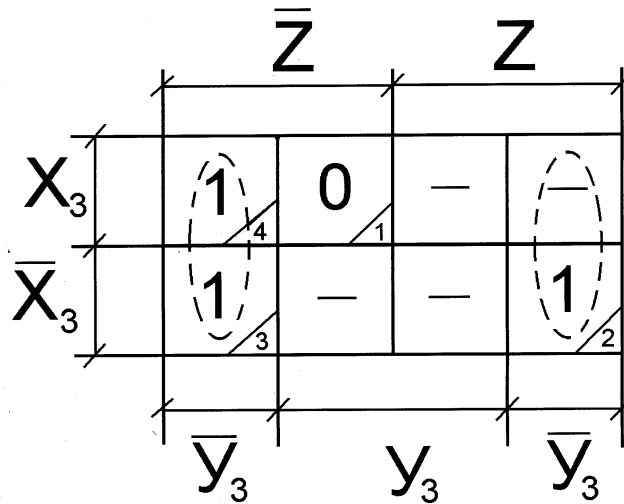


Рисунок 10.4 – Карта Вейча для функции f_1

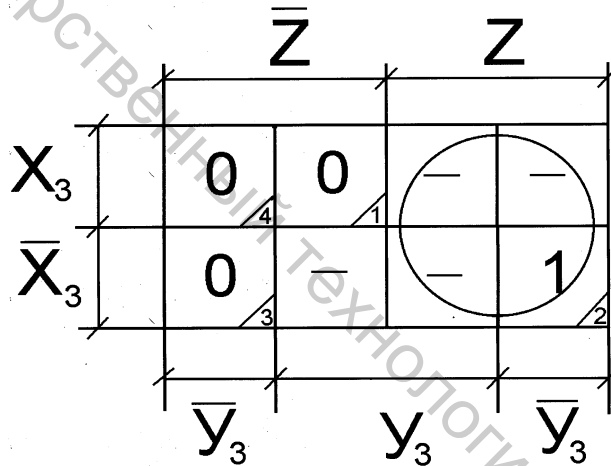


Рисунок 10.5 – Карта Вейча для функции f_2

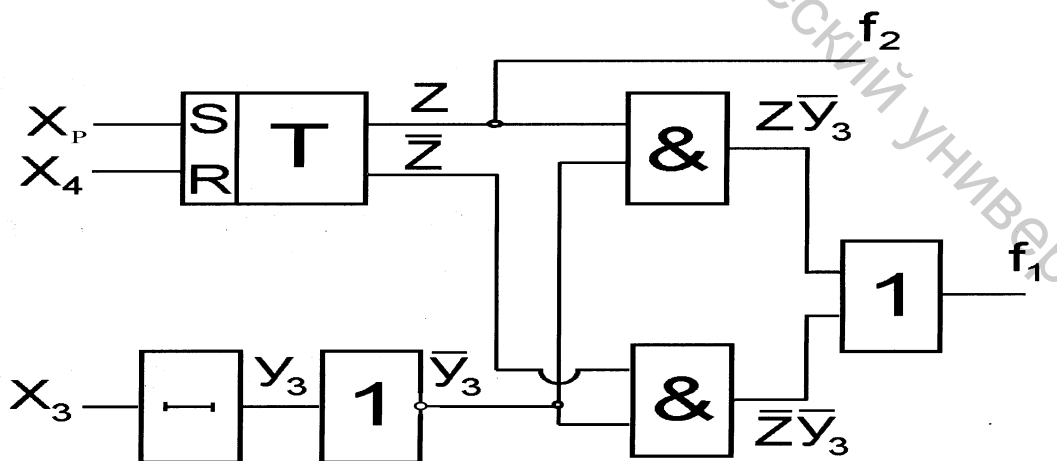


Рисунок 10.6 – Логическая функциональная схема системы управления

11 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 9.2.

11.1 Пневматические системы путевого управления на мембранных элементах

Системы управления на мембранных элементах разработаны институтом автоматики Академии наук СССР и получили наименование УСЭПА [15] (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. 11.1) могут выполняться в виде пусковых кнопок с кулачковым управлением. В исходном положении шток 1 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 рисунке 11.2 приведено условное изображение путевого переключателя. Отличие от изображения поршневого путевого переключателя состоит лишь в ином изображении подключения входных линий к атмосфере и магистрали (рис. 11.5).

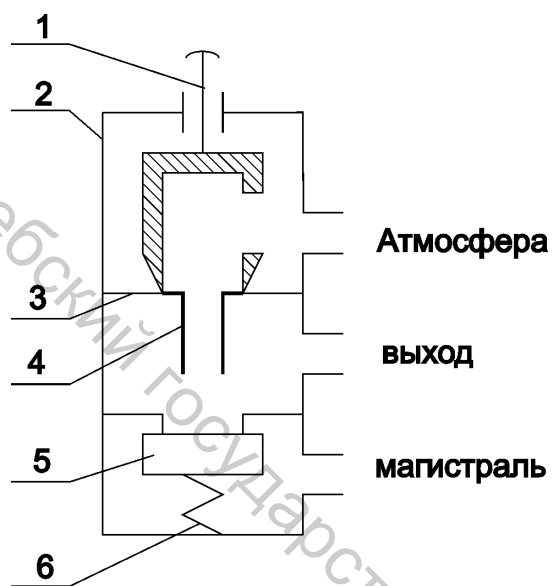


Рисунок 11.1 – Конструктивная схема путевого переключателя:
1 – шток; 2 – корпус; 3 – мембрана;
4 – нажиматель; 5 – клапан; 6 – пружина

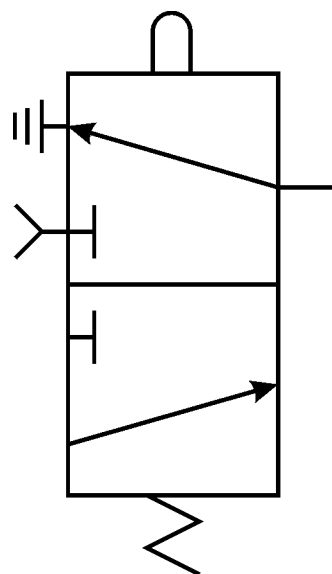


Рисунок 11.2 – Условное обозначение путевого переключателя

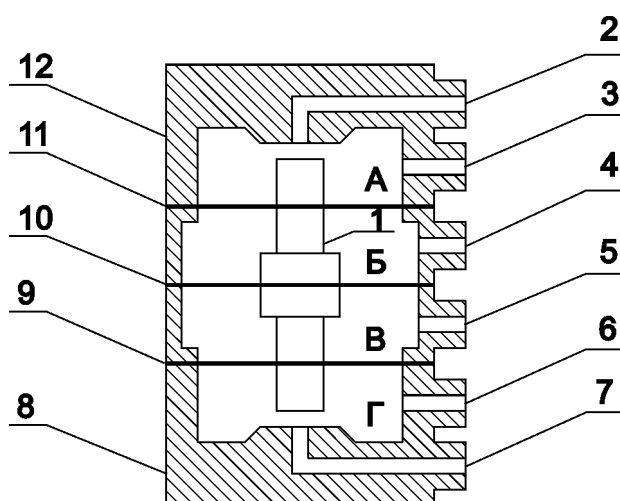


Рисунок 11.3 – Конструктивная схема трехмембранного пневматического реле

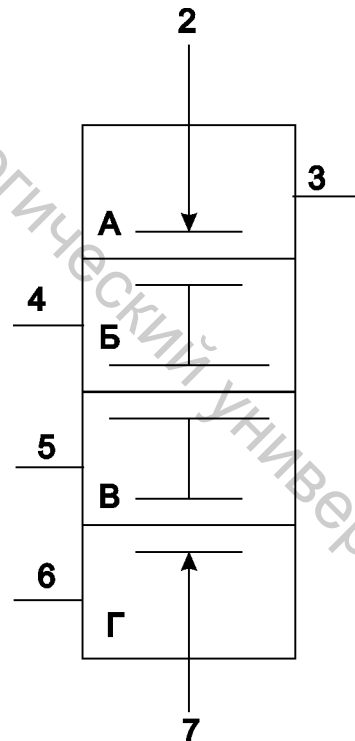


Рисунок 11.4 – Условное изображение пневматического реле

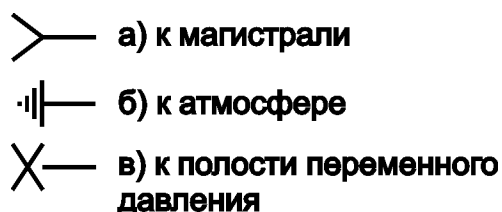


Рисунок 11.5 – Условное изображение присоединения входных каналов

Логические элементы формируются на базе трехмембранного реле (рис. 11.3).

Реле состоит из корпуса, двух крышек 8 и 12, штока 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 шток 1 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 шток 1 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 рисунке 11.4. Входные и выходные каналы обозначены теми же номерами 2...7, что и на рисунке 11.3.

Входные каналы реле могут подсоединяться к:

- источнику постоянного давления P_m магистрали системы управления $P_m = 0,04 \text{ МПа}$ (P_m – избыточное давление);
- источнику постоянного давления P_p подпора, меньшего, чем давление P_m , $P_p = 0,3P_m$ или $P_p = 0,8P_m$;
- атмосфере, атмосферное давление P_a ;
- полости переменного давления $P_{вх} = P_m$; $P_{вх} = P_a$.

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

Давлению $P_{вх} = P_a$ соответствует уровень сигнала $x = 0$, давлению $P_{вх} = P_m$ соответствует уровень сигнала $x = 1$. Если входных сигналов несколько, то они обозначаются индексами: $x_1; x_2 \dots$

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 P_a или P_m . Выходной сигнал обозначают f . Уровень выходного сигнала равен 1 при $P_{вых} = P_m$ и равен 0 при $P_{вых} = P_a$.

Обозначения различных способов присоединения входных каналов показаны на рисунке 11.5. Камера реле, присоединенная к подпору, то есть к полости давления, $P_p < P_m$ обозначается штриховкой (рис. 11.6). На базе трехмембранного пневматического реле можно получить элементы, реализующие простейшие логические функции. Например, если (рис. 11.4) канал 2 присоединить к магистрали, канал 6 – к атмосфере, канал 4 – к подпору, канал 5 – к полости переменного давления (то есть к источнику переменного сигнала x), каналы 3 и 7 соединить в один общий выходной канал f , то получим логический элемент, реализующий логическую функцию НЕ (рис. 11.7).

Составим таблицу состояний этого элемента:

Вход x	Выход f
0	1
1	0

Действительно, если на входе x давление равно атмосферному ($x = 0$), то шток 1 (рис. 11.3) 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. 11.3). В результате на выходном канале давление будет равно P_m , то есть $f = 1$. При подаче давления P_m на вход 5 (рис. 11.4) создается равнодействующая сила на штоке 1, направленная вверх (за счет того, что $P_m > P_p$). В результате перекрывается канал 2, а канал 7 соединяется через канал 6 с атмосферой (рис. 11.7). В результате на выходе f установится атмосферное давление; при этом $f = 0$. Таким образом, элемент, изображенный на рисунке 11.7, реализует логическую функцию отрицания: $f = \bar{x}$.

На рисунках 11.6, 11.8, 11.9 показано условное изображение логических элементов, реализующих логические функции повторения: $f = x$ (рис. 11.6), умножения (рис. 11.8): $f = x_1 \cdot x_2$, сложения (рис. 11.9): $f = x_1 + x_2$.

Последовательным соединением простейших логических элементов, НЕ, И, ИЛИ можно реализовать более сложные логические функции. Например, на рисунке 11.10 показано устройство, реализующее функцию НЕ-И: $f = \overline{x_1 \cdot x_2}$. Оно состоит из последовательно соединенных логических элементов И и НЕ. На рисунке 11.11 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 рисунке 9.20. Схема мембранного реле памяти приведена на рисунке 11.12.

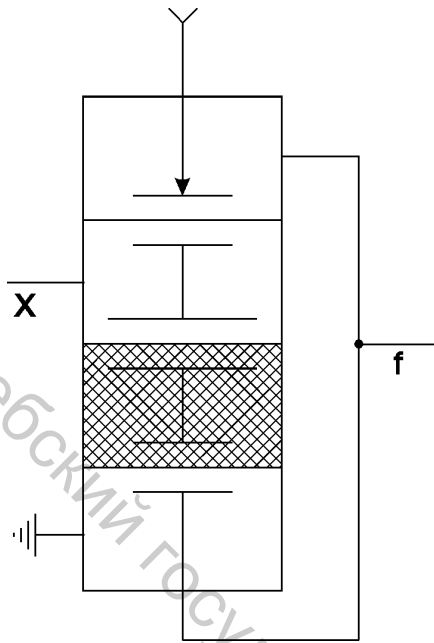


Рисунок 11.6 – Логический повторитель $f = X$

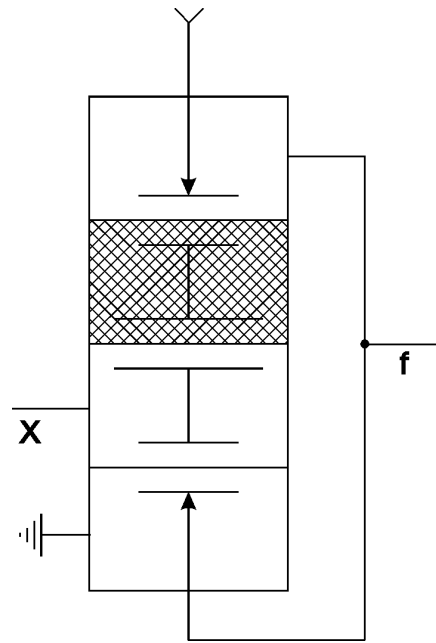


Рисунок 11.7 – Логический элемент «НЕ» $f = \bar{X}$

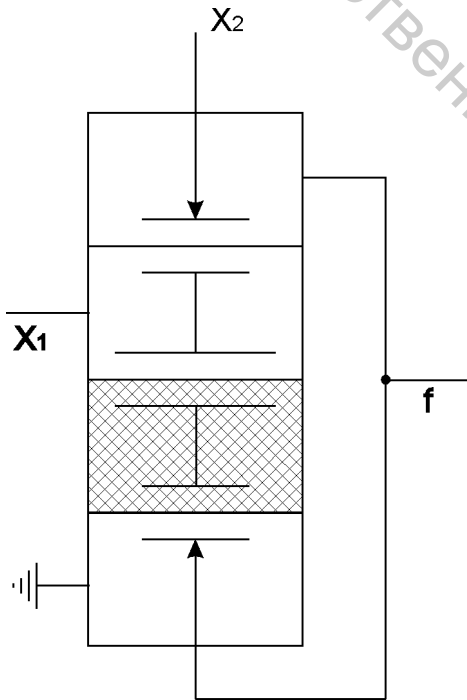


Рисунок 11.8 – Логический элемент «И» $f = X_1 * X_2$

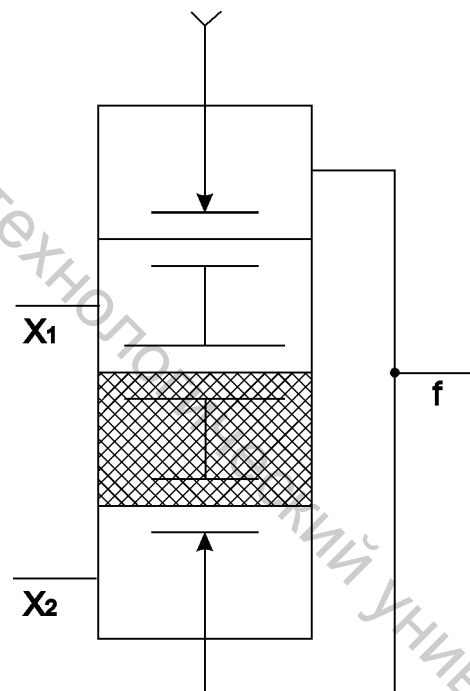


Рисунок 11.9 – Логический элемент «ИЛИ» $f = X_1 + X_2$

Мембранное реле времени может быть сформировано аналогично реле времени на поршневых элементах (рис. 9.27), если в последнем поршневой повторитель заменить мембранным. Схема мембранного реле времени приведена на рисунке 11.13.

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 (рис. 11.6). 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 $P_m = 0,2 \dots 0,6$ МПа).

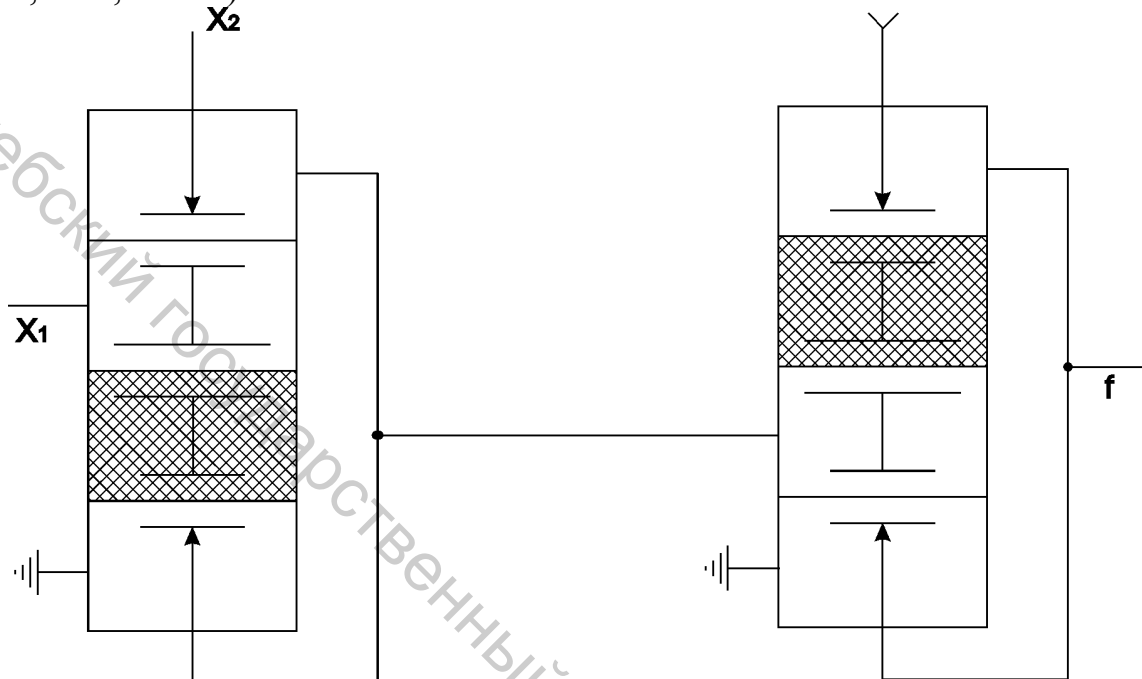


Рисунок 11.10 – Устройство для реализации функции «НЕ-И»;

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

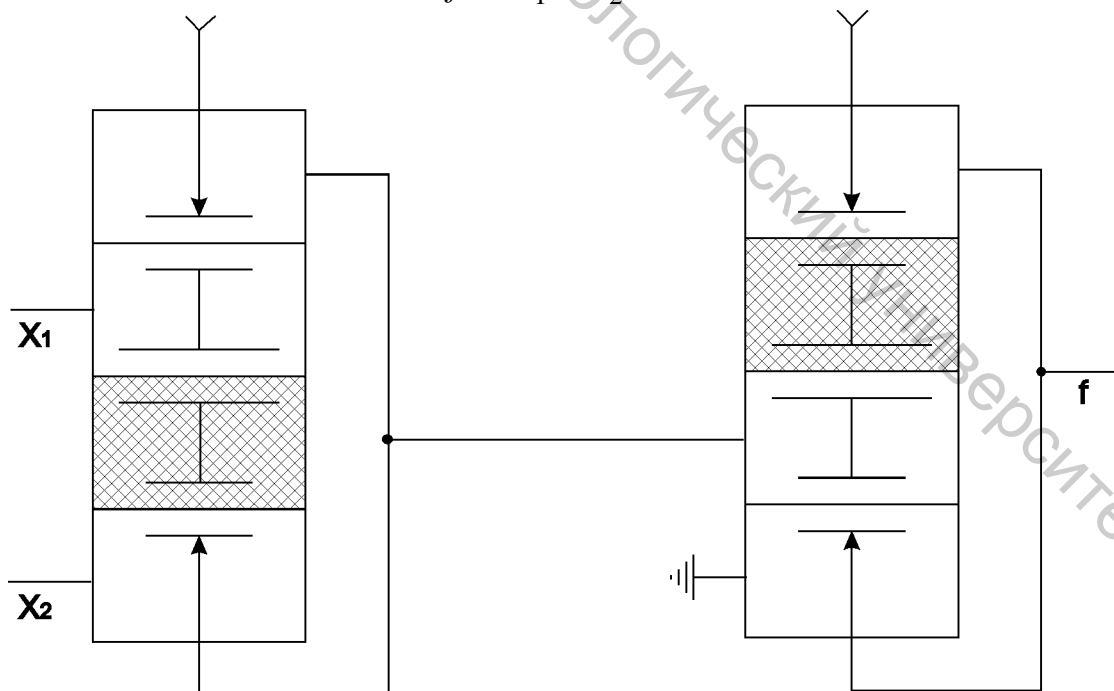


Рисунок 11.11 – Устройство для реализации функции

«НЕ-ИЛИ»; $f = \overline{X_1 + X_2}$

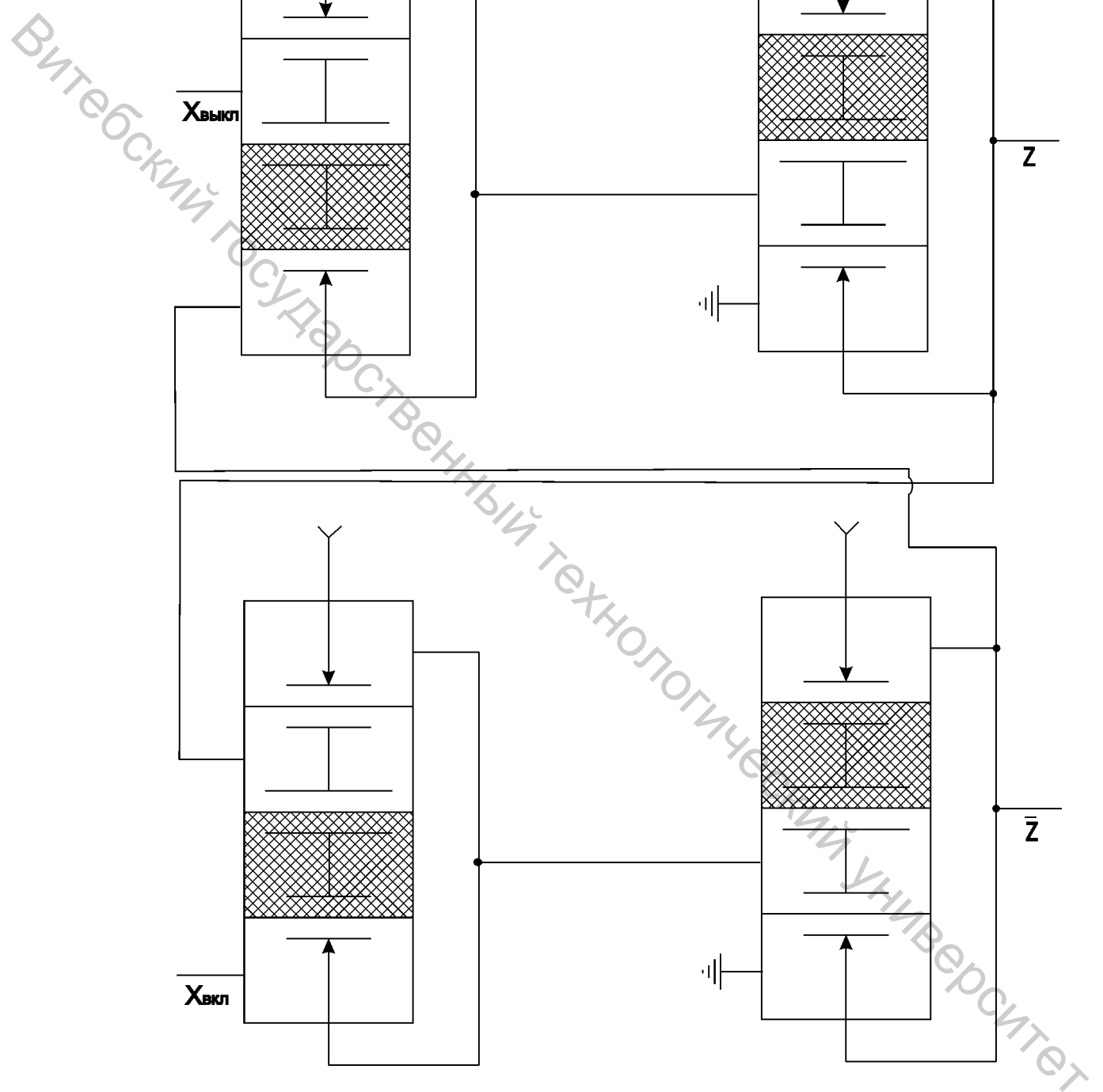


Рисунок 11.12 – Мембранное реле памяти

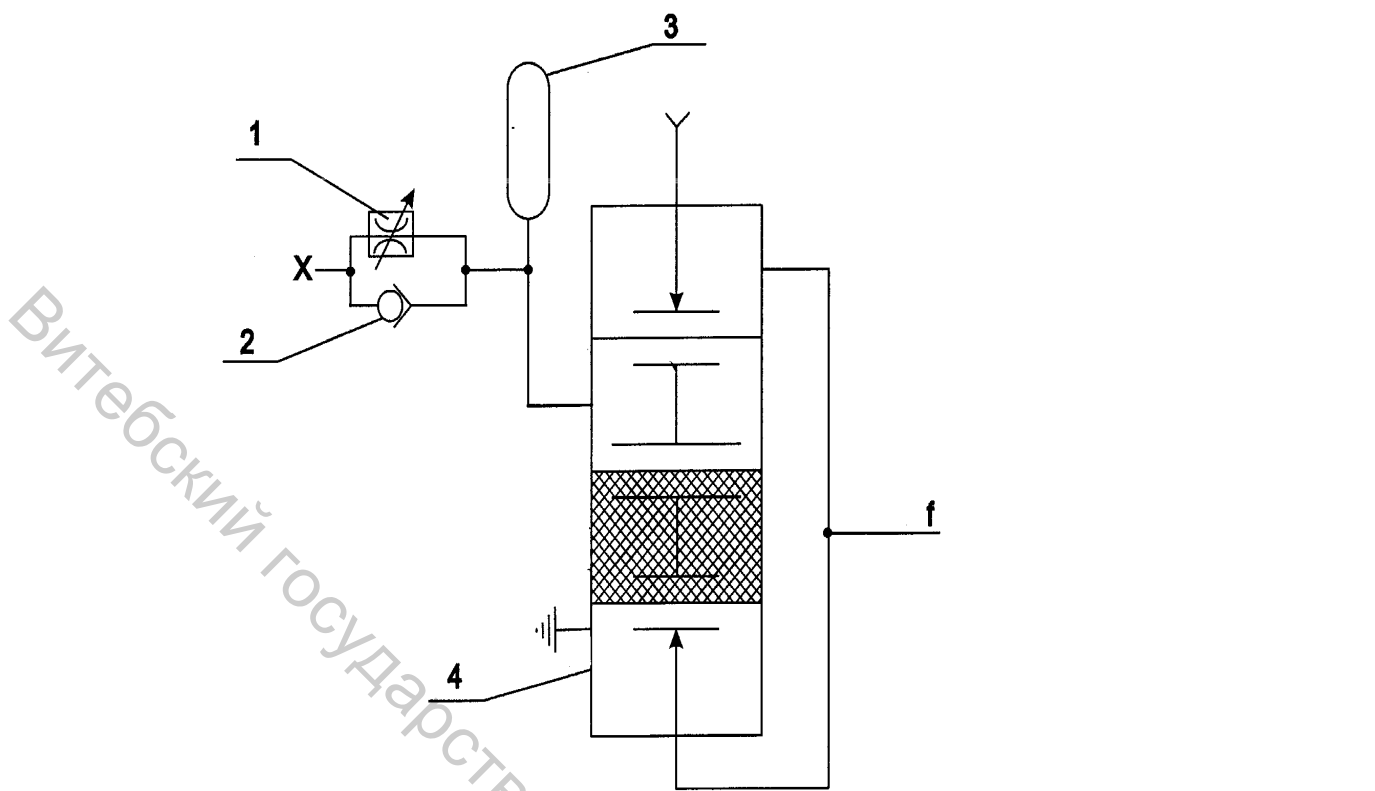


Рисунок 11.13 – Мембранное реле времени: 1 – регулируемый дроссель; 2 – обратный клапан; 3 – ресивер; 4 – мембранный повторитель.

На рисунке 11.14 приведена схема мембранного усилителя мощности на базе повторителя.

На рисунке 11.15 приведена принципиальная схема системы управления на мембранных элементах, реализующая логическую функциональную схему, приведенную на рисунке 10.6.

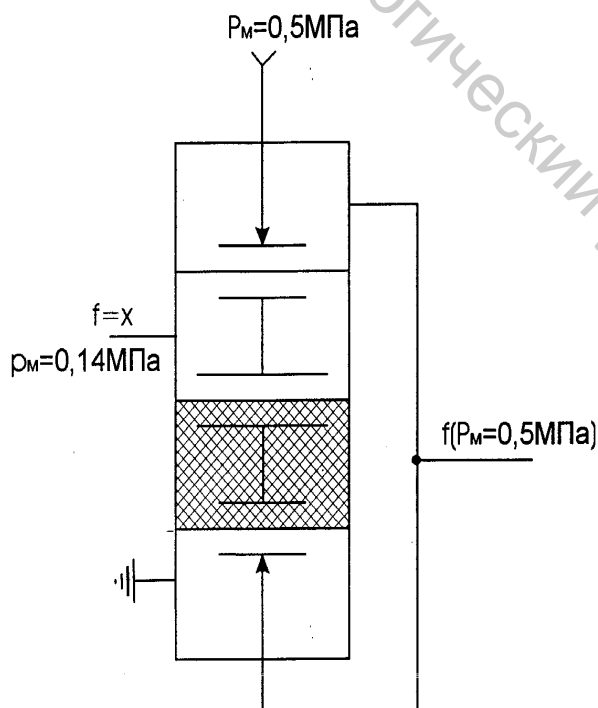


Рисунок 11.14 – Мембранный усилитель мощности

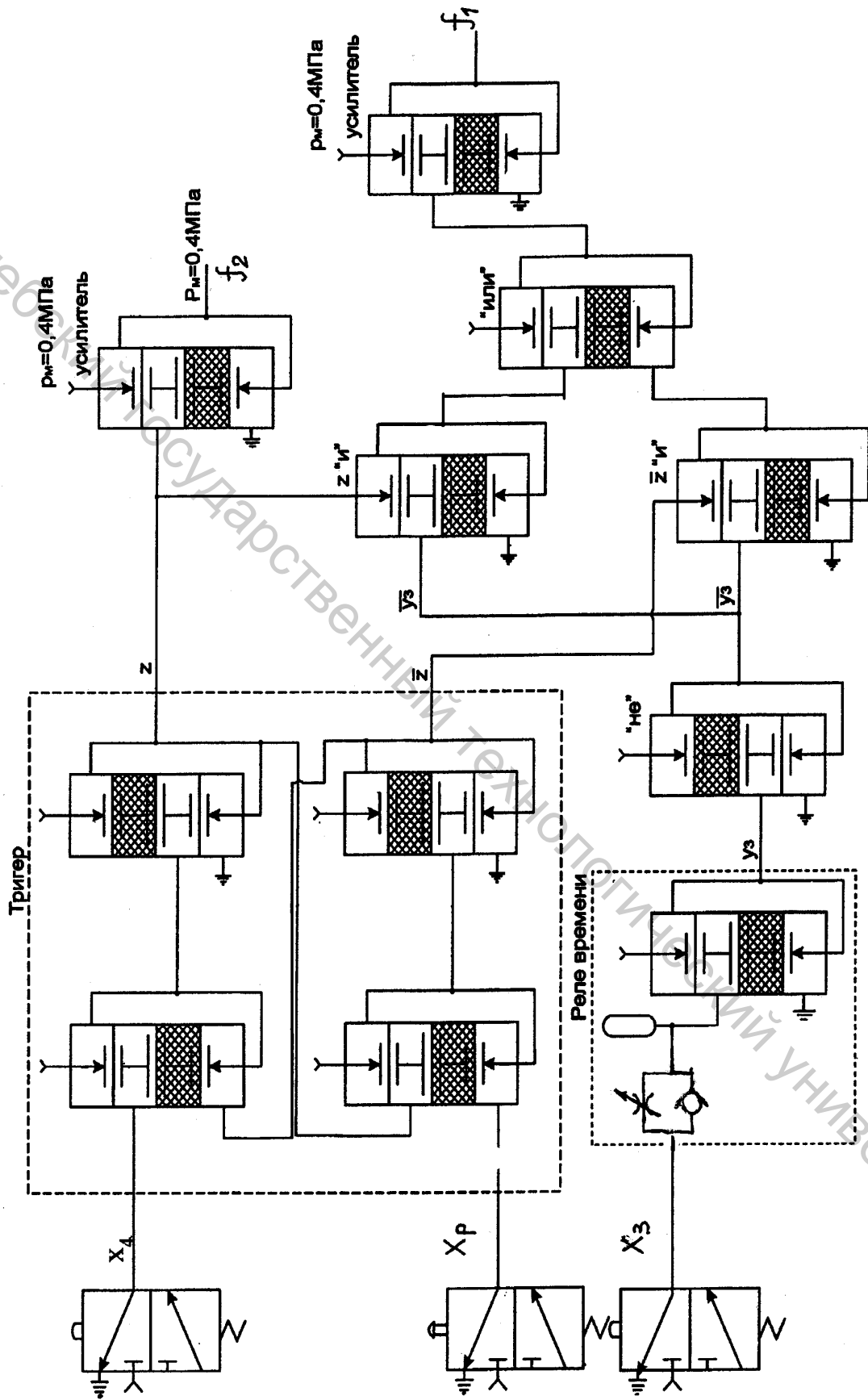


Рисунок П.15 – Принципиальная схема системы управления на мембранных элементах

11.2 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 $5^{\circ}\dots 50^{\circ}$ 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 рисунке 11.16 приведен пример конструктивного устройства путевого переключателя. Лепесток 4, переключающий 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 рисунке 11.17 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. 11.18), два выхода f_1, f_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 f_1 . При подаче управляющих сигналов (одного или двух вместе) питающая струя перебрасывается к противоположной стенке и направляется в выход f_2 . При снятии управляющих сигналов струя возвращается в исходное положение.

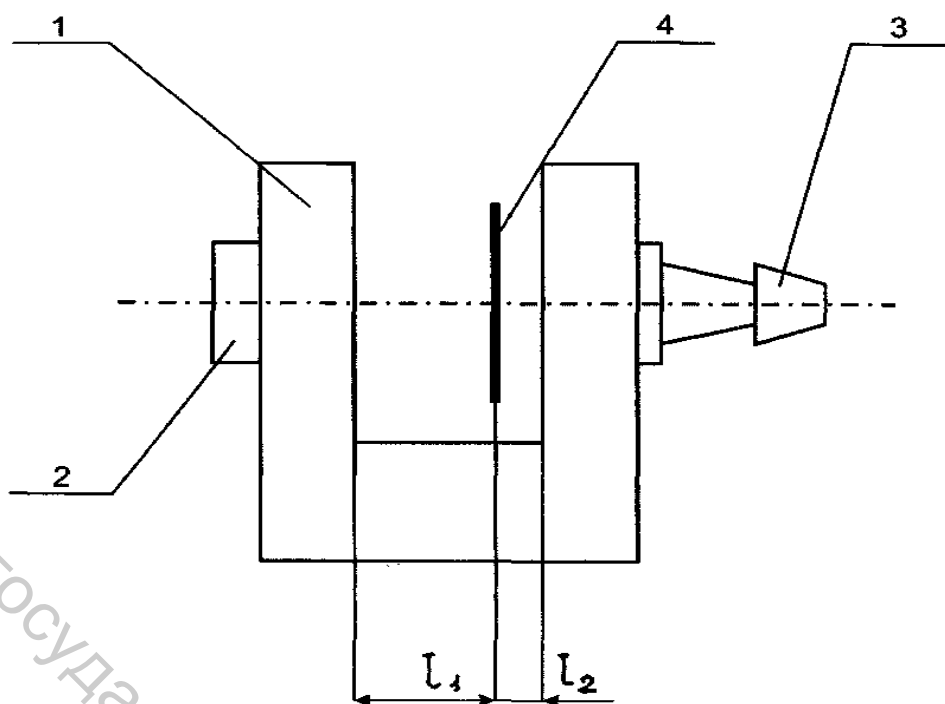


Рисунок 11.16 – Конструктивная схема структурного путевого переключателя: 1 – корпус; 2 – входной штуцер; 3 – выходной штуцер; 4 – лепесток

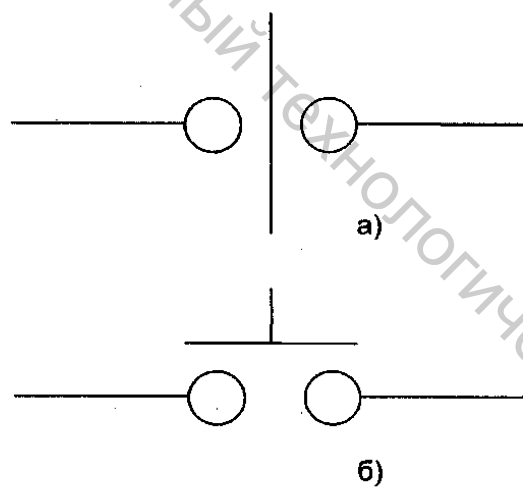


Рисунок 11.17 – Условное обозначение струйных путевых переключателей:

а) с автоматическим управлением; б) с ручным управлением

Таблица состояний элемента ИЛИ-НЕ-ИЛИ имеет вид:

x_1	x_2	f_1	f_2
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

Из таблицы следует, что на выходе f_2 реализуется логическая функция ИЛИ, а на выходе f_1 – НЕ ИЛИ. Логический элемент ИЛИ-НЕ ИЛИ типа СТ-41 (рис. 11.18) представляет собой функциональную плату, на которой в виде углублений выполнены рабочая камера с подводными 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 $0,75 \times 1,2$ мм. Материал платы и крышки – полистирол ударопрочный.

На рисунке 11.19 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».

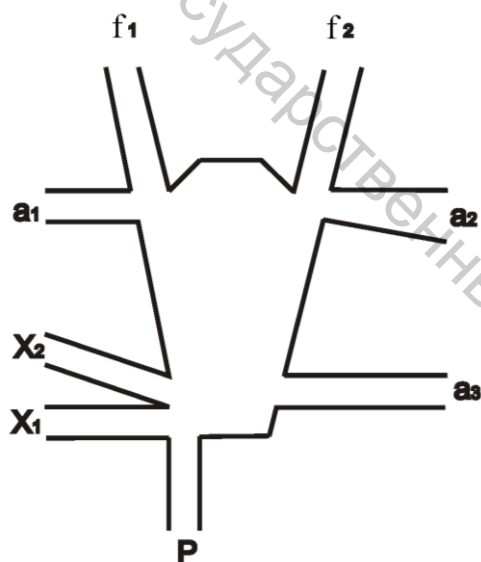


Рисунок 11.18

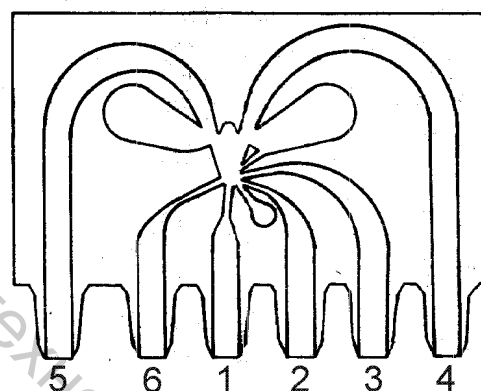


Рисунок 11.19 – Конфигурация рабочей камеры струйного элемента «ИЛИ-НЕ ИЛИ»

На рисунке 11.20 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 (рис. 11.20); элемент НЕ, если использовать один вход и выход \bar{f} ; элемент ИЛИ, если использовать оба входа и один выход f ; элемент НЕ ИЛИ, если использовать оба входа и один выход \bar{f} . Условные обозначения указанных элементов приведены на рисунках 11.21–11.24.

На рисунке 11.25 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 рисунке 11.26 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 (рис. 11.26) и элемент НЕ И, если использовать оба входа и один выход \bar{f} . Условные обозначения указанных элементов приведены на рисунках 11.27 и 11.28.

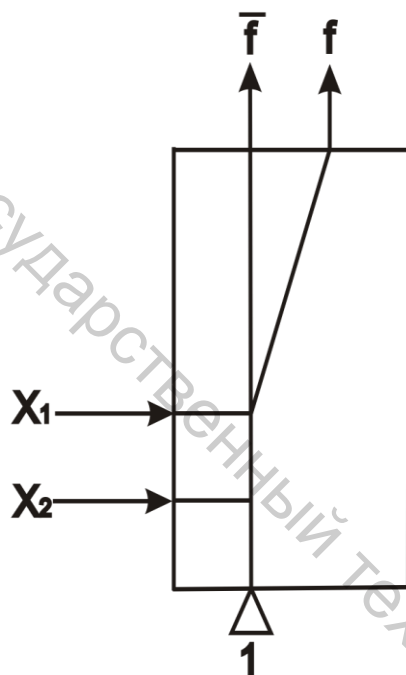


Рисунок 11.20 – Условное обозначение элемента «ИЛИ-НЕ ИЛИ»

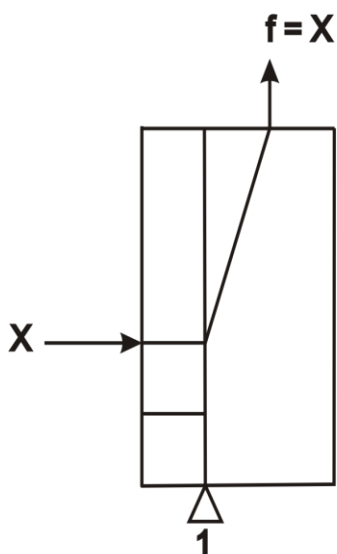


Рисунок 11.21 – Схема струйного повторителя на базе элемента «ИЛИ-НЕ ИЛИ»

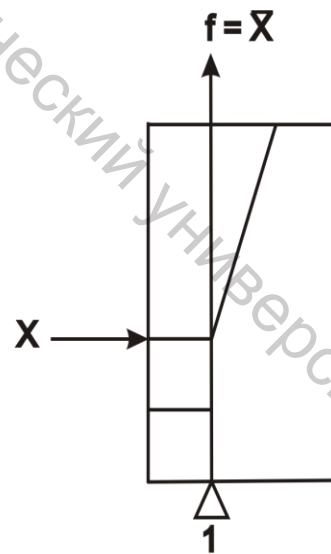


Рисунок 11.22 – Схема струйного элемента «НЕ И» на базе элемента «ИЛИ-НЕ ИЛИ»

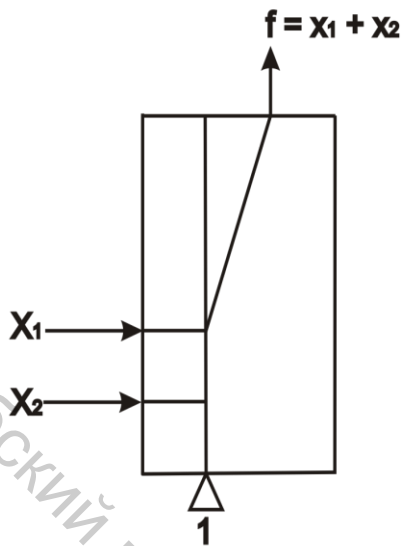


Рисунок 11.23 – Схема струйного элемента «ИЛИ» на базе элемента «ИЛИ-НЕ ИЛИ»

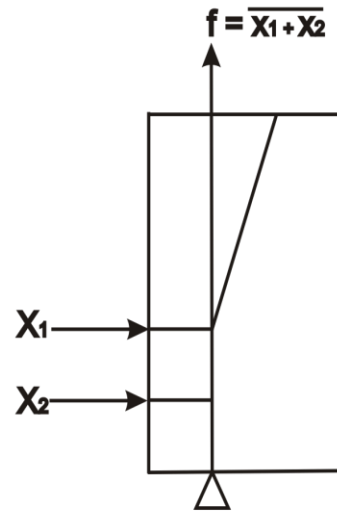


Рисунок 11.24 – Схема струйного элемента «НЕ ИЛИ» на базе элемента «ИЛИ-НЕ ИЛИ»

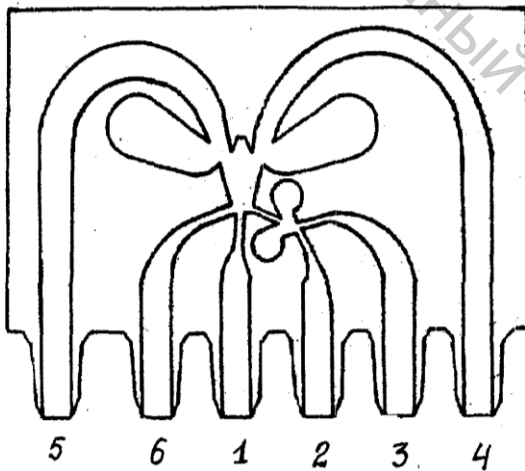


Рисунок 11.25 – Конфигурация рабочей камеры струйного элемента «И-НЕ И»

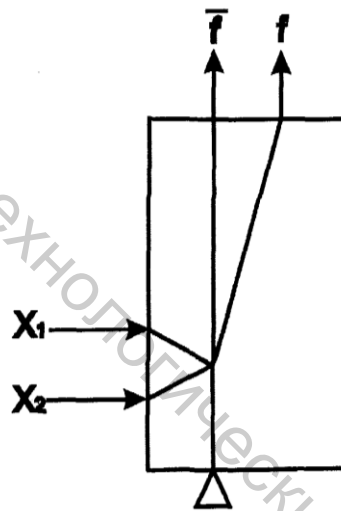


Рисунок 11.26 – Условное обозначение струйного элемента «И-НЕ И» $f = x_1 \cdot x_2$

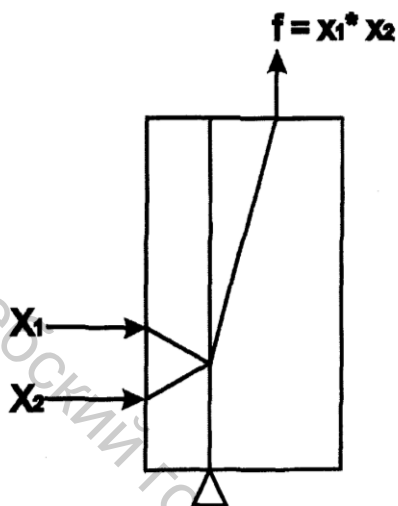


Рисунок 11.27 – Условное обозначение струйного элемента «И» на базе элемента «И-НЕ И»

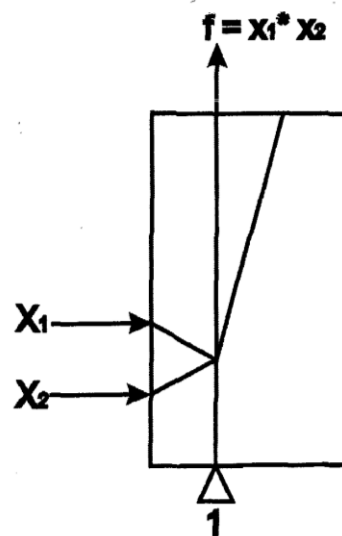


Рисунок 11.28 – Условное обозначение струйного элемента «И-НЕ» на базе элемента «И-НЕ И»

На рисунке 11.29 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 рисунке 11.30 показано условное изображение струйного триггера на принципиальных схемах. Принцип действия струйных реле времени аналогичен принципу действия реле времени на поршневых (рис. 9.27) и мембранных (рис. 11.13) элементах, то есть основан на заполнении воздухом емкости. Принципиальная схема струйного реле времени приведена на рисунке 11.31. Условимся изображать струйное реле времени на принципиальных схемах согласно рисунку 11.32. Для усиления мощности выходных сигналов в струйных системах используются мембранные усилители (рис. 11.14). Условимся изображать такой усилитель на принципиальных схемах струйных систем согласно рисунку 11.33. С учетом приведенных условных изображений на рисунке 11.34 приведена принципиальная схема пневматической системы управления на струйных элементах, реализующая логическую функциональную схему, приведенную на рисунке 10.6.

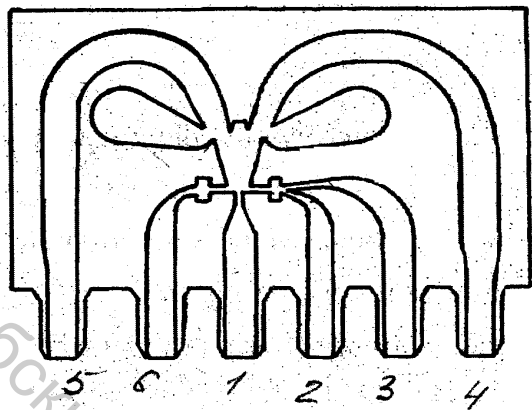


Рисунок 11.29 – Конструкция рабочей камеры струйного триггера с отдельными входами

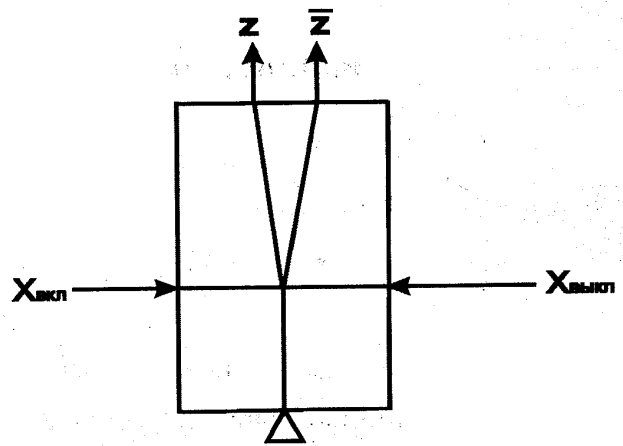


Рисунок 11.30 – Условное обозначение струйного триггера на принципиальных схемах

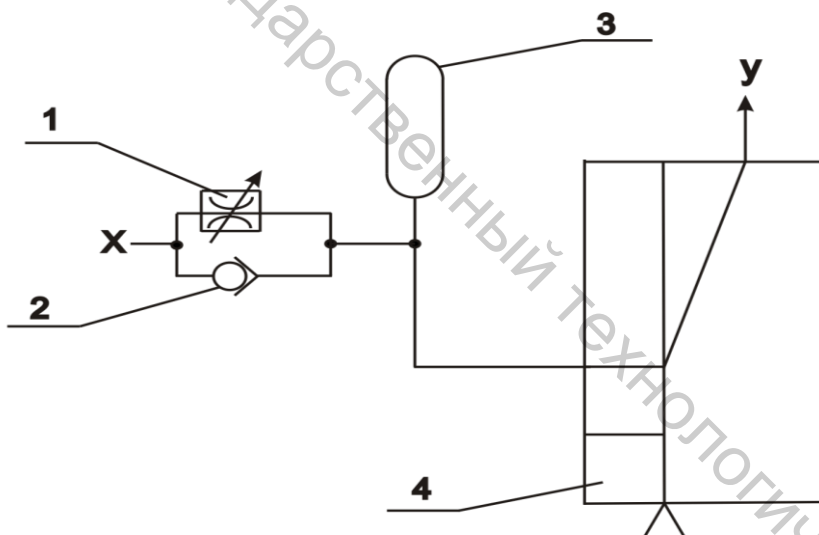


Рисунок 11.31 – Принципиальная схема струйного реле времени: 1 – регулирующий дроссель; 2 – обратный клапан; 3 – емкость; 4 – струйный повторитель

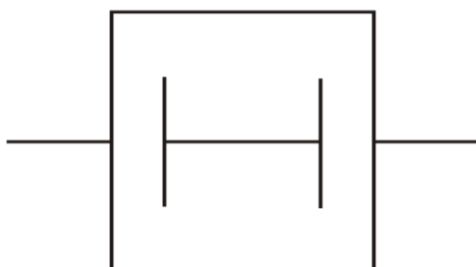


Рисунок 11.32 – Условное обозначение струйного реле времени на принципиальных схемах

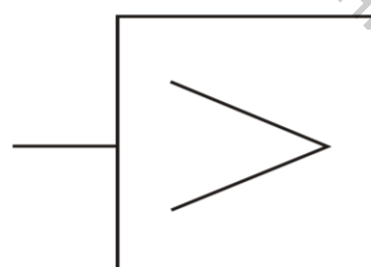


Рисунок 11.33 – Условное обозначение струйного усилителя на принципиальных схемах

12 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

12.1 Системы путевого управления на электрических элементах

К электрическим элементам систем путевого управления отнесем контактные устройства и электромагнитные реле [17].

В качестве коммутирующих устройств служат контактные устройства. Их условные обозначения на принципиальных электрических схемах регламентируются ГОСТ 2.755–74. Схемы контактных соединений показаны на рисунке 12.1.

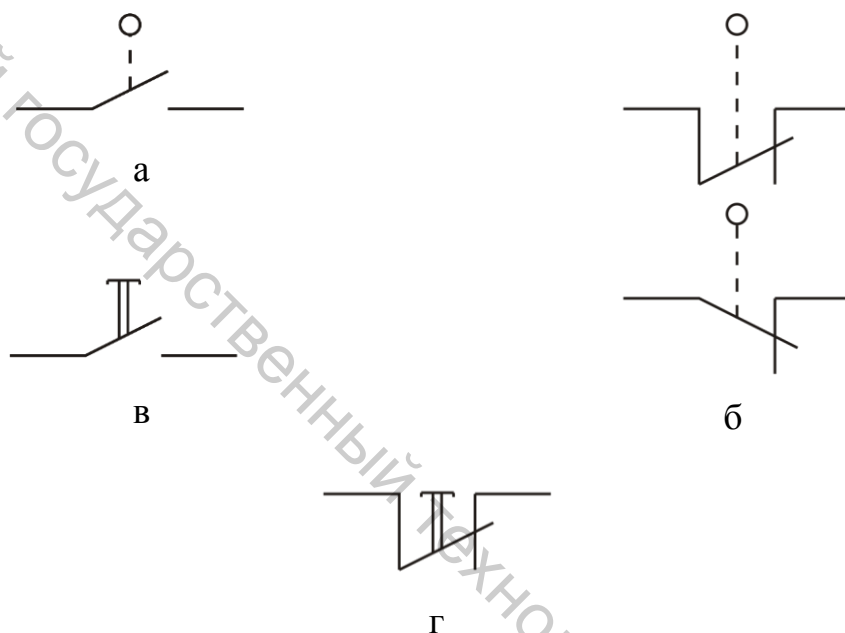


Рисунок 12.1 – Схемы контактных соединений: а – выключатель путевого однополюсный с замыкающим контактом, с автоматическим управлением; б – выключатель путевого однополюсный с размыкающим контактом, с автоматическим управлением; в – выключатель кнопочный нажимной с замыкающим контактом, с ручным управлением; г – выключатель кнопочный нажимной с размыкающим контактом, с ручным управлением

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 рисунке 12.2 приведены условные изображения контактов реле.

На рисунке 12.3 приведена схема электромагнитного реле. На рисунке 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 рисунке 12.4. Магнитоуправляемые контакты 3 и 5 помещены в стеклянный баллон 4, из которого выкачан воздух. Время срабатывания герконов составляет 10^{-3} с, а срок службы достигает 10^8 – 10^{12} циклов.

На рисунке 12.2 в показано условное обозначение герметичных контактов электромагнитных реле.



Рисунок 12.2 – Обозначение контактов реле:
а – замыкающий; б – размыкающий; в – герметичный (геркон)

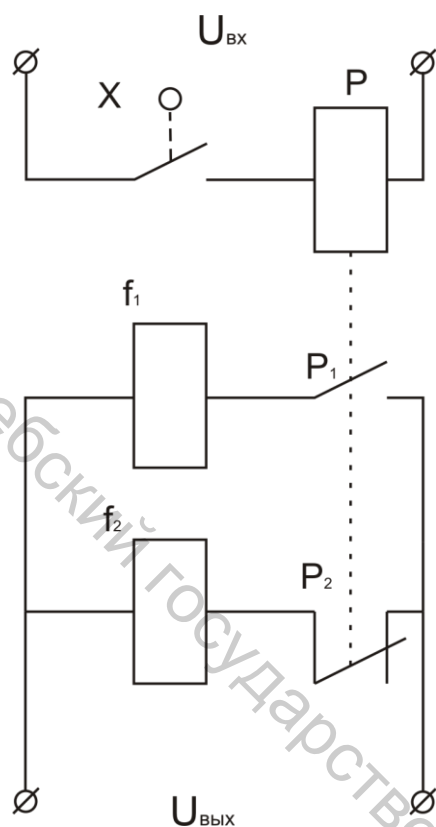


Рисунок 12.3 – Схема электромагнитного реле

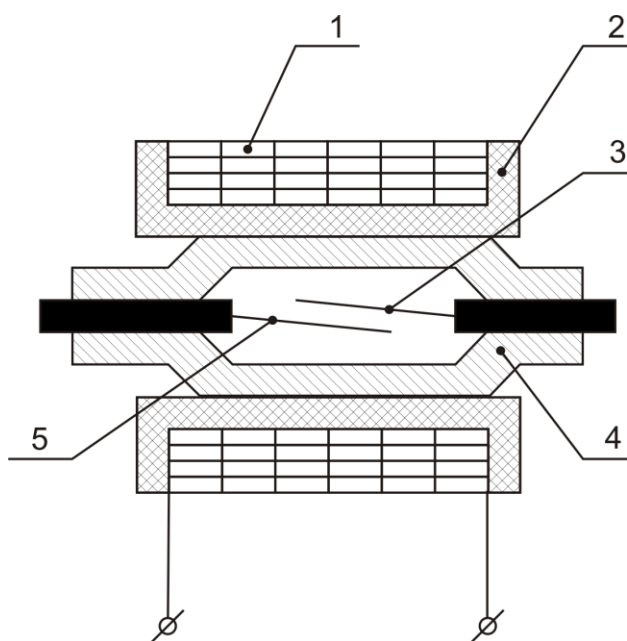


Рисунок 12.4 – Конструктивная схема реле с герметичными контактами:
 1 – катушка электромагнита;
 2 – корпус; 3, 5 – магнитоуправляемые контакты;
 4 – стеклянный баллон

На рисунке 12.5 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 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 (рис. 12.5) в выходной цепи установить размыкающий контакт P_1 (рис. 12.6), то получим устройство, реализующее логическую функцию $f = \bar{x}$.

Если во входной цепи электромагнитных реле установить параллельно два путевых переключателя x_1, x_2 , а в выходной цепи – замыкающий контакт P_1 (рис. 12.7), 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. 12.8).

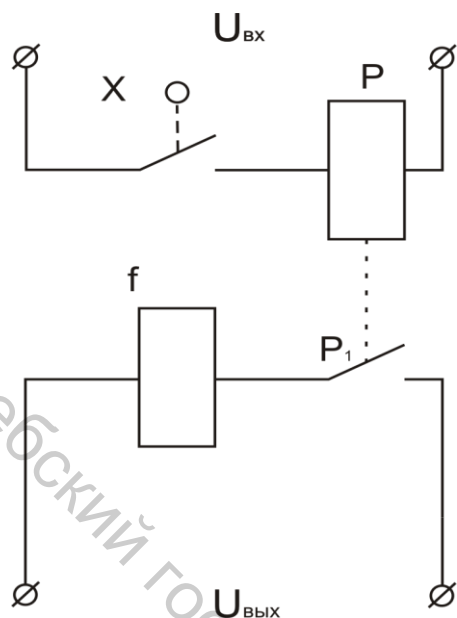


Рисунок 12.5 – Схема повторителя на базе электромагнитного реле, $f = x$

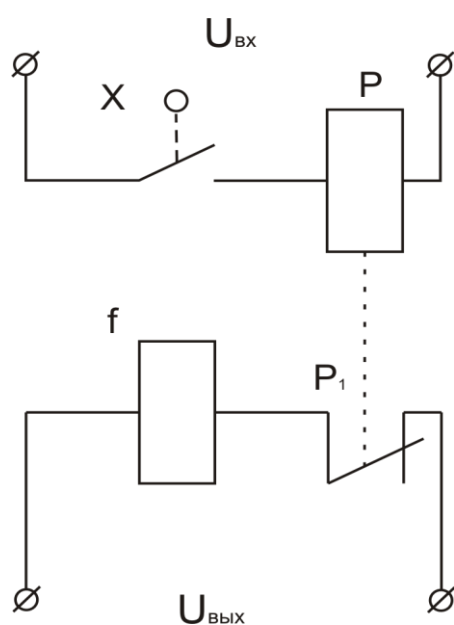


Рисунок 12.6 – Схема логического элемента «НЕ» на базе электромагнитных элементов

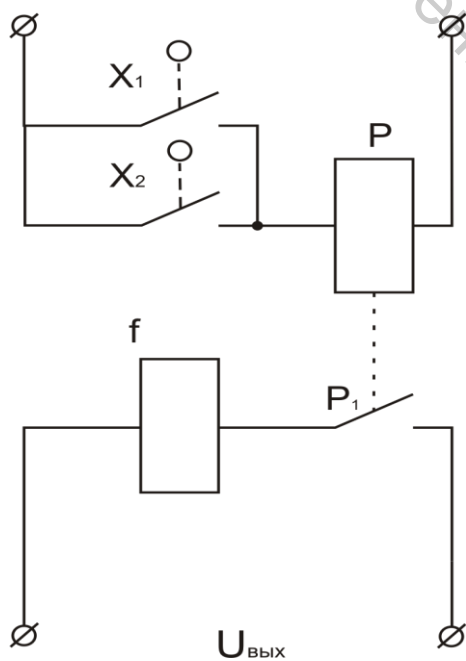


Рисунок 12.7 – Схема логического элемента «ИЛИ» на базе электромагнитного реле

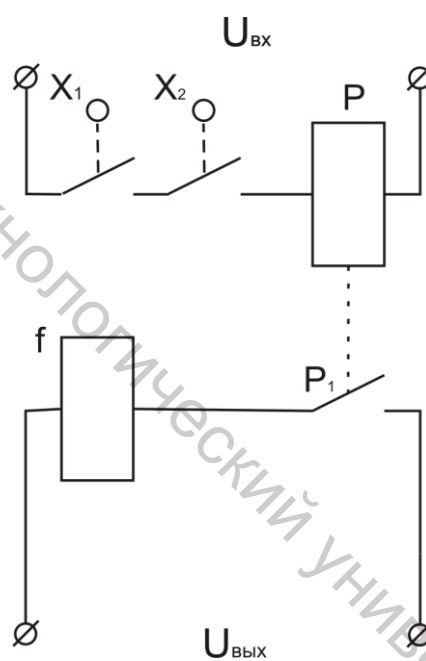


Рисунок 12.8 – Схема элемента «И» на базе электромагнитного реле

На рисунках 12.9, 12.10 приведены схемы логических элементов «НЕ ИЛИ» и «НЕ И» на базе электромагнитного реле. Они получены из элементов «ИЛИ» (рис. 12.7) и «И» (рис. 12.8), если в последних замыкающие контакты реле P_1 заменить на размыкающие.

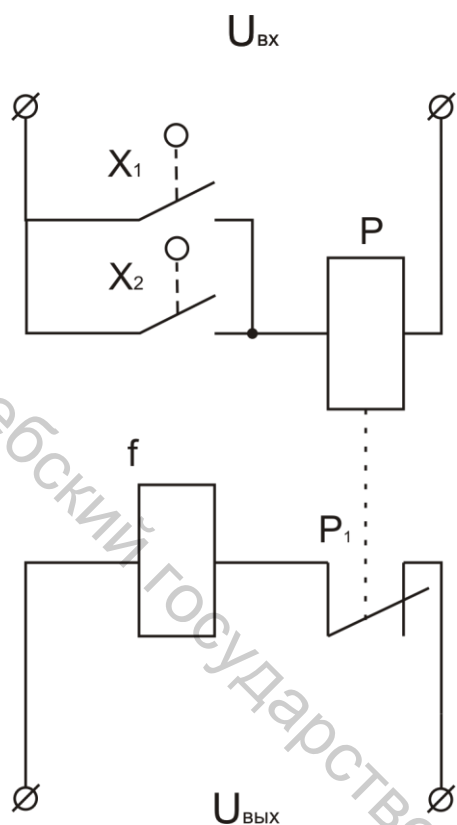


Рисунок 12.9 – Схема логического элемента «НЕ ИЛИ» на базе электромагнитного реле

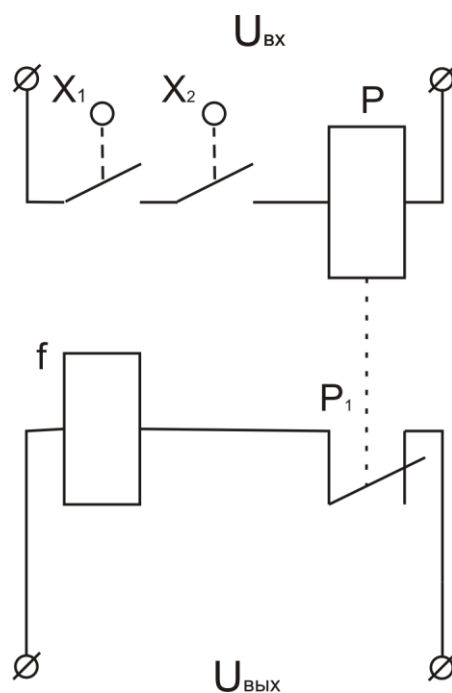


Рисунок 12.10 – Схема логического элемента «НЕ И» на базе электромагнитного реле

На рисунке 12.11 показана схема элемента памяти (триггера), полученного из двух элементов «НЕ ИЛИ» в соответствии с логической схемой, приведенной на рисунке 9.20. 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 рисунке 12.12. Из схемы видно, что это реле выполняет практически те же функции, что и реле, показанное на рисунке 12.11.

Электромагнитное реле, у которого время срабатывания или отпускания больше одной секунды, 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.

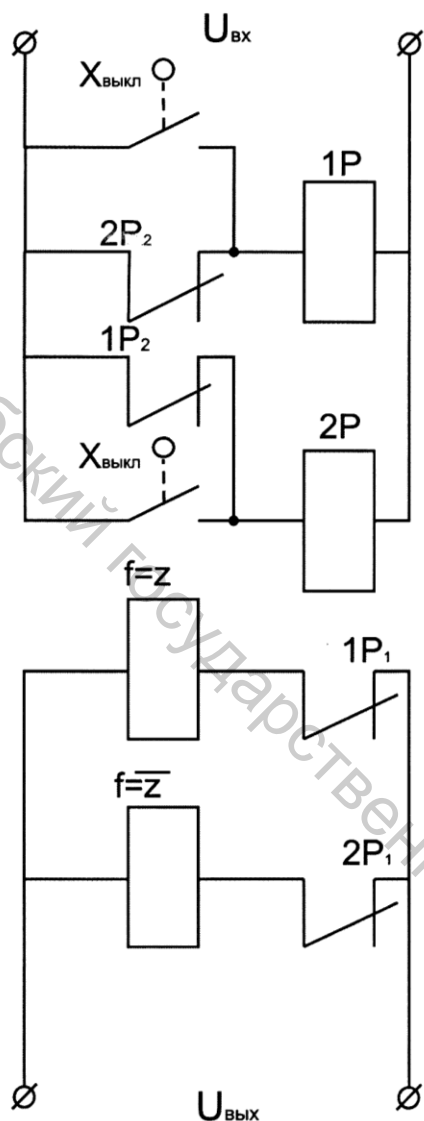


Рисунок 12.11 – Схема триггера на базе двух электромагнитных реле

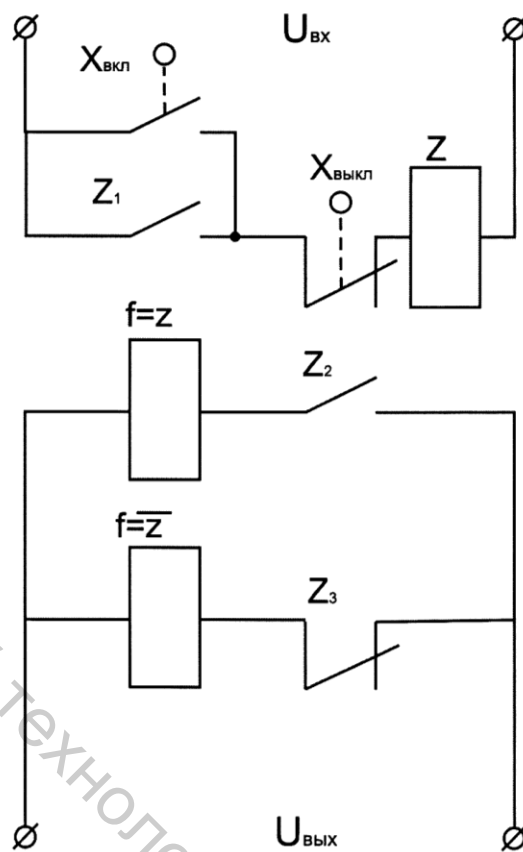


Рисунок 12.12 – Схема триггера на базе одного электромагнитного реле

На рисунке 12.13 показаны условные изображения контактов реле времени.

На рисунке 12.14 показана принципиальная схема системы управления на электрических элементах, реализующая логическую схему, приведенную на рисунке 10.6.

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 РВ₁ и РВ₂ реле времени РВ и контактов z_3, z_4 реле памяти z таким образом, что реализуется логическая функция $f_2 = \bar{z} \cdot \bar{y}_3 + z \cdot \bar{y}_3$.

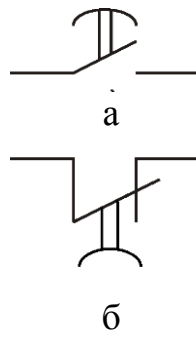


Рисунок 12.13 – Условное изображение контактов реле времени:
 а – замыкающий контакт с выдержкой времени на замыкание;
 б – размыкающий контакт с выдержкой времени на отпускание

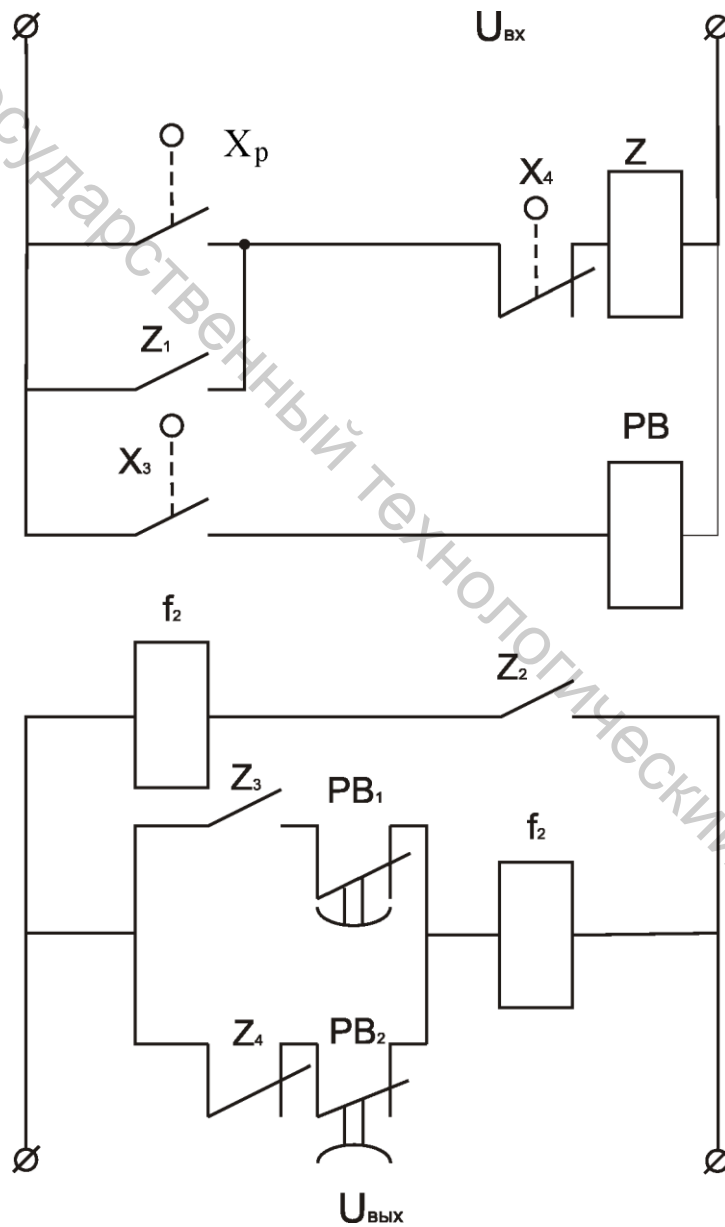


Рисунок 12.14 – Схема электрической системы путевого управления, реализующей логическую схему, приведенную на рисунке 10.6

12.2 Системы путевого управления на электронных элементах

К электронным элементам систем управления отнесем бесконтактные коммутирующие устройства и полупроводниковые приборы [18].

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 рисунке 12.15. 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 рисунке 12.16.

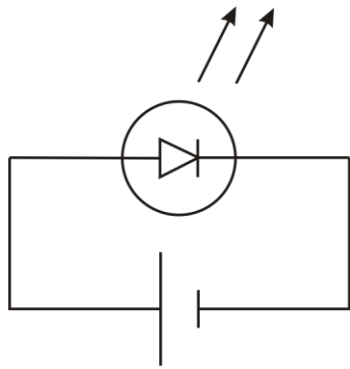


Рисунок 12.15 – Условное изображение светодиода

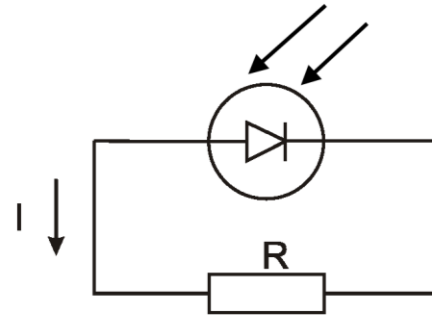


Рисунок 12.16 – Схема фотодиода, работающего в режиме фотогенератора

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 светового потока. Схема прибора с фотодиодом, работающим в режиме ключа, приведена на рисунке 12.17.

Логические элементы выполняются на базе полупроводниковых диодов и транзисторов.

Диод – двухэлектродный элемент, обладающий односторонней проводимостью. В полупроводниковых диодах односторонняя проводимость обуславливается применением полупроводниковой структуры, сочетающей в себе два слоя, один из которых обладает дырочной (p), а другой – электронной (n) электропроводностью. Условное изображение диода приведено на рисунке 12.18.

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 заряда в базу, коллектор производит сбор носителей заряда, прошедших через базу.

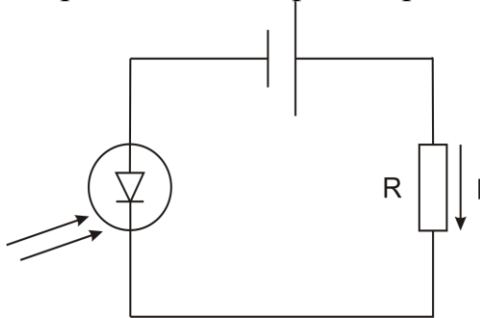


Рисунок 12.17 – Схема фотодиода, работающего в режиме ключа

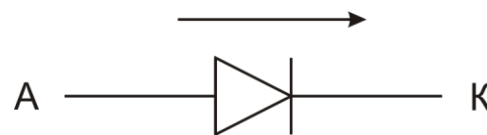


Рисунок 12.18 – Условное изображение диода: А – анод; К – катод

На рисунке 12.19 показано условное обозначение транзистора с $p-n-p$ переходом, включенного с общим эмиттером. Эмиттер присоединен к общей шине (-), а на вход u_6 подается постоянное напряжение E . Транзистор может работать в режиме ключа и усилителя. При $u_6 = 0$ транзистор закрыт, при этом токи базы, коллектора и эмиттера практически равны 0: $I_6 = I_k = I_3 = 0$. При подаче напряжения u_6 на вход базы транзистор открыт, при этом $I_3 = I_6 + I_k$; $I_k/I_6 = \beta$, $\beta = 9 \dots 99$. Ток базы многократно усиливается и ток коллектора $I_k = \beta I_6$.

Элемент, реализующий функцию отрицания НЕ, образуется из транзистора (рис. 12.20). Если на входе базы x отсутствует напряжение, то $x = 0$, транзистор закрыт и на выходе f имеется потенциал $u_k = E$, то есть $f = 1$. 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: $f = 0$.

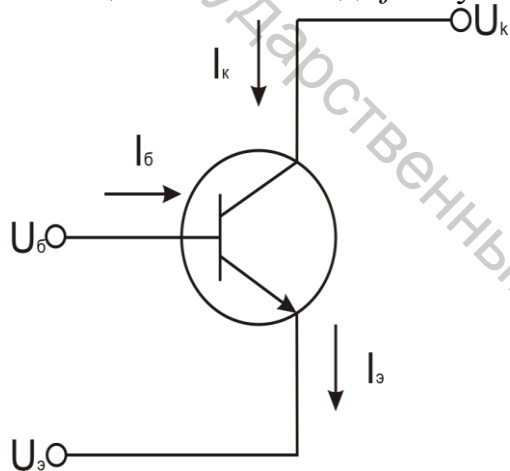


Рисунок 12.19 – Схема транзистора, включенного с общим эмиттером

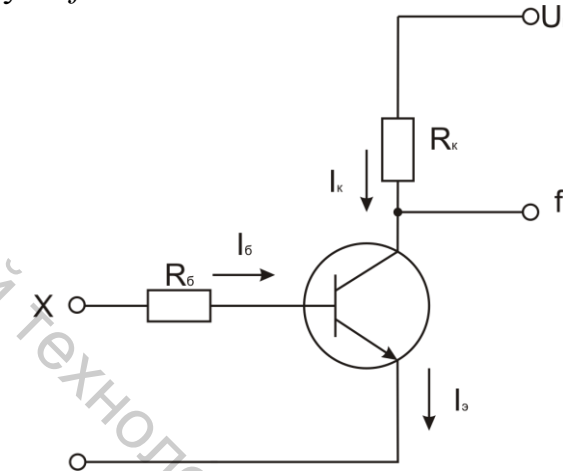


Рисунок 12.20 – Схема элемента НЕ на базе транзистора

На рисунке 12.21 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 рисунке 12.22 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.

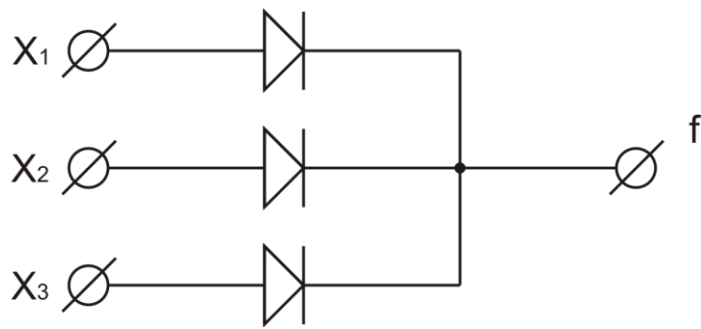


Рисунок 12.21 – Схема элемента ИЛИ на три входа на базе диодов

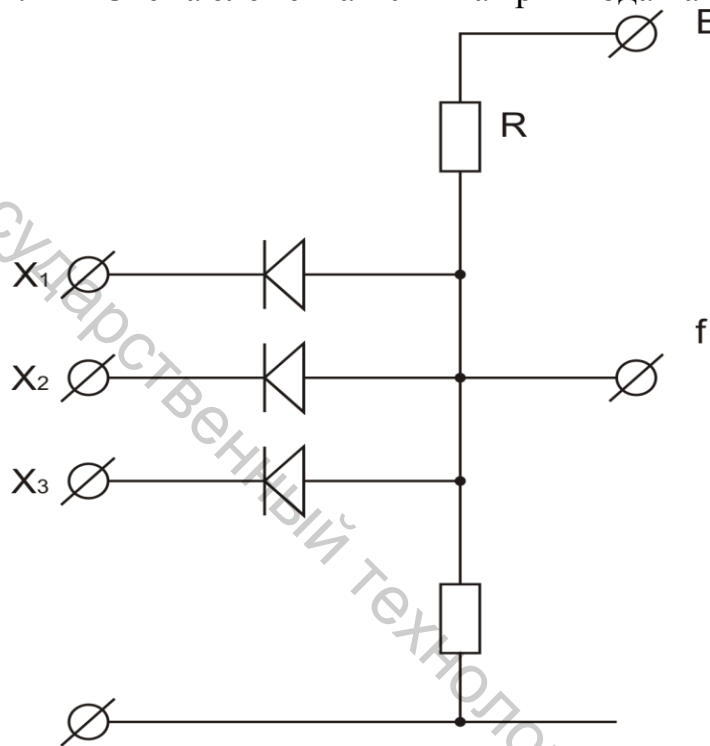


Рисунок 12.22 – Схема элемента И на три входа на базе диодов

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: $f = 1$.

Если последовательно соединить элементы ИЛИ и И с элементом НЕ, то получим соответственно элементы НЕ ИЛИ (рис. 12.23) и НЕ И (рис. 12.24) 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 рисунке 9.20.

Схема такого триггера приведена на рисунке 12.25. Вход $x_{\text{вкл}}$ служит для установки триггера в состояние 1 на выходе z , вход $x_{\text{выкл}}$ служит для сброса сигнала 1 на выходе z и установки на нем нуля. Выход \bar{z} является инверсией выхода z .

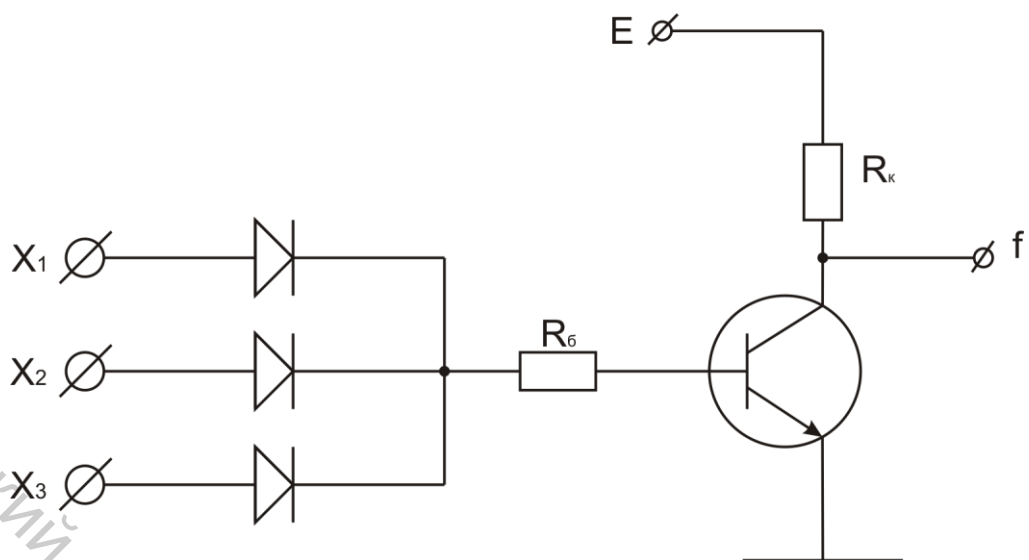


Рисунок 12.23 – Схема элемента «НЕ ИЛИ» на базе диодов и транзистора

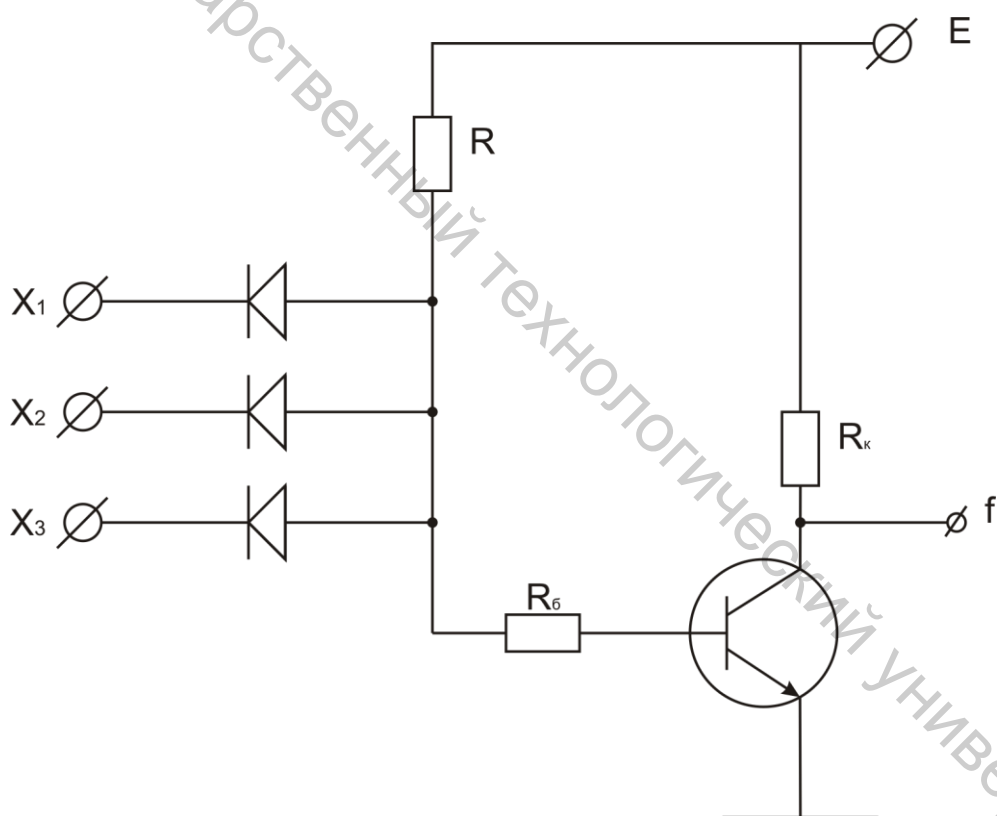


Рисунок 12.24 – Схема элемента «НЕ И» на базе диодов и транзистора

Витебский государственный технологический университет

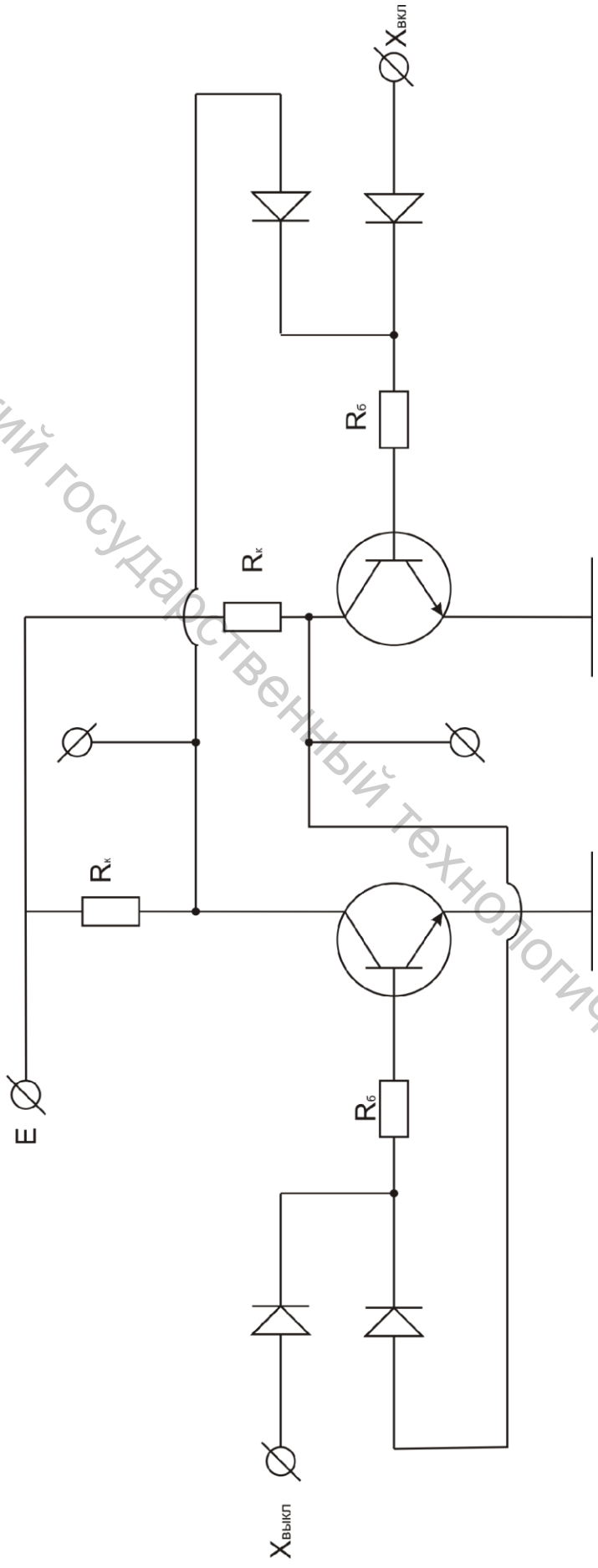


Рисунок 12.25 – Схема триггера на базе диодов и транзисторов

Существует несколько вариантов исполнения реле времени на базе полупроводниковых приборов. Один из этих вариантов приведен на рисунке 12.26. В схему реле входит стабилитрон C_T , 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 C 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 C , которая при необходимости регулирования времени задержки может быть регулируемой.

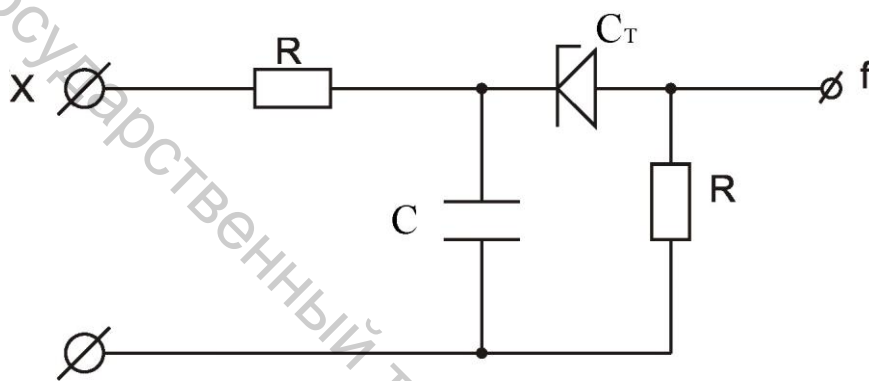


Рисунок 12.26 – Схема реле времени на базе стабилитрона и емкости

На рисунке 12.27 показана схема системы путевого управления, реализующая алгоритм управления согласно логической схеме, приведенной на рисунке 10.6.

Входные сигналы x_p , x_3 , x_4 коммутируются одноименными диодами, включенными в схему в режиме ключей. Один из выводов диодов подключается к источнику постоянного потенциала E , другие соответственно: x_p – 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

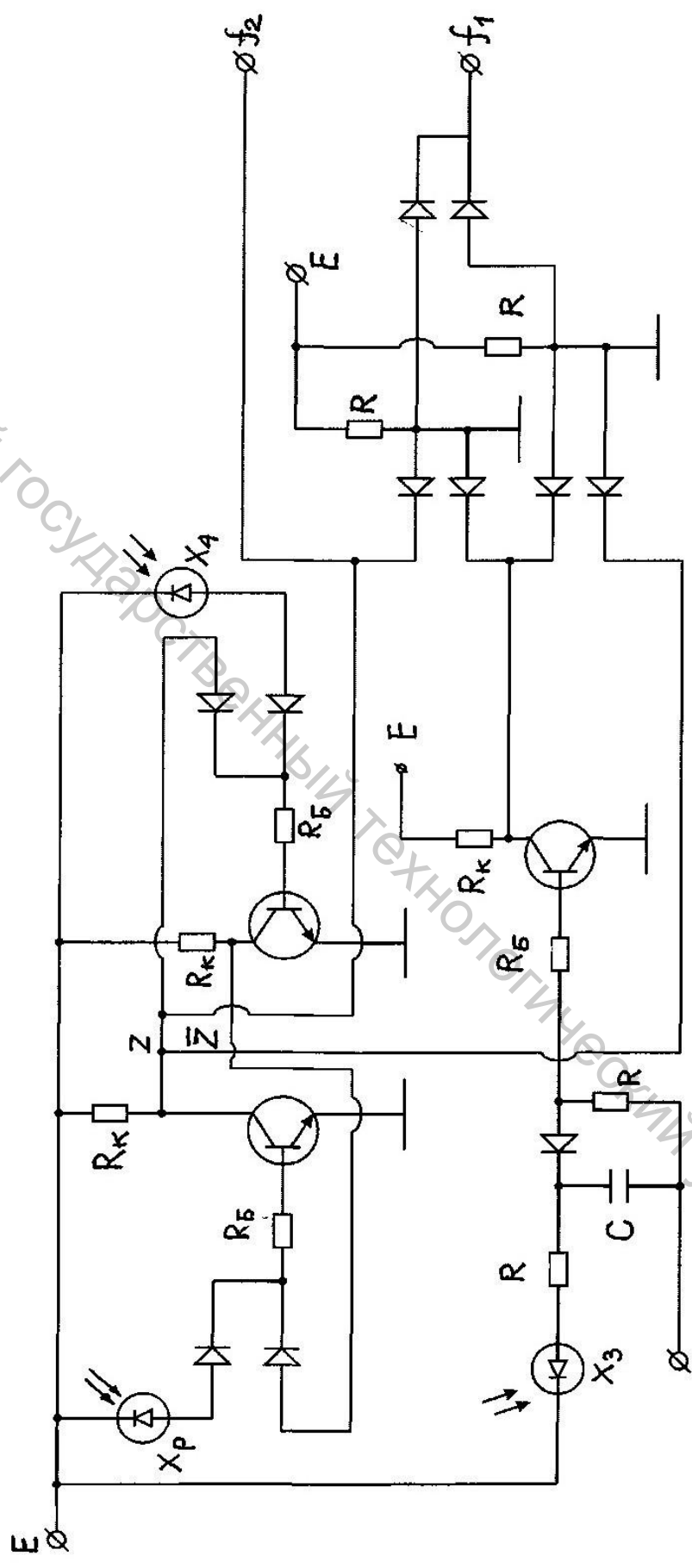


Рисунок 12.27 – Схема системы путевого управления на электронных элементах

13 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Появление систем числового программного управления (ЧПУ) связано с созданием шаговых электродвигателей. Шаговый электродвигатель синхронно обрабатывает 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.

13.1 Классификация систем ЧПУ

Системы ЧПУ можно классифицировать по различным признакам [19]. 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 подачи. Этими системами оснащаются швейные полуавтоматы для шитья по контуру, вышивальные полуавтоматы, токарные и фрезерные станки, контурные промышленные роботы.

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 программносителей и способу обработки информации различают СЧПУ типа:

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

В СЧПУ типа *NC* в качестве программносителя 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 обрабатываться 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).

13.2 Структура систем ЧПУ

В системе ЧПУ можно выделить подсистемы, выполняющие определенные функции. Эти подсистемы представлены в виде блок-схемы структуры системы ЧПУ на рисунке 13.1.

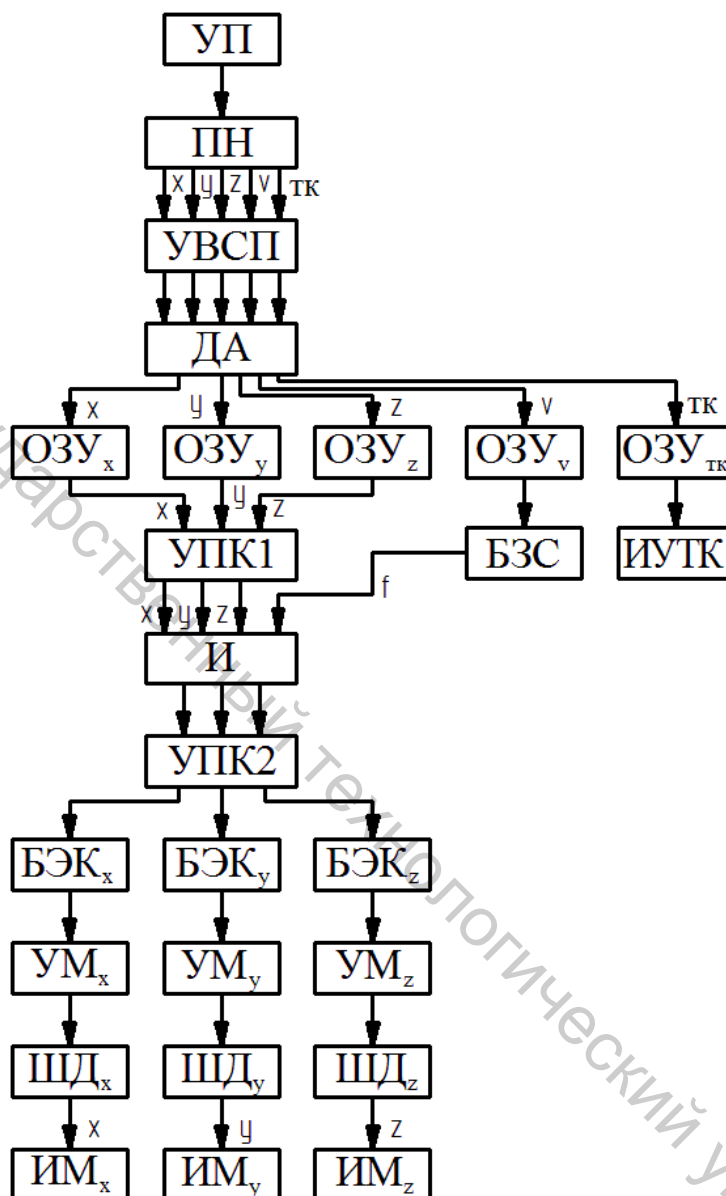


Рисунок 13.1 – Блок-схема структуры системы ЧПУ

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

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 программносителя. 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 , Y , Z , скоростью перемещения V и технологическими командами ТК.

С дешифратора адресов электрические импульсы направляются в регистры оперативных запоминающих устройств каналов $OЗУ_X$, $OЗУ_Y$, $OЗУ_Z$, $OЗУ_V$, $OЗУ_{TK}$. В регистрах каналов $OЗУ_X$, $OЗУ_Y$, $OЗУ_Z$ записываются коды числовой информации перемещений по координатам X , Y , Z . В регистрах канала $OЗУ_V$ записываются коды контурной скорости перемещений рабочего органа. В регистрах $OЗУ_{TK}$ записываются коды (0,1) технологических команд, управляющих приводом, инструментами и т. п. В последующем эти коды обрабатываются 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 программносителя (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 , Y , Z . Устройство преобразования кода УПК 2 преобразует двоичный код в десятичный, то есть в заданное число импульсов. Блоки электронного коммутатора $БЭК_X$, $БЭК_Y$, $БЭК_Z$ распределяют импульсы, поступающие с УПК 2 в сигналы возбуждения обмоток шаговых электродвигателей $ШД_X$, $ШД_Y$, $ШД_Z$. Предварительно эти сигналы возбуждения усиливаются с помощью усилителей мощности $УМ_X$, $УМ_Y$, $УМ_Z$. Шаговые электродвигатели ($ШД_X$, $ШД_Y$, $ШД_Z$) преобразуют сигналы возбуждения обмоток статора в угловые перемещения роторов в соответствии с управляющей программой. Исполнительные механизмы ($ИМ_X$, $ИМ_Y$, $ИМ_Z$) преобразуют вращение ротора в заданные движения рабочего органа по координатам X , Y , Z .

14 УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

14.1 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 вырубki деталей обуви из листовых материалов.

Раскрой материала на детали низа обуви производится в соответствии с раскладкой (рис. 14.1). Раскладка представляет собой лист бумаги с такими же габаритными размерами, как и лист материала, на котором размещены контуры деталей (рис. 8.6).

Положение детали определим в подвижной, привязанной к листу материала системе координат $x_M O_{MUM}$, координатами $x_{ДУД}$ центра детали O_D и углом α_D между осью $O_M x_M$ 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 рисунке 14.2.

Пластина 1, на которой закреплен лист материала, совершает поступательное движение. С пластиной свяжем подвижную систему координат $x_M O_{MUM}$. Положение пластины 1 будем определять координатой y точки O_M в неподвижной системе координат $x_{П} O_{ПУП}$, привязанной к станине пресса. Конструктивные параметры пресса обозначим L и l_X (рис. 14.2). Тогда

$$y = -y_D. \quad (14.1)$$

Каретка 2 (рис. 14.2) перемещается вдоль оси $x_{П}$. Держатель 3 резака 4 перемещается вместе с кареткой 2 вдоль оси $x_{П}$. В держателе 3 жестко закреплен резак 4, контур которого идентичен контуру детали. Обозначим O_P – центр резака, он совпадает с центром поворота держателя резака 3 относительно каретки 2. Положение каретки 2 будем определять точкой O_P , а координату последней в неподвижной системе координат $x_{П} O_{ПУП}$ обозначим x . Так как O_P совмещается с центром O_D , то

$$x = L - l_X + x_D. \quad (14.2)$$

Положение держателя 3 будем определять угловой координатой z оси резака относительно оси $O_{П} x_{П}$. Так как ось резака должна совмещаться с осью детали на раскладке, то

$$z = \alpha_D. \quad (14.3)$$

Дано: L, l_x , параметры пресс-автомата, $x_0 y_0 z_0$ – начальные координаты рабочих органов пресс-автомата, $\{x_{Di}, y_{Di}, \alpha_{Di}\}$ – массив чисел, определяющих раскладку, $i = 1, 2, \dots, N$, N – число деталей в раскладке. Нумерация позиций производится таким образом, чтобы обеспечить кратчайший маршрут обхода всех позиций, $\Delta S_x, \Delta S_y, \Delta \alpha_z$ – элементарные перемещения по координатам x, y, z (дискреты).

1. Определение x_i, y_i, z_i – по формулам (14.1–14.3):

$$x_i = L - l_x + x_{Di};$$

$$y_i = -y_{Di};$$

$$z_i = \alpha_{Di};$$

$$i = 1, 2, \dots, N+1.$$

2. Определение приращений:

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

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

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

$$i = 1, 2, \dots, (N+1),$$

где $x_{N+1} = x_0;$

$$y_{N+1} = y_0;$$

$$z_{N+1} = z_0.$$

3. Определение приращений координат в дискретах

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

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

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

На каждом i -ом участке должна задаваться контурная скорость v_i . Величина v_i определяется из условия минимизации времени перемещения. Пусть суммарное перемещение $\Delta S_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$ задано в мм. На рисунке 14.3 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

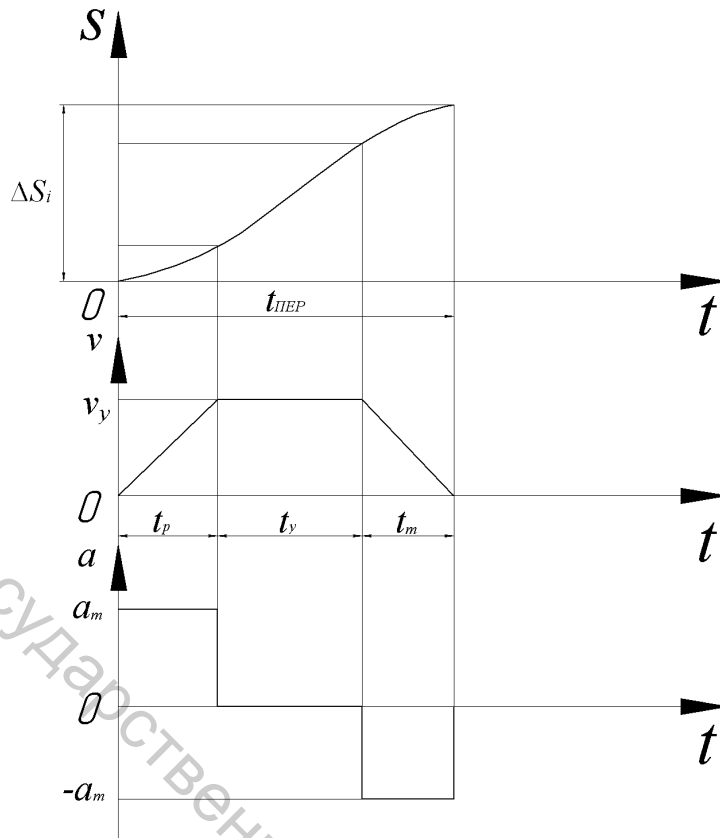


Рисунок 14.3

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

$$\Delta S_i = \frac{v_o}{2} (t_\delta + t_o) + v_o \cdot t_o. \quad (14.4)$$

Полагая $t_p = t_m$, получим:

$$\Delta S_i = v_o (t_\delta + t_o). \quad (14.5)$$

Из (14.5) определим

$$t_o = \frac{\Delta S_i}{v_o} - t_\delta. \quad (14.6)$$

Тогда

$$t_{i\delta o} = t_o + 2t_\delta = \frac{\Delta S_i}{v_o} + t_\delta.$$

С учетом $t_\delta = \frac{v_o}{a_\delta}$, получим:

$$t_{i \dot{a}\delta} = \frac{\Delta S_i}{v_{\delta}} + \frac{v_{\delta}}{\dot{a}_{\delta}}. \quad (14.7)$$

Величина ускорения a_m назначается с учетом динамических характеристик шагового электропривода.

Полагая a_m известным и постоянным, из (14.7) определим V_y , соответствующее $t_{пер} = t_{пер \min}$. Для этого приравняем нулю производную $t_{пер}$ по V_y из (14.7):

$$-\frac{\Delta S_i}{v_{\delta}^2} + \frac{1}{\dot{a}_{\delta}} = 0.$$

$$\text{Откуда:} \quad v_y = \sqrt{\Delta S_i \cdot a_{\delta}}. \quad (14.8)$$

При известных ΔS_i и a_m из (14.8) определяется скорость установившегося движения для i -го участка.

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

В старт-стопном режиме перемещение материала на величину шага S_{cm} 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 $S_{cm} \geq 2$ мм, если стачиваются ткани. В период перемещения на величину стежка S_{cm} сначала происходит разгон, затем – торможение. Кинематические диаграммы показаны на рисунке 14.4.

На рисунке 14.5 приведена схема для расчета перемещений. На схеме показаны: I – материал, II – кассета, на которой закреплен материал, III – швейная головка, закрепленная неподвижно.

Контур строчки K, выполняемой на детали, образован точками прокола 1, 2, ..., N иглы швейной головки III, отстоящими друг от друга на расстоянии S_{cm} . Пусть множество точек прокола задано в системе координат $x_K O_K y_K$ множеством координат $\{x_{ci}, y_{ci}\}$.

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

Проведем оси координат $x_K y_K$ с началом в центре кассеты O_K и жестко привяжем систему координат $x_K O_K y_K$ с кассетой. Пусть кассета II имеет возможность перемещения вдоль неподвижных осей координат $x_{II} O_{II} y_{II}$, где O_{II} совпадает с начальным положением точки O_K в позиции

загрузки-разгрузки. При этом оси x_{II} и y_{II} параллельны соответственно осям x_K , y_K . Обозначим L_x , L_y – координаты точки I в неподвижной системе координат $x_{II}O_{II}y_{II}$, а x_i , y_i – координаты кассеты в той же системе координат $x_{II}O_{II}y_{II}$.

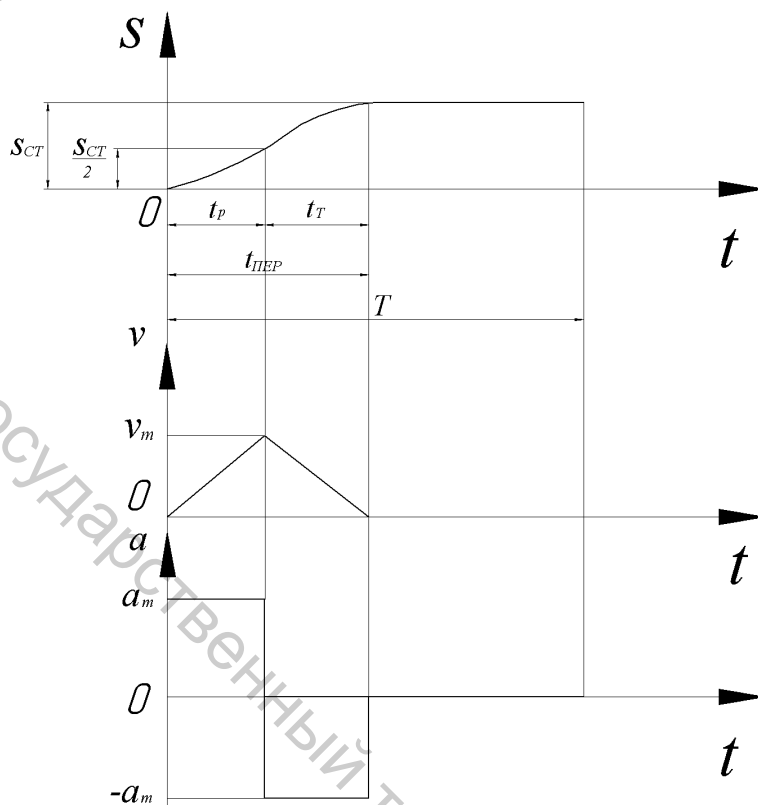


Рисунок 14.4

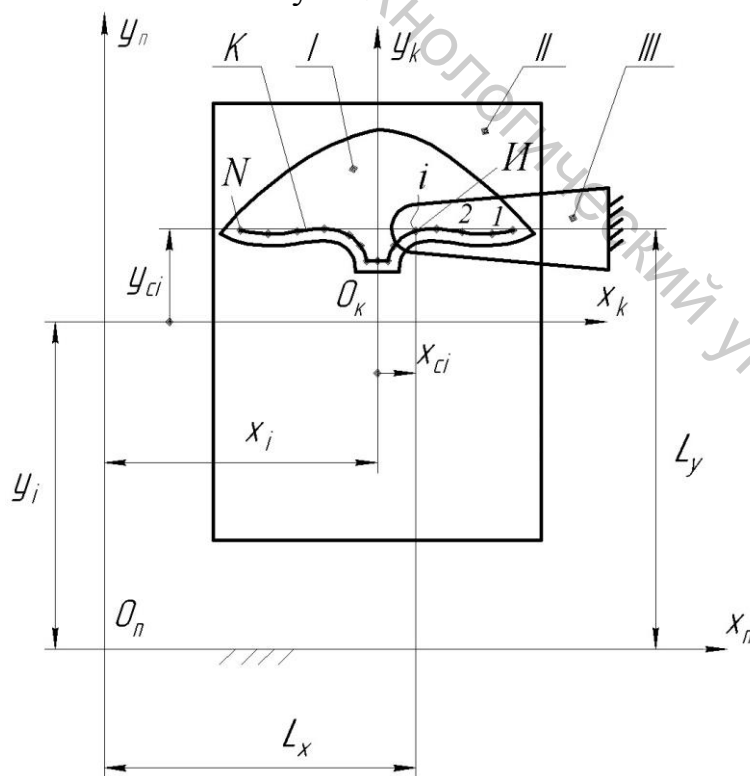


Рисунок 14.5

I – материал, II – кассета, III – швейная головка

Координаты x_i, y_i определяются из очевидных соотношений:

$$x_i = L_x - x_{ci}; \quad (14.9)$$

$$y_i = L_y - y_{ci}; \quad (14.10)$$

$$i = 0, 1, \dots, N;$$

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

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

Используя формулы (14.9–14.10), можно по аналогии с вырубочным прессом рассчитать приращения координат:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1}; \quad (14.11)$$

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1}; \quad (14.12)$$

$$i = 1, 2, \dots, N+1,$$

где $x_{N+1} = x_0; y_{N+1} = y_0$.

Приращения координат в дискретах ΔS определяются из равенств

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

Кроме числовой информации о перемещениях необходимо также определить контурную скорость v_d , 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 (подраздел 18.4 настоящего учебника).

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

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

$$v_m = a_m \cdot \frac{t_{i \text{ äð}}}{2};$$

$$n = \frac{60}{K_{тр} \cdot t_{пер}}, \quad (14.13)$$

где $t_{пер}$ – время перемещения;

$$K_{\text{тр}} = \frac{\varphi_{\text{тр}}}{360^\circ}, \quad \varphi_{\text{тр}} - \text{угол поворота главного вала швейной головки,}$$

отводимый для транспортирования материала при его стачивании.

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

На рисунке 14.6 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 O_{45} радиуса R_{45} . Для отрезков прямых и дуги определяются координаты x_i, y_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) начала и конца участков в системе координат $x_K O_{45} y_K$. После этого координаты кассеты (рис. 14.5) определяются по формулам (14.9), (14.10), а перемещения (приращения координат) – по формулам (14.11), (14.12).

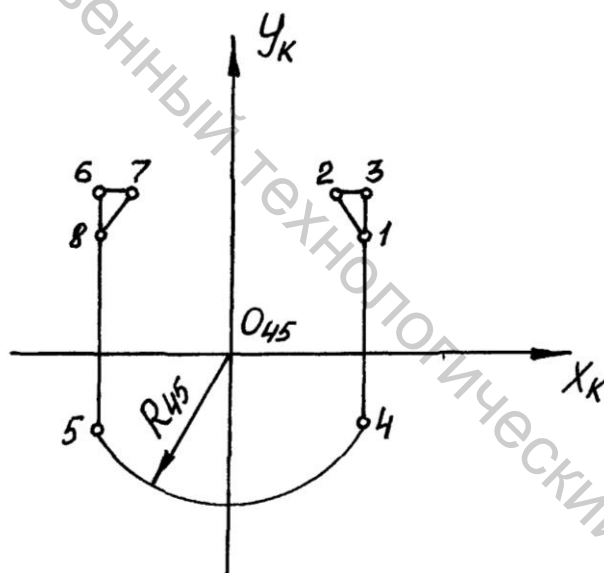


Рисунок 14.6 – Контур строчки накладного кармана мужской сорочки

Для участка дуги кроме перемещения необходимо указать направление вращения радиуса R_{45} (по часовой, против часовой стрелки).

На каждом участке контура движение кассеты происходит согласно кинематическим диаграммам, приведенным на рисунке 14.3. Поэтому скорость установившегося движения v_y определяется из формулы (14.8), где $\Delta S_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$, 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

$$n_{\dot{o}} = \frac{60v_y}{S_{c\dot{o}}} \text{ [об/мин]},$$

где $S_{c\dot{o}}$ – шаг стежка.

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

$$n = \frac{n_y}{t_p} \cdot t; \quad 0 \leq t \leq t_p; \quad (14.14)$$

$$n = n_y \left(1 - \frac{1}{t_p}\right) \cdot t; \quad t_p + t_y \leq t \leq t_{nep}. \quad (14.15)$$

14.2 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* (*International 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 Y + 000210 Z - 000480
F4710
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 (рис. 14.5, 14.6) или перемещения между двумя соседними позициями (рис. 14.1).

«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»: $X + 000248$.

Каждый кадр программы должен начинаться со слова "номер кадра" (адрес N) и заканчиваться словом "конец кадра" (LF). В таблице 14.1 приведены некоторые символы адресов и их значения.

Таблица 14.1

Символ адреса	Название слова
F	Функция подачи
N	Номер кадра
X	Параметр перемещения по оси X
Y	Параметр перемещения по оси Y
Z	Параметр перемещения по оси Z
G	Вид интерполяции
S	Функция скорости шпинделя
T	Функция инструмента
I, J, K	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 14.2).

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

Таблица 14.2

Обозначение слова	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 14.3.

Таблица 14.3

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

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 обрабатываемого кадра, а время торможения не превышало заданное для системы ЧПУ. На рисунке 14.7 показан график изменения скорости подачи при нормальном режиме.

Режим торможения до фиксированной скорости используется в случае резкого изменения траектории движения (рис. 14.8). Пусть контур 1-2-3 (рис. 14.9) обрабатывается с постоянной контурной скоростью 2000 мм/мин. Если не использовать режим торможения, то при переходе от участка 1-2 к участку 2-3 произойдет резкая остановка привода по координате X и резкий разгон по координате Y . 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, обрабатывающих перемещение пишущего элемента (ПЭ) графопостроителя по траекториям 1-2-3 и 4-5-6 (рис. 14.10):

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, то есть переход ПЭ в точки 2,3,1 (координаты указаны на рисунке 14.10); PU – подъем ПЭ и перемещение в точку 4 (2500, 1500).

Пример 2. Вычерчивание окружности (рис. 14.11). 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.

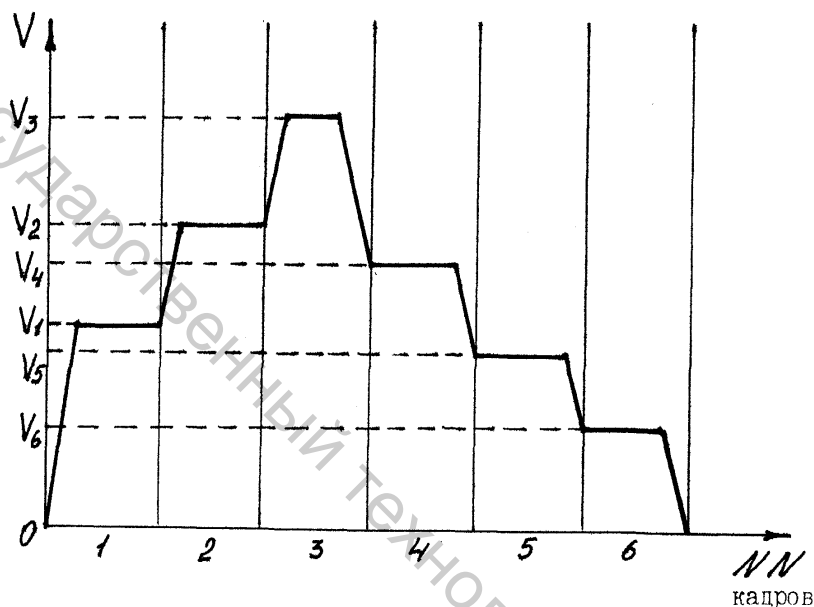


Рисунок 14.7

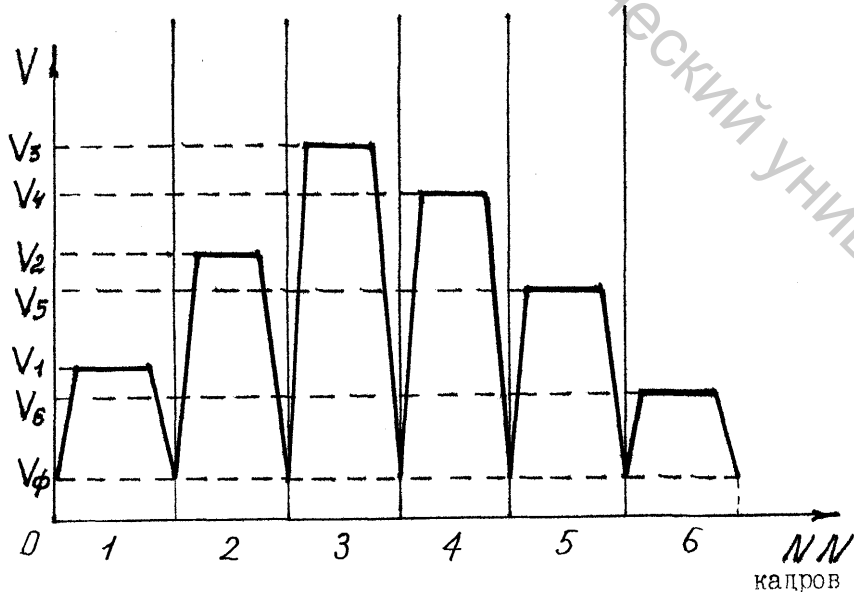


Рисунок 14.8

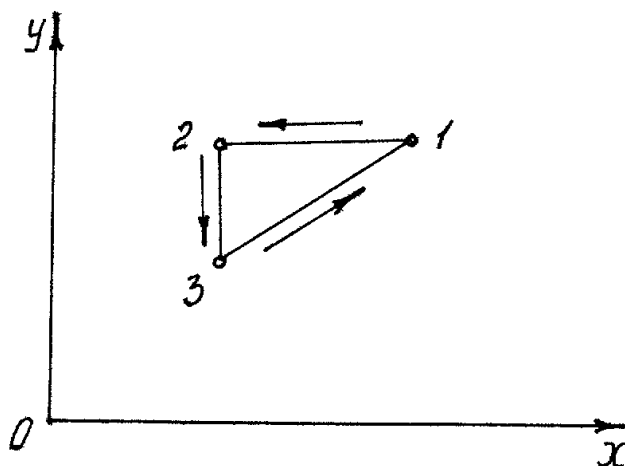


Рисунок 14.9

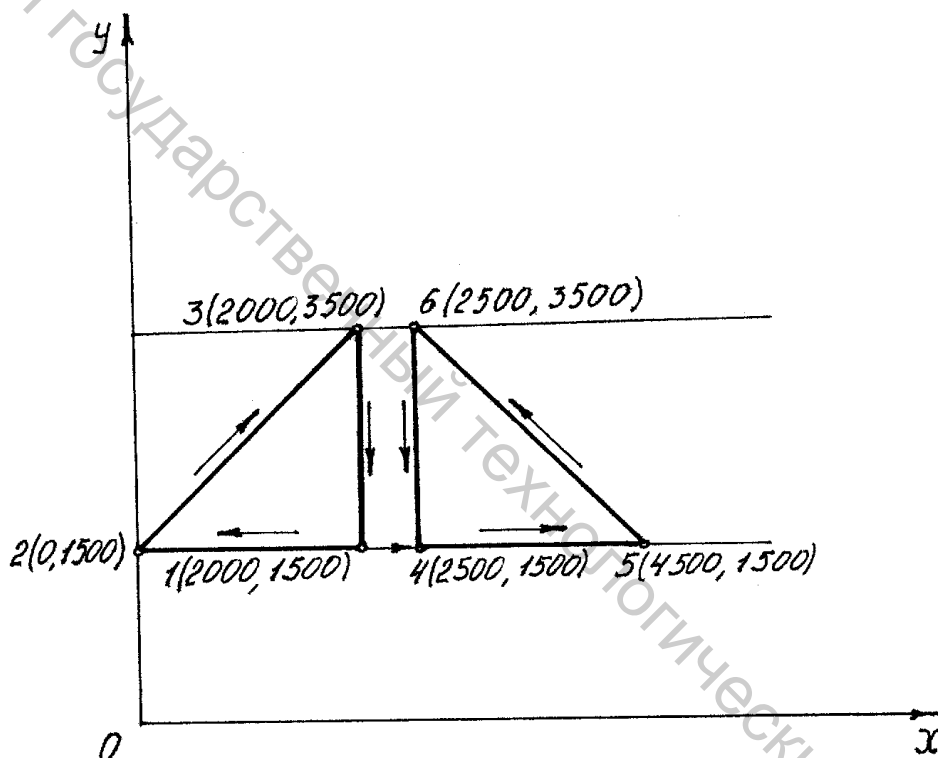


Рисунок 14.10

Пример 3. Вычерчивание дуги окружности в абсолютных координатах производится по команде: AA X, Y, угол дуги (угол хорды). Ограничитель. Вычерчивается дуга с центром в точке с координатами X, Y, 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 рисунке 14.12 вычерчивается дуга по командам: PA 100, 200, AA 100, 300, 90. В команде не задан угол хорды.



Рисунок 14.11

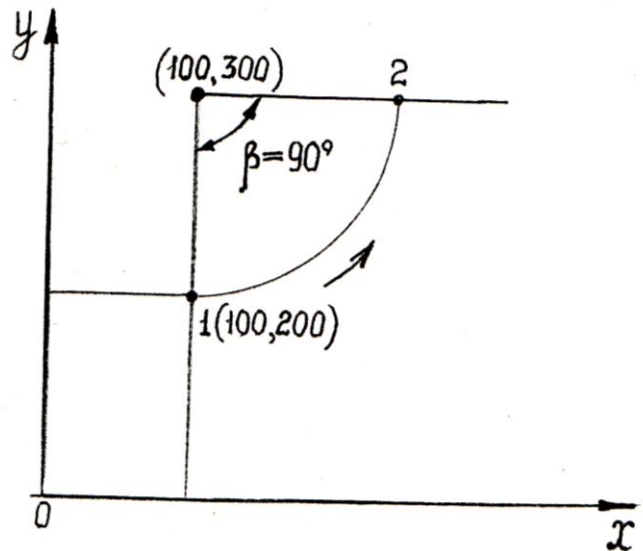


Рисунок 14.12

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.

14.3 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, то есть 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 (то есть 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.

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.

14.4 Кодирование программ на перфоленте

Отверстия на перфоленте образуют ряды, расположенные параллельно скорости движения ленты (рис. 14.13) 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 рисунке 14.13 цифрами 1...8.

Точки пересечения линий строк и информационных дорожек могут содержать отверстия или не содержать их. Отверстие 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 рисунке 14.13 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 № 1, 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 № 1...6, нечетное, то пробивается дополнительное отверстие на дорожке № 8, называемой дорожкой четности. Указанное правило соблюдается и для других кодов.

На рисунке 14.14 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 рисунке 14.15 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.

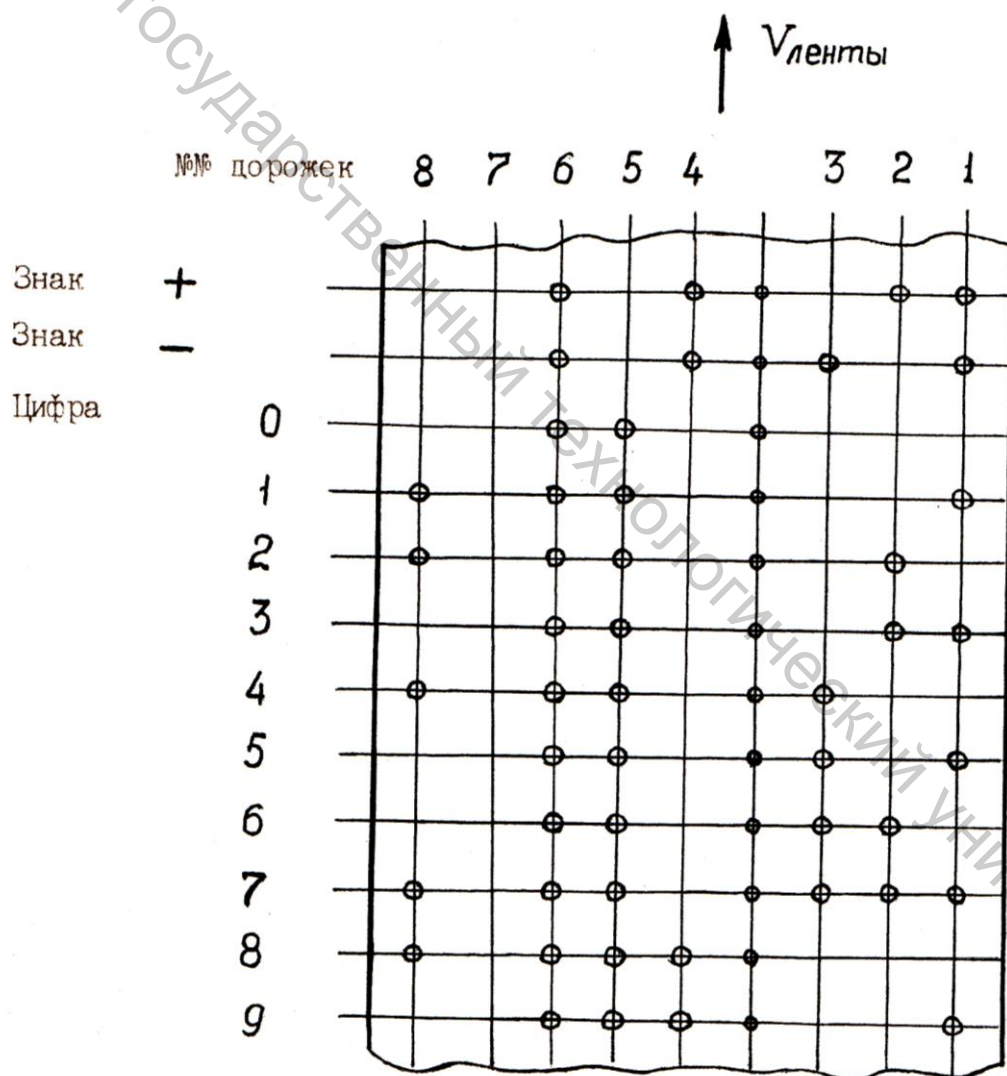


Рисунок 14.13

№№ дорожек

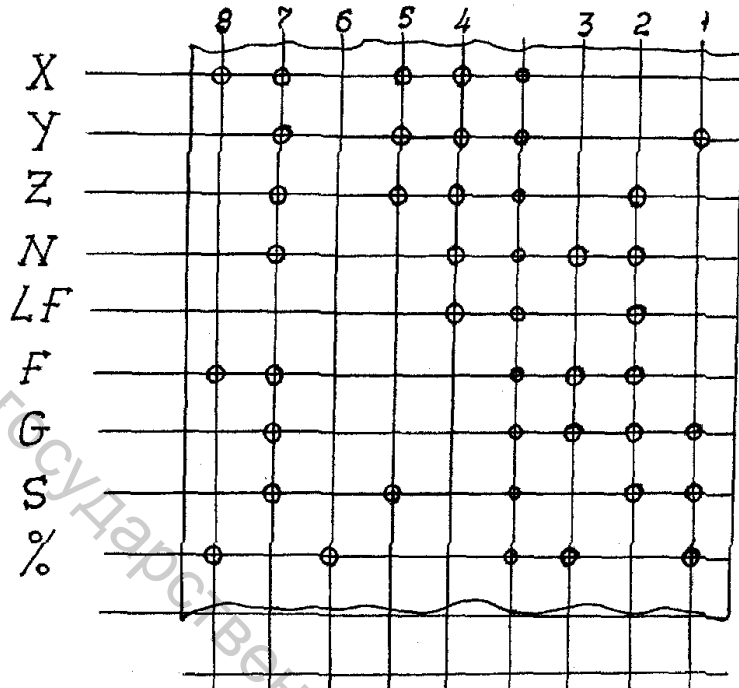


Рисунок 14.14

№№ дорожек
8 7 6 5 4 3 2 1

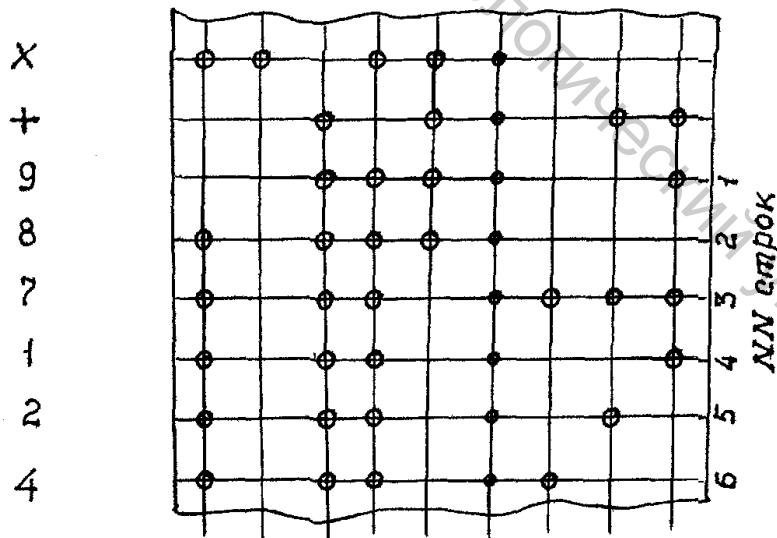


Рисунок 14.15

15 УСТРОЙСТВА ВВОДА И ОБРАБОТКИ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

15.1 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 рисунке 15.1 приведена схема фотосчитывающего устройства, предназначенного для ввода и считывания программ с перфолент [19]. Перфолента 1 заправляется между двумя роликами; транспортирующим 3 и прижимным 4. Транспортирующий ролик 3 приводится в движение от шагового электродвигателя (на рисунке 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_l . Узел считывания состоит из осветительной лампы 5, цилиндрической линзы 6 и блока фотодиодов 9. Осветительная лампа создает полосу 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 15.

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

На рисунке 15.2 показана схема устройства для считывания с магнитной ленты. Магнитная лента транспортируется со скоростью V_l с помощью лентопротяжного механизма (на рисунке 15.2 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 рисунке 15.3 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.

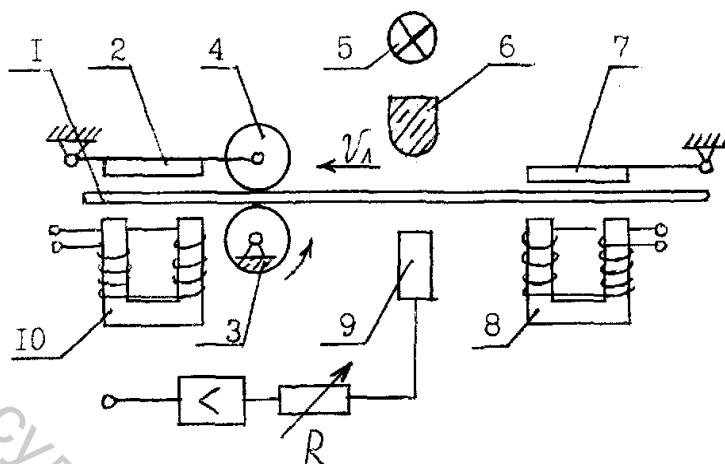


Рисунок 15.1 – Схема фотосчитывающего устройства

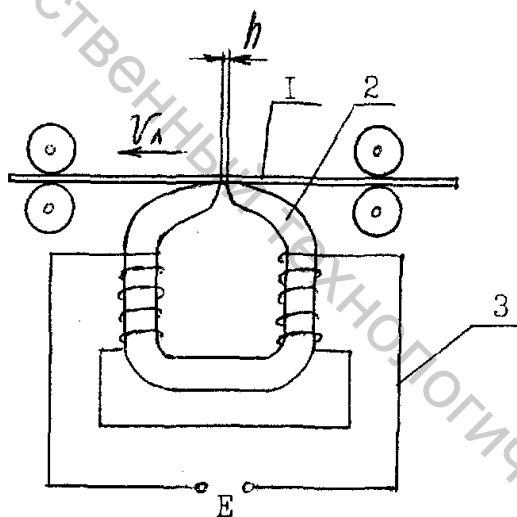


Рисунок 15.2 – Схема устройства для считывания с магнитной ленты

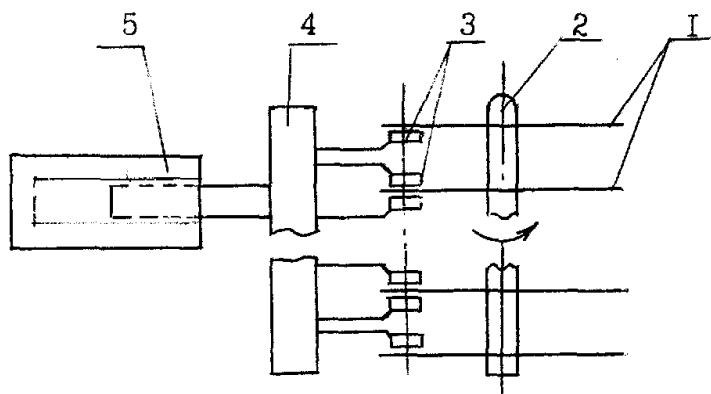


Рисунок 15.3 – Схема устройства считывания с магнитных дисков

15.2 Дешифратор адресов

Дешифратор адресов служит для преобразования импульсных электрических сигналов, коммутируемых адресной частью программы (рис. 14.14), в потенциальный электрический сигнал (то есть сигнал длительного действия) на выходе. Конструктивно дешифратор выполнен в виде логической системы, состоящей из комбинационных логических элементов и триггеров [19] (рис. 15.4).

На вход дешифратора адресов поступают импульсные сигналы из электрических цепей фотодиодов считывающего устройства (рис. 15.1). Обозначим эти сигналы X_1, X_2, \dots, X_7 , где индексы 1, 2, ..., 7 соответствуют номерам дорожек перфоленты (рис. 14.14), с которых считаны коды.

На выходах дешифратора адресов формируются потенциальные сигналы $f_X, f_Y, f_Z, f_F, \dots$, где индексы X, Y, Z, F, \dots соответствуют адресу. Принцип действия дешифратора адресов поясняется таблицей состояний на рисунке 15.5. Например, при считывании адреса X на входах дешифратора адресов появляется комбинация кодов (рис. 14.14) $X_1 = 0; X_2 = 0; X_3 = 0; X_4 = 1; X_5 = 1; X_6 = 0; X_7 = 1$, 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.

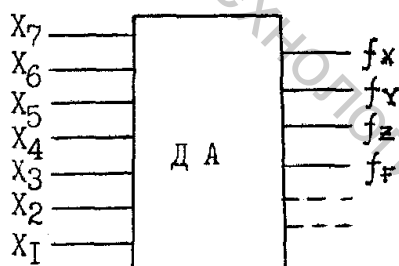


Рисунок 15.4 – Схема дешифратора адресов

№№ сост	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	f_X	f_Y	f_Z	f_F
1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
2	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
3	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
4	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Рисунок 15.5 – Таблица состояний дешифратора адресов

15.3 Оперативное запоминающее устройство

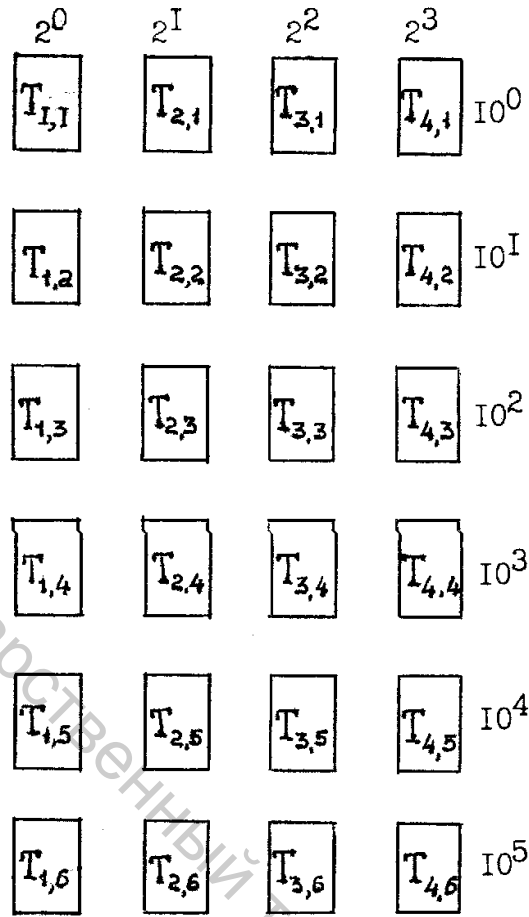
Оперативные запоминающие устройства $OЗУ_x$, $OЗУ_y$, $OЗУ_z$ служат для запоминания числовой информации о перемещениях, считанной с перфоленты (рис. 14.15). Эта информация, как было сказано, записана на 6 строках перфоленты и преобразуется фотосчитывающим устройством (рис. 15.1) в импульсные электрические 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. 14.15).

Пронумеруем строки той части программы, в которой записано число (987124 на рисунке 14.15). Соответствующие коды сигналов строк будем обозначать $X_{i,j}$, где i – номер дорожки ($i = 1,2,3,4$), j – номер строки ($j = 1,2,\dots,6$). Например, $X_{2,5}$ – код второй строки пятой дорожки (на рисунке 14.15 $X_{2,5} = 1$). 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, то есть равно 24 (4 бита на 6 строках).

На рисунке 15.6 показано упорядоченное расположение триггеров, при этом триггер $T_{i,j}$ после считывания числа имеет на выходе состояние такое же, как 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 рисунке 15.7. 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 $X_{i,j}$ ($j = 1,2,\dots,6$) 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 $X_{1,1}, X_{1,2}, \dots, X_{1,6}$, поступающие на входы триггеров соответственно $T_{1,1}, T_{1,2}, \dots, T_{1,6}$.

Разряды двоичные



Разряды десятичные

Рисунок 15.6

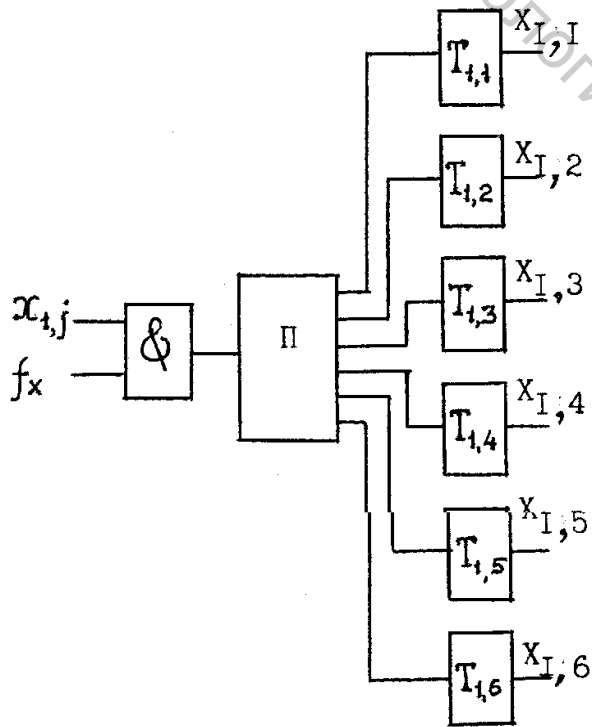


Рисунок 15.7

15.4 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 рисунке 15.8. 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.

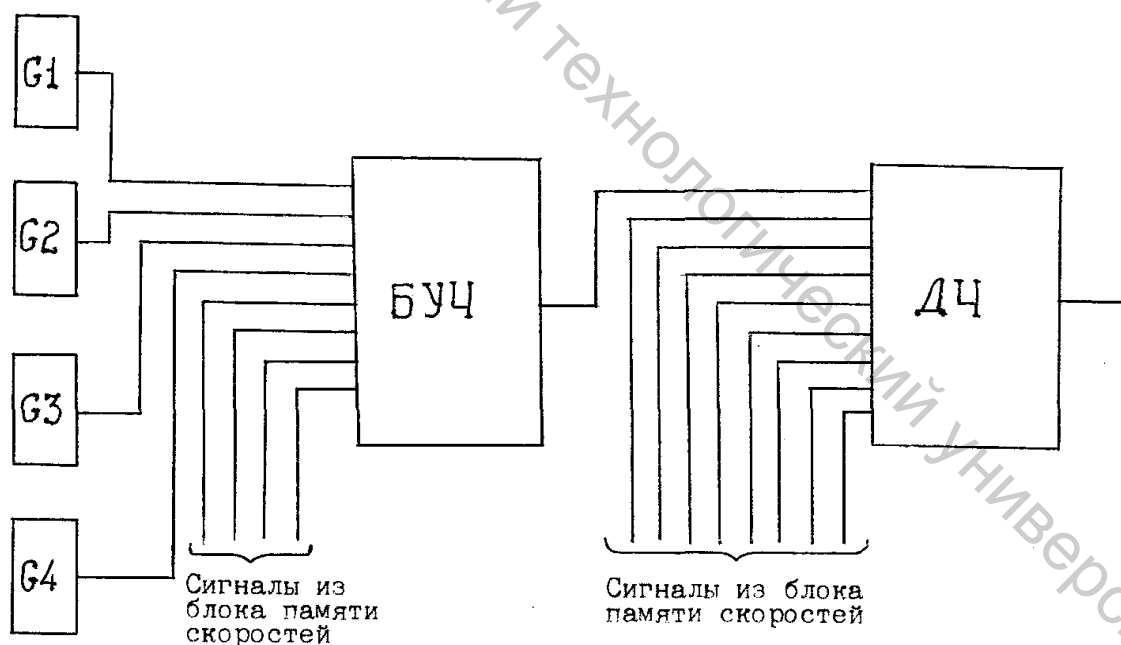


Рисунок 15.8

В том случае, когда требуется обеспечивать разгон и торможение приводов, используются более сложные схемы, обеспечивающие заданный закон изменения частоты импульсов [19].

15.5 Устройство преобразования кодов

Двоично-десятичный код удобен для записи и хранения информации. Однако устройства обработки информации, например, интерполяторы работают с информацией, представленной в двоичном коде, вследствие этого появляется необходимость преобразования двоично-десятичного кода в двоичный.

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 [19].

На рисунке 15.9 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. 15.1); узел установки нуля и начальной строки УУНС, 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 15.1

№ 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, С210	0000000000000001010
6	С11	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 (табл. 15.1).

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 так далее. 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.

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 $D - K < 0$ (D — преобразуемое двоичное число, K — константа), то происходит переход на новую строку с выработкой младшей константы и так далее. Если $D - K \geq 0$, то начинается вычитание констант до тех пор, пока не будет выполнено условие $D - K < 0$ (остаток преобразуемого числа меньше вычитаемой константы). Число вычитаний константы фиксирует счетчик циклов, который через дешифратор передает преобразованный десятичный разряд на индикатор и так далее.

Когда шифратором констант вырабатывается младшая константа и после ее вычитания A раз создается условие $D - K < 0$, 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. 15.9). 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.

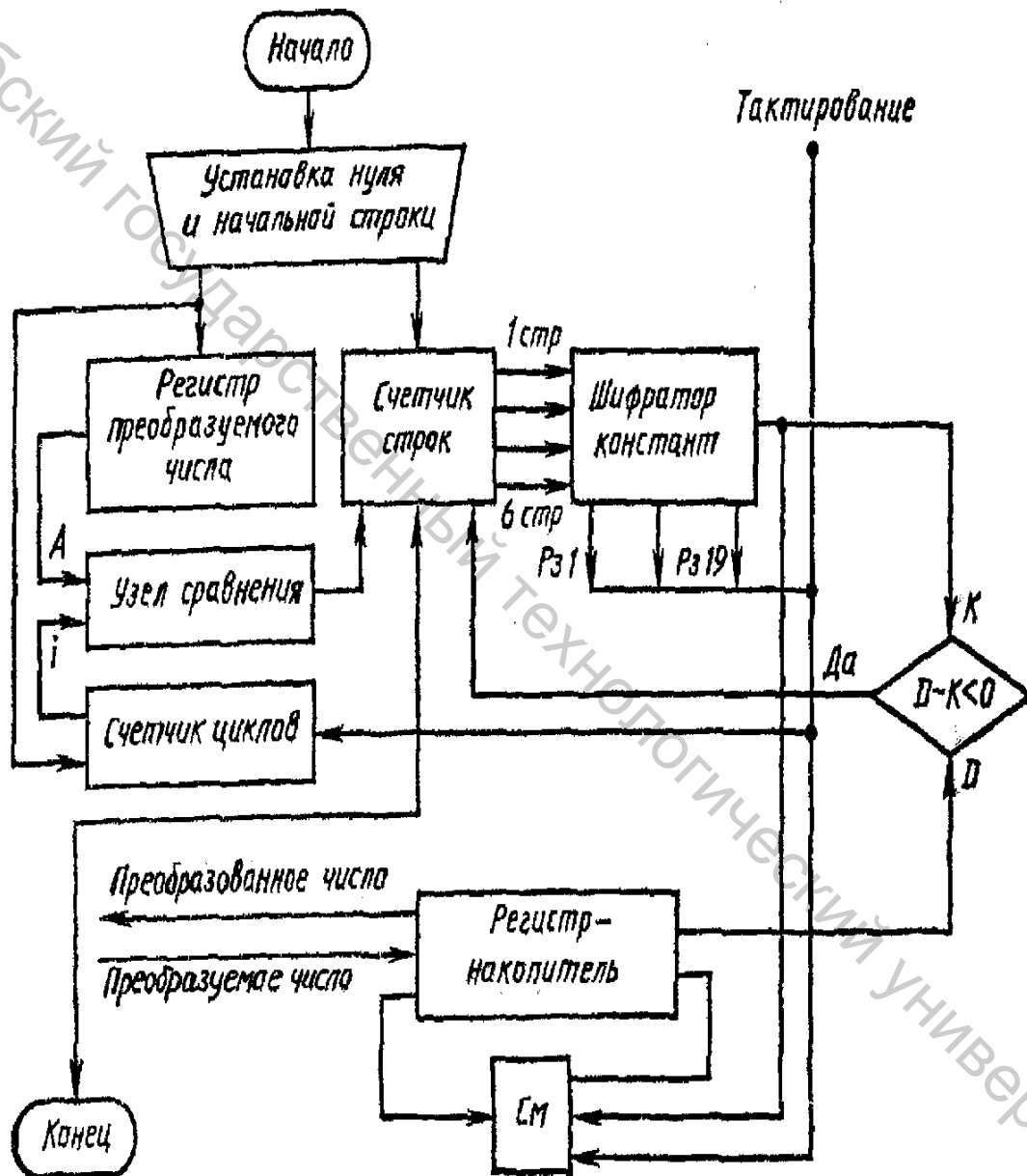


Рисунок 15.9 – Структурная логическая схема преобразователя методом суммирования и вычитания констант

В таблице 15.2 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. 15.10). Каждая декада, в свою очередь, (рис. 15.11), состоит из двоично-десятичного счетчика, элементов "И" и "ИЛИ". Двоично-десятичный счетчик (рис. 15.12) включает в себя элемент "И", счетные триггеры T_1, T_2, T_4 . и $I-K$ триггер с динамическими входами. Принцип действия счетного триггера T (рис. 15.13 а) с динамическим входом поясняется временными диаграммами состояний его входа X и выхода f (рис. 15.13 б). Изменение уровней сигнала на выходе f триггера производится задним фронтом импульса на входе X , то есть при изменении уровня входного сигнала с 1 на 0.

Таблица 15.2 – Таблица преобразования кодов

Такты работы	Десятичный код	Двоично-десятичный код (преобразуемый)			Двоичный код в сдвиге в регистре накопителя
Начало 1Т	9 7 5 4,5,3,525	1001	0111	0101	1000000000
Коррекция 2Т	4 8 7 2 4 3,5	0100	1000	0111	1000000000
Коррекция 3Т	2 4 3 1 2 1,5	0010	0100	0011	1111000000
Коррекция 5	1 2 1 0,51 0,5	0001	0010	0001	0111100000
Коррекция 5Т	0 6 0 0 3 0	0000	0110	0000	1101111000
Коррекция 6Т	0 3 0 01,50	0000	0011	0000	1001111000
Коррекция 7Т	0 1 5 00,5 2,5	0000	0001	0101	1001111000
Коррекция 8Т	0 0 7 0 0 3,5	0000	0000	0111	11001111000
Коррекция 9Т	0 0 3 0 0 1,5	0000	0000	0011	11100111100
Коррекция 10Т	0 0 1,5 0 0 0,5	0000	0000	0001,1	1111001111
Конец	0 0 0	0000	0000	0000	1111001111

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

Принцип действия $I-K$ триггера (рис. 15.14 а) поясняется временными диаграммами состояний его входов X_1 (I) и X_2 (K) и выхода f (рис. 15.14 б). Из диаграмм видно, что входные импульсы $X_1(I)$ своим задним фронтом устанавливают выход f в состояние 1, а входные импульсы X_2 (K) своим задним фронтом устанавливают выход в состояние 0.

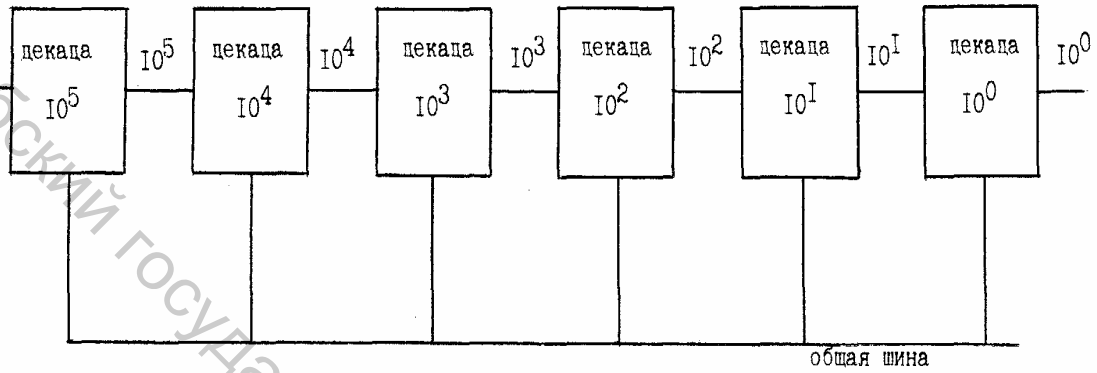


Рисунок 15.10

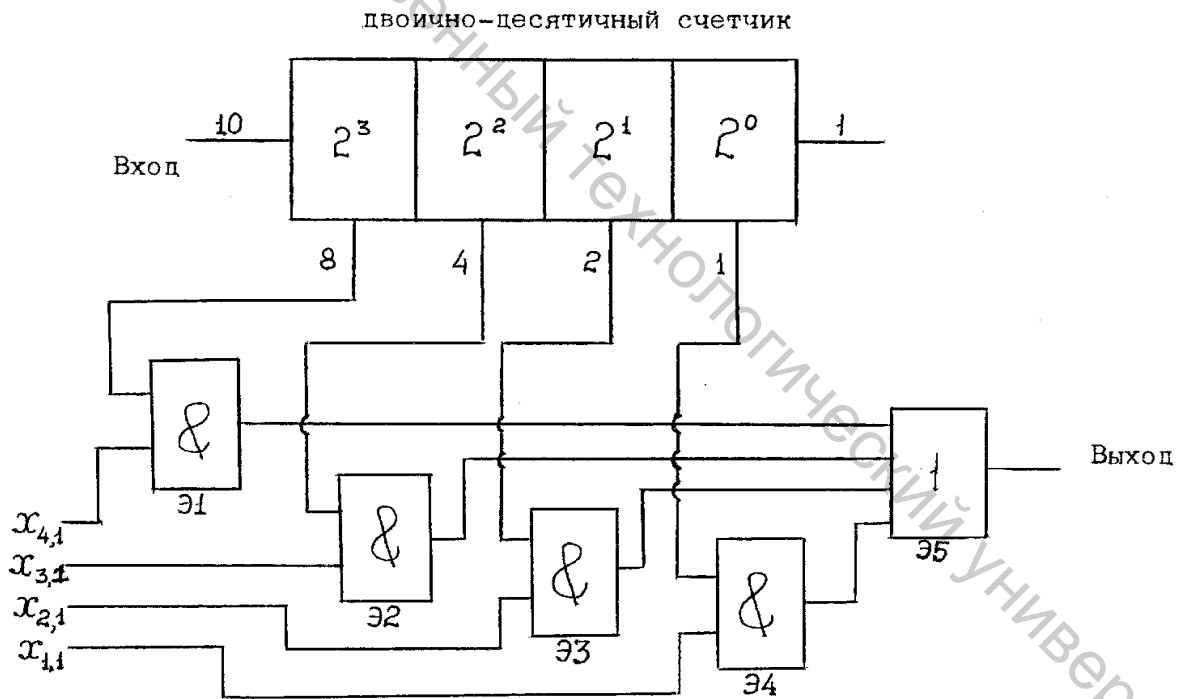


Рисунок 15.11

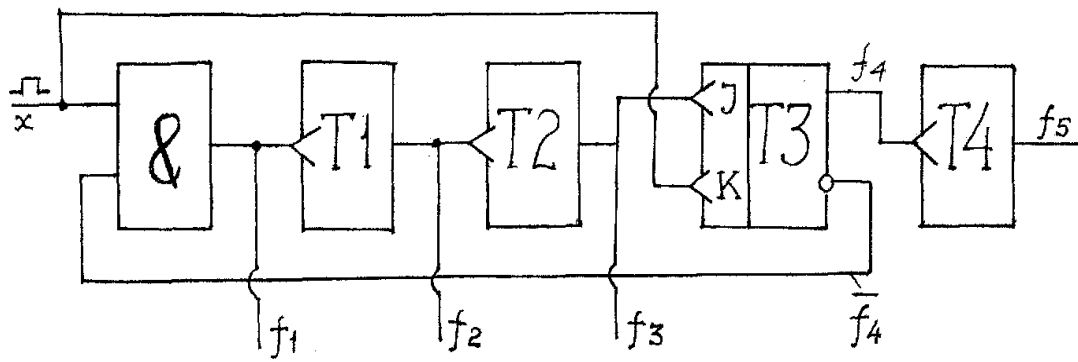
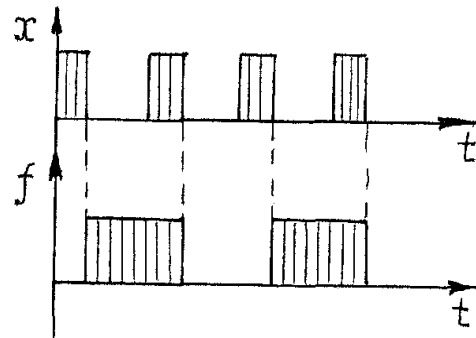
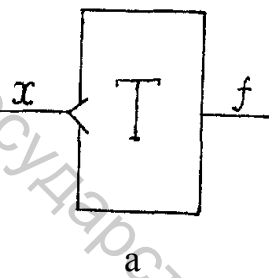
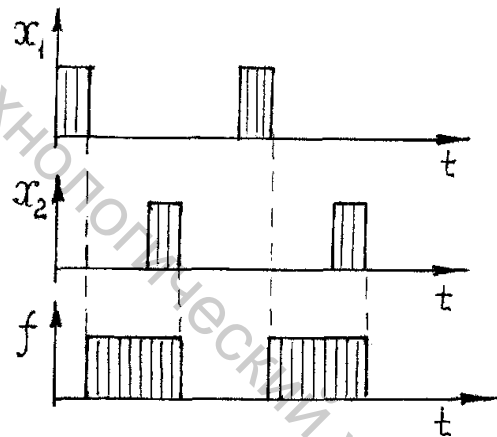
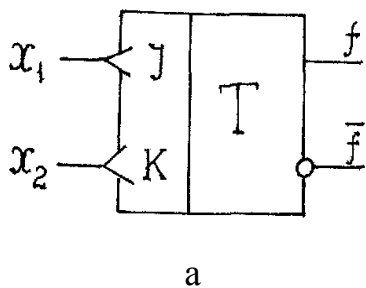


Рисунок 15.12



б

Рисунок 15.13



б

Рисунок 15.14

Работа двоично-десятичного счетчика (рис. 15.15) 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 рисунке 15.11 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 (рис. 15.7), 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, то есть в соответствующих двоичных разрядах блока памяти перемещений записаны 1.

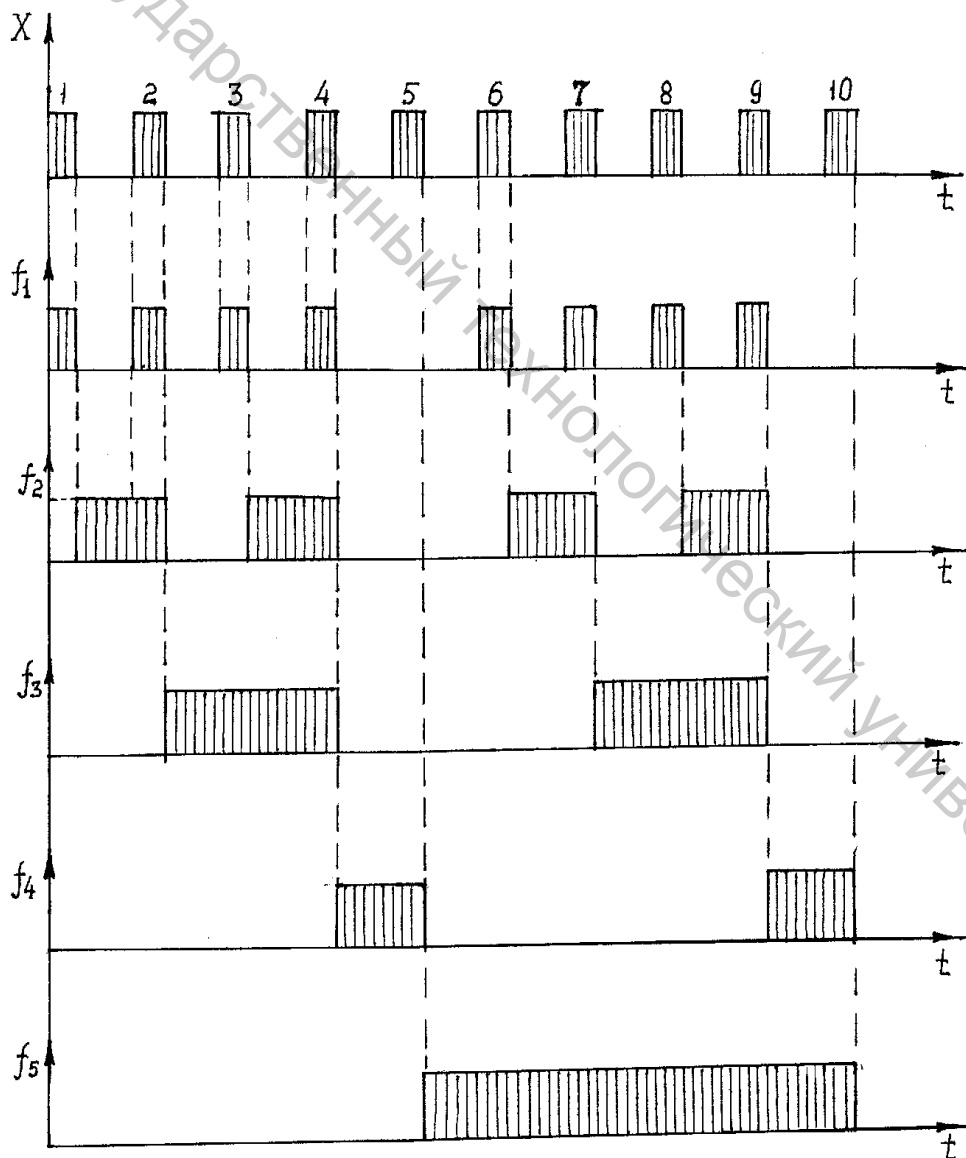


Рисунок 15.15

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 (рис. 14.15) 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, то есть число импульсов, равное коду числа, записанного в программе.

В блоке декад (рис. 15.10) декады изображены в виде прямоугольников с одним входом и двумя выходами. Первый выход каждой декады (вертикальная прямая) соответствуют выходу с элемента Э5 (рис. 15.11), а второй (горизонтальная прямая) – выходу с элемента Т4 (рис. 15.12). На втором выходе каждой декады имеем число импульсов в 10 раз меньше, 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 так далее и на вторых выходах декад числа $8 \cdot 10^5$, $7 \cdot 10^4$, $1 \cdot 10^3$, $5 \cdot 10^2$, $3 \cdot 10^1$, $6 \cdot 10^0$ соответственно. Эти импульсы поступают на общую шину и затем – на вход коммутирующего устройства.

15.6 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 рисунке 15.16. 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.

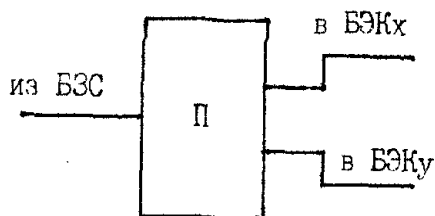


Рисунок 15.16 – Блок-схема интерполятора

Рассмотрим алгоритм линейной интерполяции по методу оценочной функции. Пусть на участке движения требуется обработать траекторию в виде отрезка прямой (рис. 15.17), при этом перемещение по координате X составляет m дискрет, а по оси Y – n дискрет. На рисунке 15.17 идеальная траектория показана в виде отрезка $OK_{m,n}$, где конечная точка $K_{m,n}$ имеет координаты $X = m$, $Y = n$, выраженные в целых числах дискрет. Уравнение прямой: $Y = KX$, где $K = Y_n/X_m$. Фактически обрабатывается траектория в виде ступенчатой линии (рис. 15.17), на которой направления движения на каждом шаге показаны стрелками. Текущая точка реальной траектории $K_{i,j}$ имеет координаты $X_i = i$; $Y_j = j$. В качестве оценочной функции для текущей точки $K_{i,j}$ принимается выражение:

$$F_{i,j} = (Y_j - Y_n \cdot X_i / X_m) \cdot X_m = X_m \cdot Y_j - Y_n \cdot X_i.$$

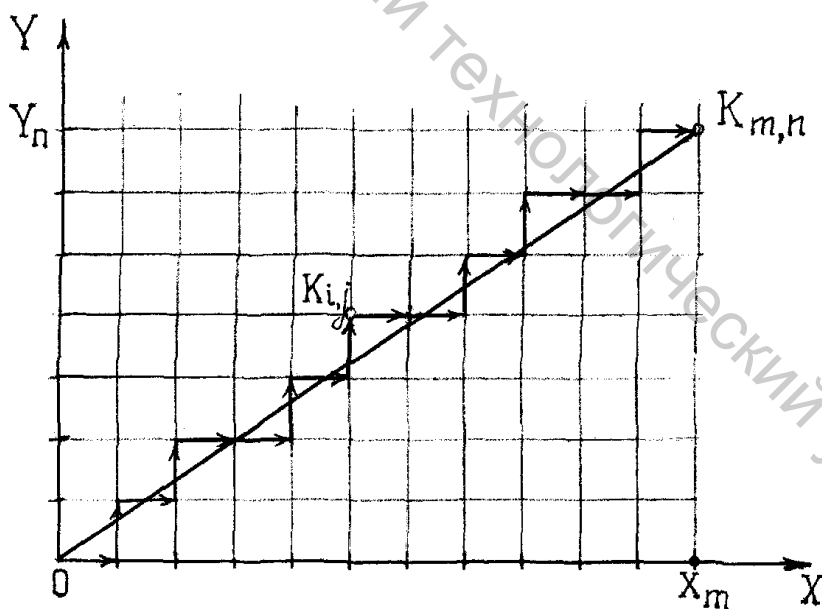


Рисунок 15.17

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 обработки 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 Y : $Y_{j+1} = Y_j + 1$.

На графике (рис. 15.17) 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 Y .

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

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

Алгоритм обработки 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 Y : $Y_{j+1} = Y_j + 1$.

На рисунке 15.18 фактическая траектория вычерчена в виде ступенчатой кривой, построенной в соответствии с указанным алгоритмом: если текущая точка $K_{i,j}$ траектории расположена на дуге окружности или выше, то очередной шаг выполняется по оси X , если ниже дуги окружности, то по оси Y .

Интерполяция по методу цифрового дифференциального анализатора выполняется следующим образом. Коды приращений по координатам X и Y 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 перемещений. Например, при $X = 1024$, $Y = 32$ 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 обработки кадра (РРКОК). С каждым циклом сложения из содержимого РРКОК вычитается 1. Интерполяция прекращается при содержимом РРКОК, равном 1, то есть интерполяция начинается за один цикл до записи числа в РРКОК.

Пример. $X = 4$; $Y = 2$. Числа X и Y 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 Y представляются в виде неправильных дробей: 0,100 и 0,010. Ход вычислений представлен в таблице 15.3.

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

Таблица 15.3

№№ циклов	Содержимое регистров накопителей и переносов		Содержимое РРКОК	Рассчитанный путь	
	$X = \sum 0,4$	$Y = \sum 0,2$		X	Y
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		

На рисунке 15.19 в виде сплошной ломаной линии показана фактическая траектория движения на обрабатываемом кадре по изложенному методу. Пунктиром показана траектория движения по методу оценочной функции.

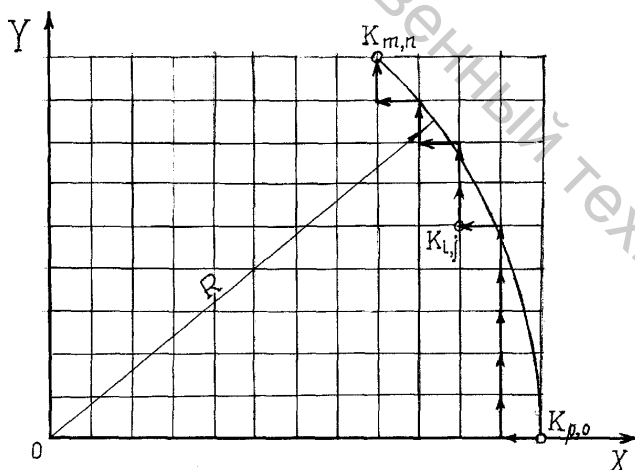


Рисунок 15.18

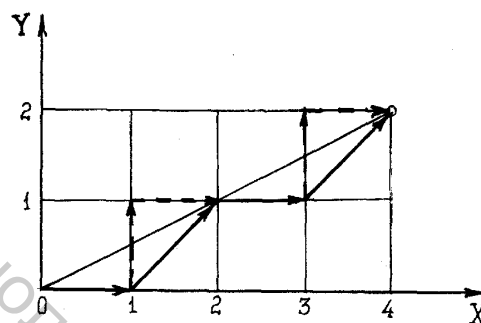


Рисунок 15.19

15.7 Блок электронного коммутатора

Блок электронного коммутатора предназначен для преобразования последовательности импульсов, поступающих из интерполятора (рис. 15.16), 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 рисунке 15.20 выходы БЭК поименованы фазами А, В и С. На рисунке 15.21 представлены временные диаграммы состояний входных и выходных сигналов БЭК для трехтактной и шеститактной коммутаций. При трехтактной

коммутации (рис. 15.21 а) в каждом такте возбуждена только одна из трех фаз. При шеститактной коммутации (рис. 15.21 б) в тактах происходит поочередная коммутация одной и двух фаз. Вид коммутации, как это будет показано, влияет на параметры движения ШЭД.

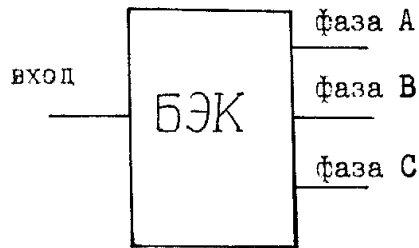


Рисунок 15.20

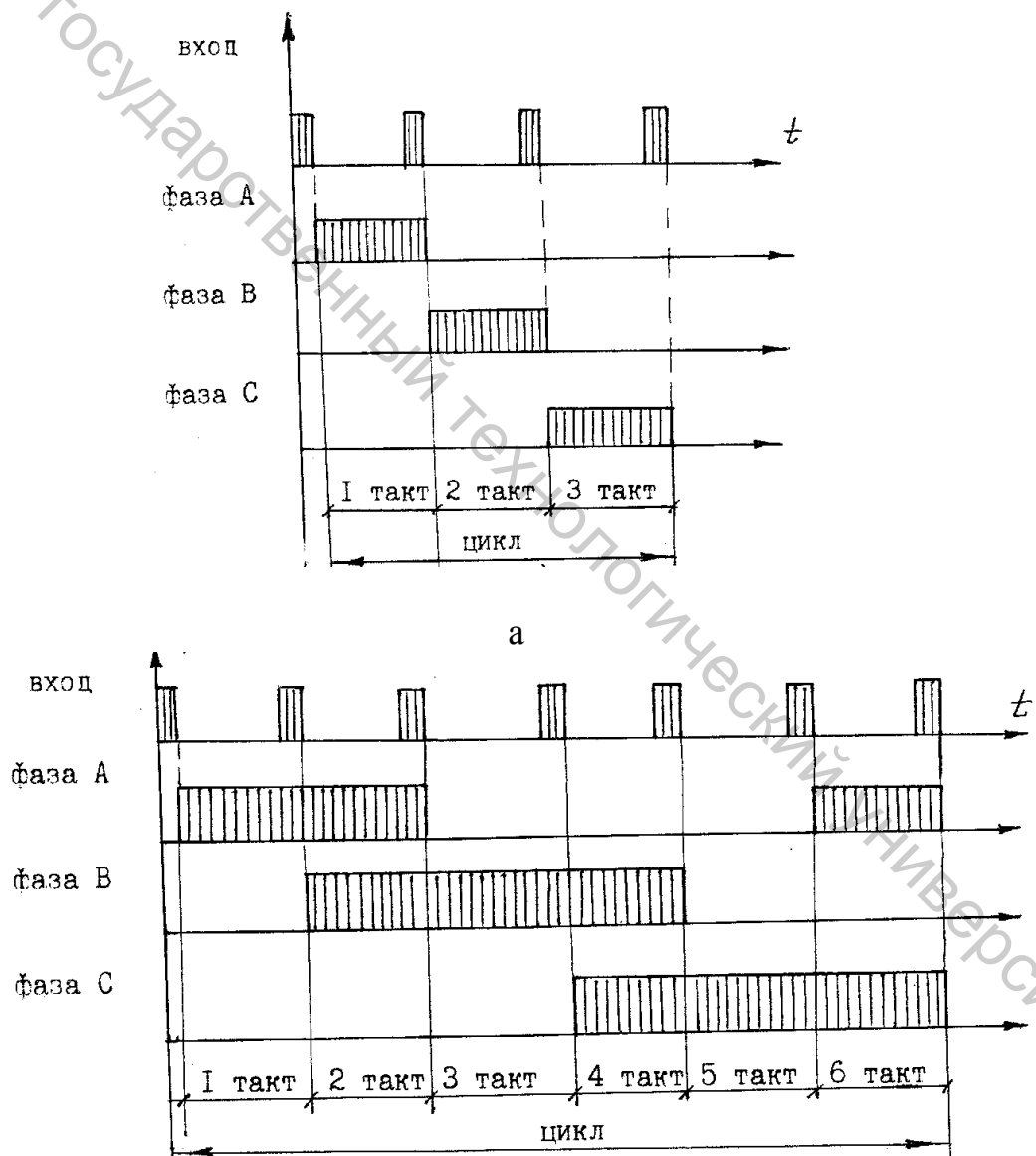


Рисунок 15.21

16 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СИСТЕМ ЧПУ

16.1 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 [20].

Принципиальная схема ШЭД показана на рисунке 16.1. Ротор 1 представляет собой цилиндр, выполненный из ферромагнетика (постоянного магнита). На боковой части ротора нарезаны зубцы с угловым шагом $\alpha = 360^\circ/Z$, 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 рисунке 16.1 показаны три пары полюсов и соответствующие обмотки, выводы которых поименованы аналогично выходам блока электронного коммутатора: *A*, *B* и *C*.

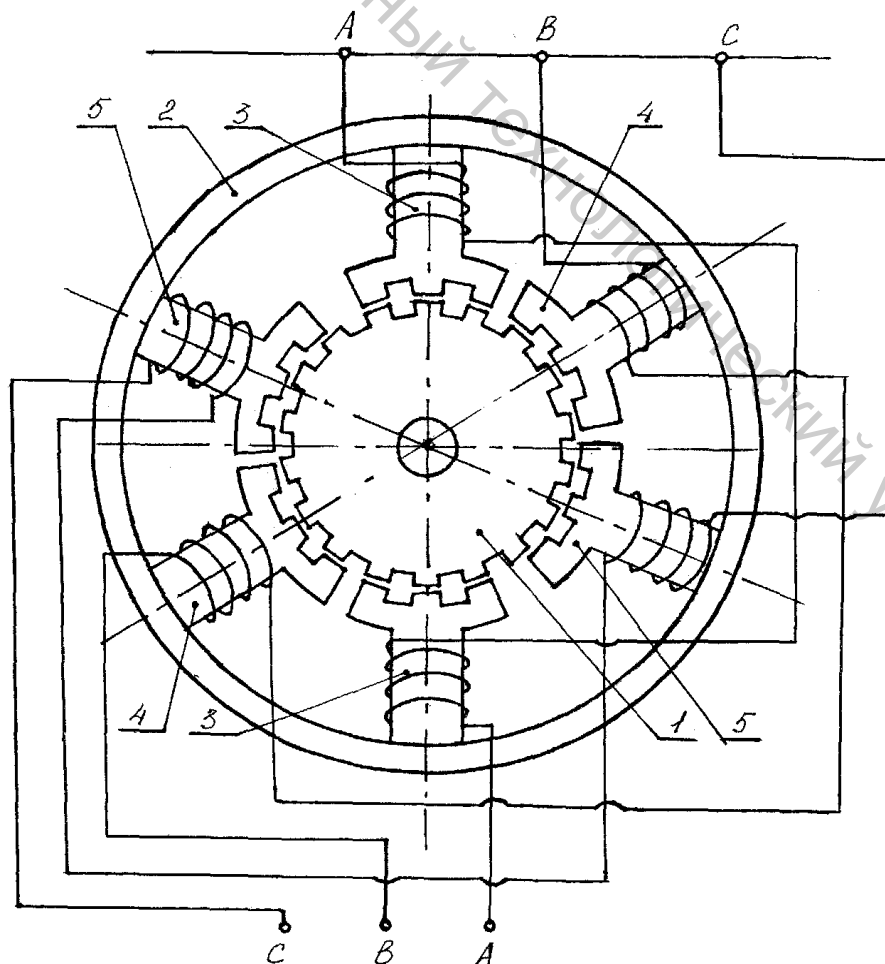


Рисунок 16.1

На внутренней цилиндрической части полюсов нарезаны зубцы с тем же угловым шагом α , что и в роторе (рис. 16.2). 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).

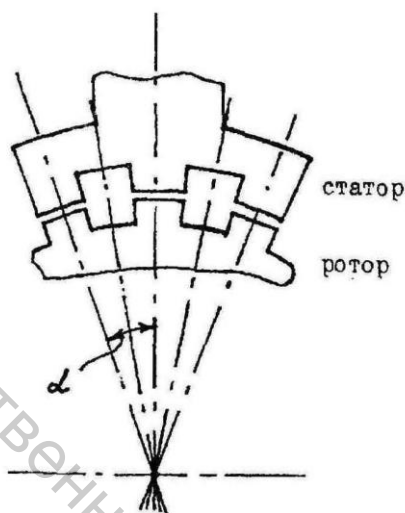


Рисунок 16.2

Работа ШЭД при трехтактной коммутации (рис. 15.21 а) 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 $1/3 \alpha$ и так далее.

При шеститактной коммутации фаз (рис. 15.21 б) 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 $\Delta\alpha = 360^\circ/Z \cdot m$, где m – число тактов коммутации в цикле. При частоте тактов f происходит вращение ротора с угловой скоростью $\omega = (2\pi/Z \cdot m) \cdot f = \Delta\alpha \cdot f$.

К основным показателям шаговых электродвигателей можно отнести следующие. Максимальный статический момент $M_{ст.мах}$ – 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 $M_{ст.мах}$. Шаг $\Delta\alpha$ – угол поворота ротора ШЭД за один такт коммутации. В таблице 16.1 приведены показатели трех типов ШЭД.

Таблица 16.1

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	1,55·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2,7·10 ⁻⁵
Номинальное напряжение питания фазы В	24	24	48
Амплитудное значение тока фазы А	0,75	2	4

16.2 Механические характеристики шаговых электродвигателей

График зависимости момента M_d 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 M_d при установившемся режиме работы, то есть при $f = \text{const}$ ($\omega = \text{const}$). 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 рисунке 16.3.

Шаговые электродвигатели швейных полуавтоматов работают в старт-стопном режиме, характеризующемся кинематическими диаграммами, приведенными на рисунке 16.4.

При повороте ротора ШЭД на угол $\varphi_{см}$, соответствующий шагу стежка, происходит разгон ротора до угловой скорости ω_m , установившееся движение 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_m . Для подобных режимов движения необходимо иметь динамические механические характеристики,

снимаемые на специальном стенде [21]. 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 отработанных на валу ШЭД импульсов. Численные значения синхронизирующего момента на валу ШЭД определяются по формуле

$$\dot{I} \ddot{\alpha} = FR + I \dot{\delta} \cdot \varepsilon_m,$$

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

R – плечо силы F ;

$I_{пр}$ – 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.

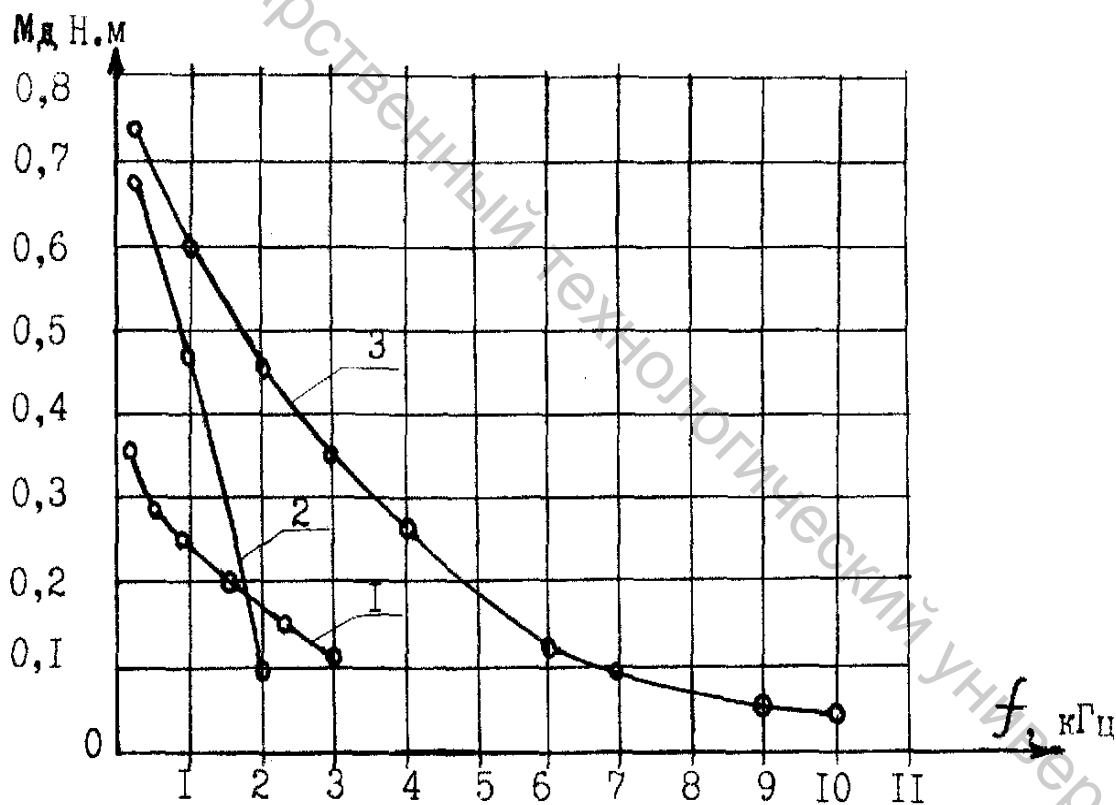


Рисунок 16.3 – Механические характеристики ШЭД:

1 – ДШ-200-0,5; 2 – ДШИ-200-3; 3 – ДШР-60-0,16

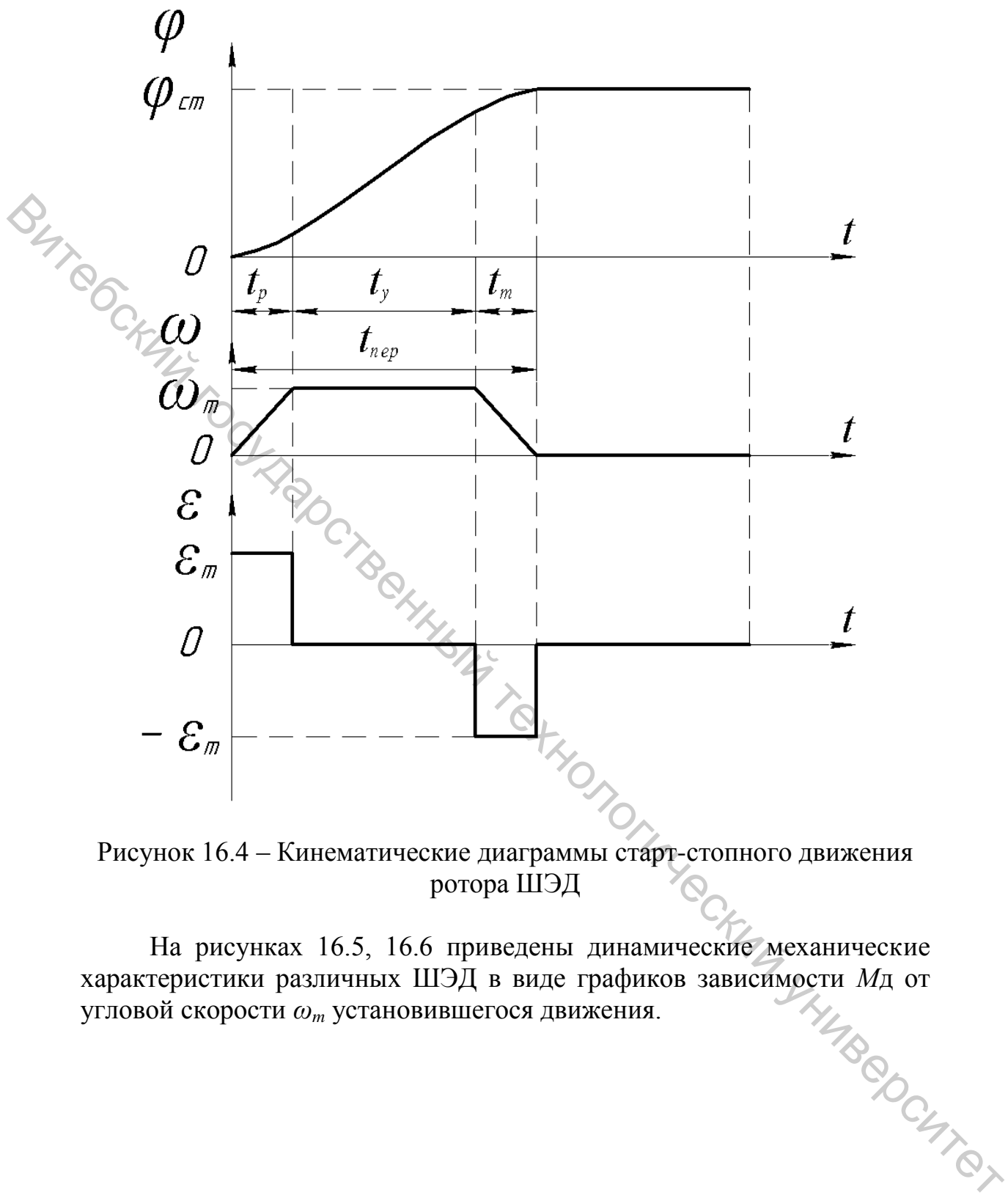


Рисунок 16.4 – Кинематические диаграммы start-стопного движения ротора ШЭД

На рисунках 16.5, 16.6 приведены динамические механические характеристики различных ШЭД в виде графиков зависимости M_d от угловой скорости ω_m установившегося движения.

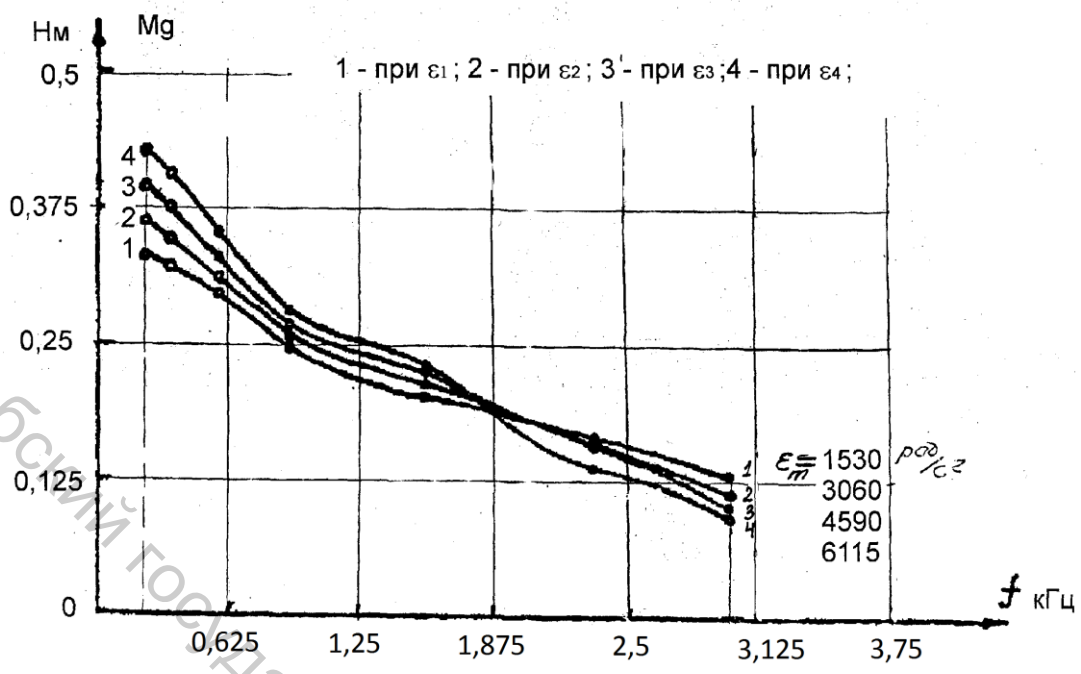


Рисунок 16.5 – Графики механических характеристик ДШ-200-0,5

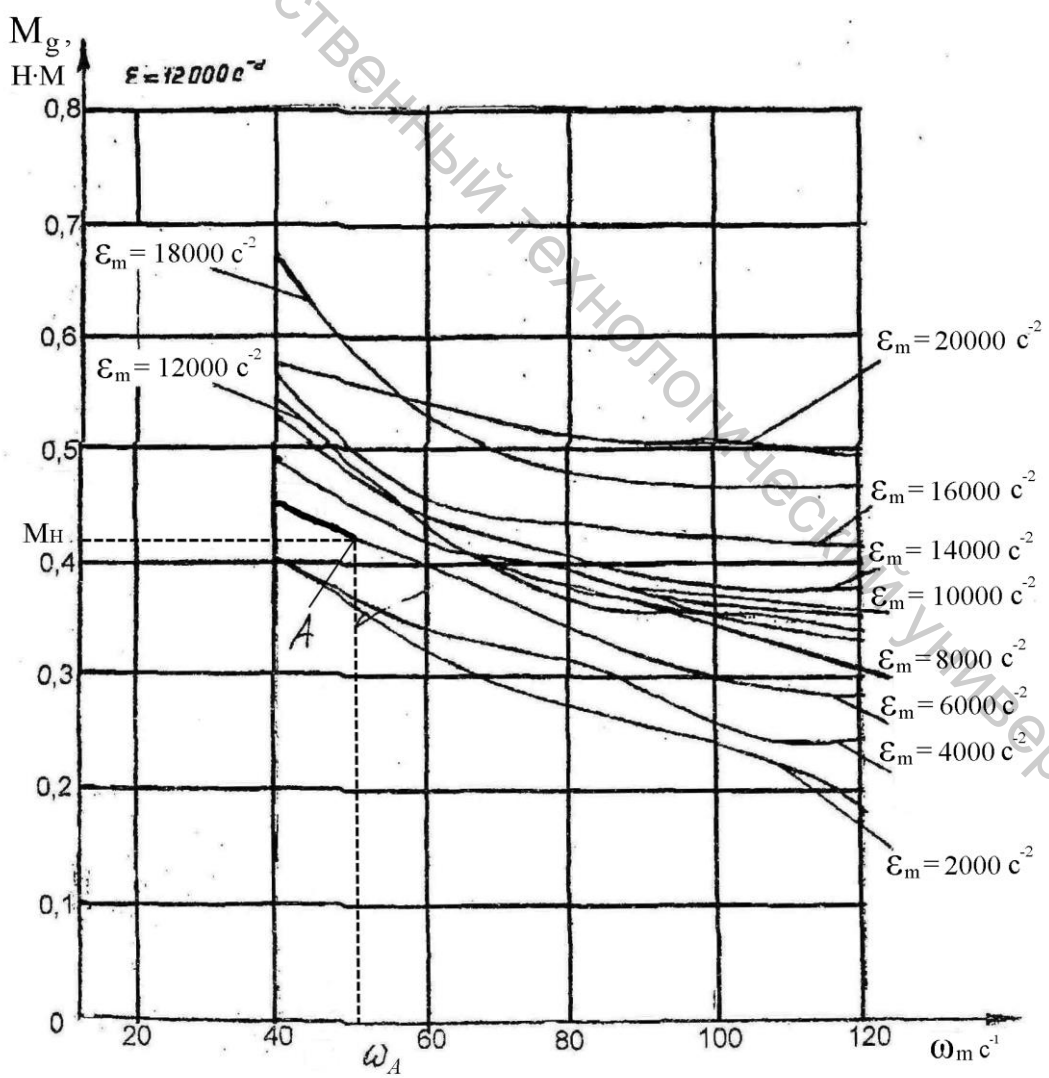


Рисунок 16.6 – Механические характеристики ДШИ-200-3

17 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

17.1 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.

Рассмотрим структуру плоских механизмов с двумя степенями подвижности, применяемых в швейных полуавтоматах. Эти механизмы называют координатными.

На рисунке 17.1 показан четырехзвенный механизм, содержащий только поступательные пары. Степень подвижности механизма определяется из структурной формулы для механизмов 4-го семейства [1]: $w = 2n - p_5 = 2 \cdot 3 - 4 = 2$. 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. 17.2) (тросом, зубчатым ремнем), реечный механизм (рис. 17.3), винтовой механизм (рис. 17.4). В механизме привода с гибким тросом (рис. 17.2) 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. Верхняя ветвь тросика огибает ролик 2 и крепит-

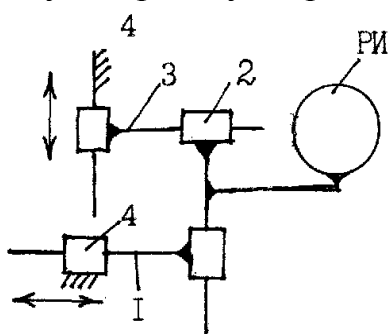


Рисунок 17.1

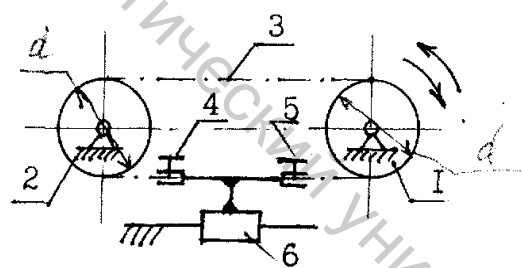


Рисунок 17.2

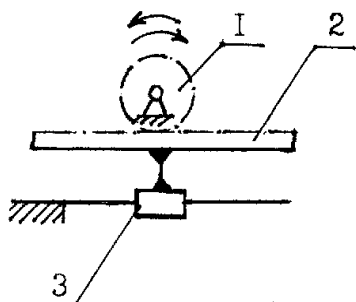


Рисунок 17.3

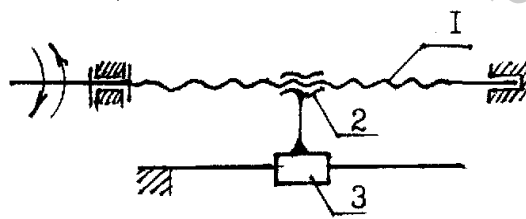


Рисунок 17.4

ся винтом 4 к ползуну 6. Нижняя ветвь 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 (рис. 17.3) вал шестерни 1 приводится во вращение от шагового электродвигателя, а зубчатая рейка 2 жестко связана с ведомым звеном 3 механизма.

В винтовом механизме (рис. 17.4) ходовой винт 1 приводится во вращение шаговым электродвигателем, а гайка 2 жестко связана с ведомым звеном 3.

На рисунке 17.5 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 рисунке 17.6. 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 подвижных и неподвижных блоков. Звено 9 образует поступательную пару с неподвижным звеном и может приводиться в движение любым из механизмов, показанных на рисунках 17.2 – 17.4.

Рассмотрим примеры исполнительных механизмов машин-автоматов легкой промышленности.

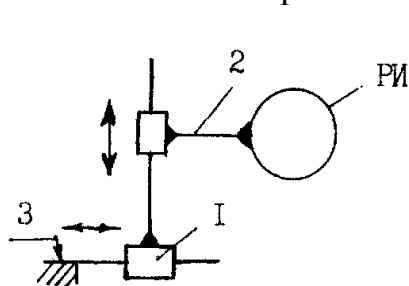


Рисунок 17.5

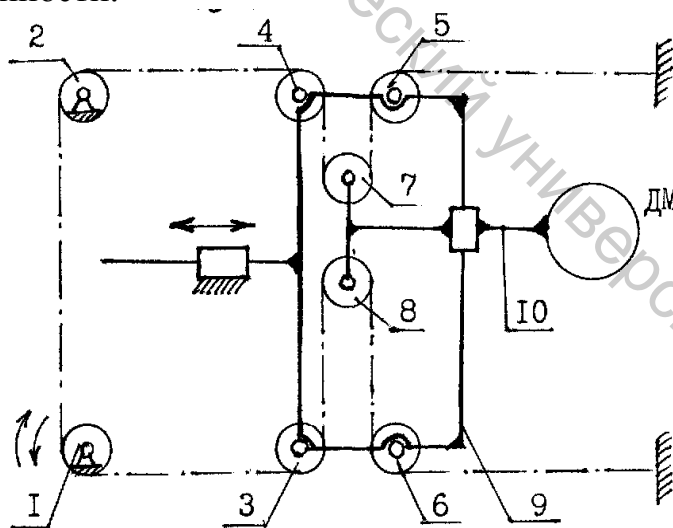


Рисунок 17.6

17.2 Механизм подачи материала швейного полуавтомата фирмы USM

На рисунке 17.7 приведена кинематическая схема механизма подачи материала швейного полуавтомата английской фирмы *USM (United Shoe Machinery)*. На этой схеме и других (рис. 17.8, 17.9) детали, образующие одно звено механизма, обозначены одной и той же цифрой с индексами в виде 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 бв, 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 бв с материалом. Перемещение вдоль оси *x* сообщается кассете бв от шагового электродвигателя 4а, установленного на каретке 3в, через зубчатую передачу 4б-5а и реечную передачу 5б-6а. Рейка 6а жестко связана с ползунами бб, скользящими по направляющей 3н. Кассета бв жестко связана с ползунами бб и перемещается вместе с рейкой 6а вдоль оси *x*.

В рассмотренном устройстве механизм перемещения выполнен по схеме рисунка 17.5. Звену 1 на рисунке 17.5 соответствует каретка 3в (на рисунке 17.7), получающая движение от ШЭД через реечный механизм и зубчатую передачу. Звену 2 и рабочему инструменту РИ на рисунке 17.5 соответствуют ползуны бб и кассета бв. На рисунке 17.7 привод ползунов бб осуществляется от ШЭД, установленного на каретке через реечный механизм.

17.3 Механизм подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1

На рисунке 17.8 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 пальцы 9б, которым сообщается движение вдоль осей *x* и *y* относительно швейной головки 10. В результате сложения этих движений получается сложный рисунок вышивки.

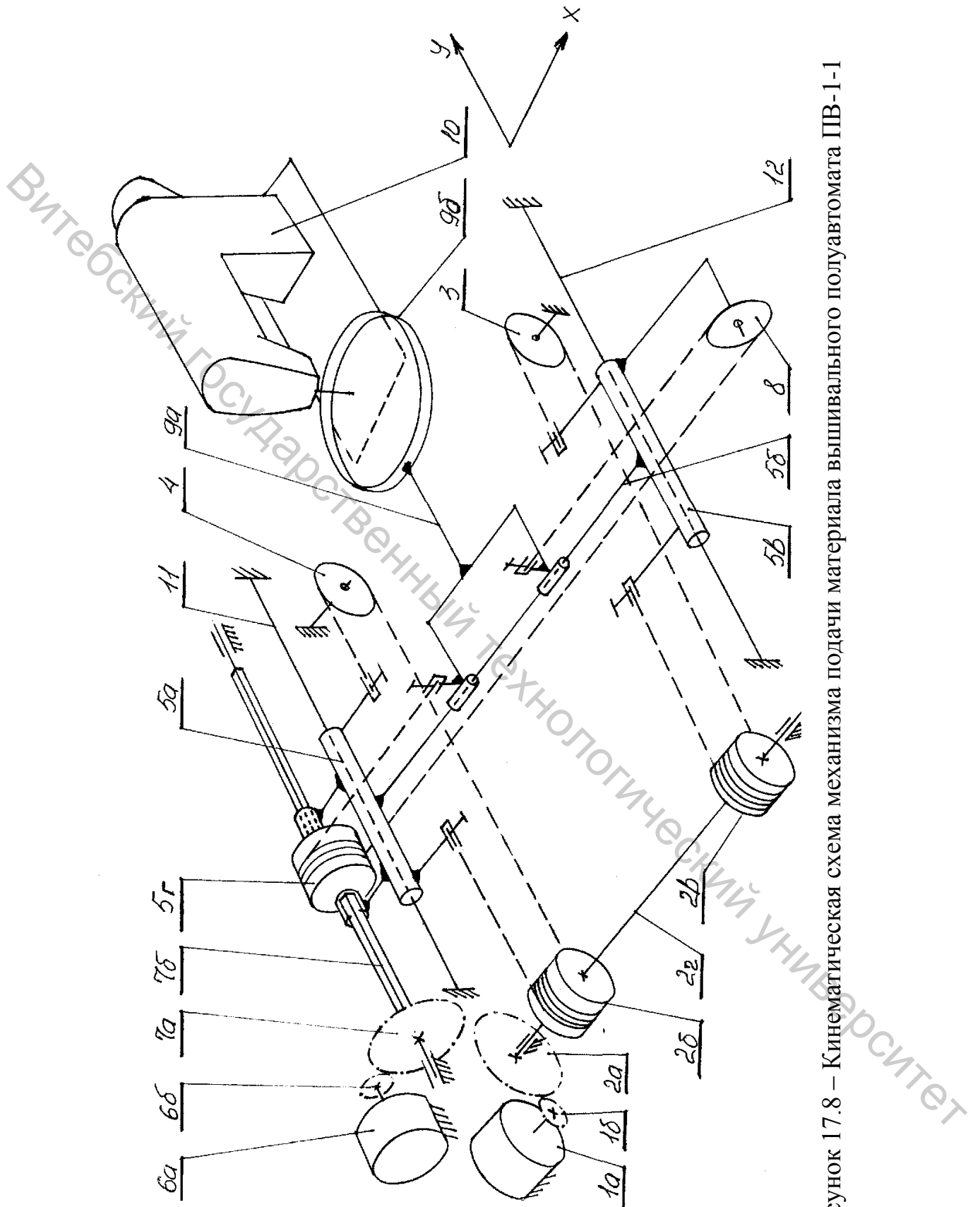


Рисунок 17.8 – Кинематическая схема механизма подачи материала вышивального полуавтомата ПВ-1-1

Перемещение вдоль оси y сообщается пальцам 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 пальцы 9б.

Перемещение вдоль оси x сообщается пальцам 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 пальцы 9б.

В рассмотренном устройстве механизм перемещения выполнен по схеме рисунка 17.5. Звену 1 на рисунке 17.5 соответствует траверса 5а на рисунке 17.7. Звену 2 на рисунке 17.5 соответствует каретка 9а на рисунке 17.7. Приводы траверсы и каретки выполнены по схеме рисунка 17.2. При этом удалось избежать размещения шагового электродвигателя и привода на траверсе за счет осевого перемещения барабана 5г относительно вала 7б.

17.4 Исполнительные механизмы вырубочного прессы-автомата

На рисунке 17.9 приведена кинематическая схема исполнительных механизмов прессы-автомата для вырубки деталей низа обуви из листовых материалов. 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 зубчатопеременную передачу 1б–2а, винтовую передачу 2б–3а. Плита 3в перемещается по поверхности стола станины 12 прессы-автомата.

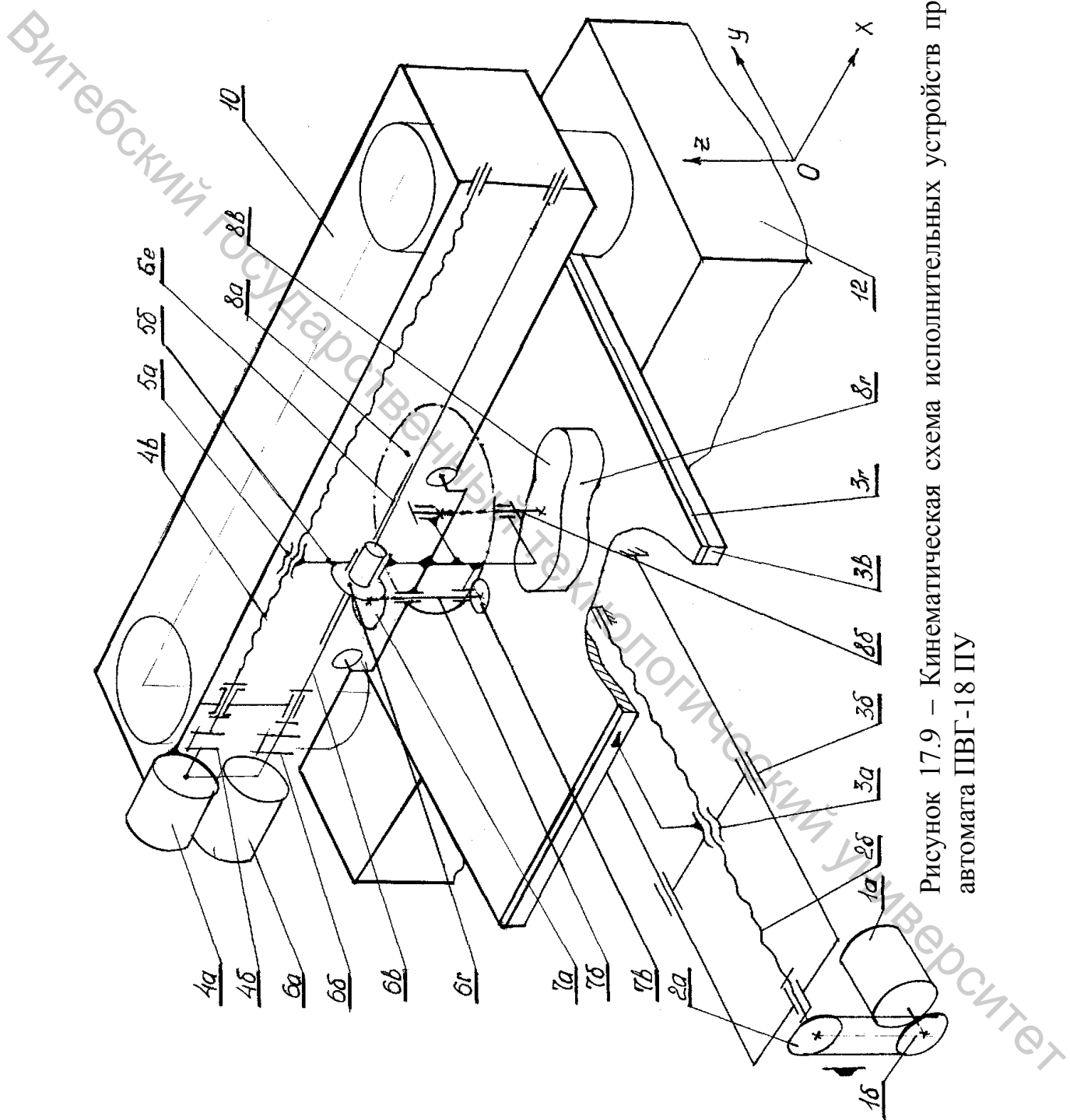


Рисунок 17.9 – Кинематическая схема исполнительных устройств пресс-автомата ПВГ-18 ПУ

Поступательное движение каретке 5б сообщается шаговым электродвигателем 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 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 y) и приводится в движение от винтового механизма. Механизм перемещения резака 8б имеет две степени подвижности: вдоль оси x и вращение вокруг оси z. Он выполнен по схеме, аналогичной схеме на рисунке 17.5, получаемой заменой поступательной пары, образуемой звеньями 1-2, на вращательную.

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

На рисунке 17.10 приведена кинематическая схема механизма подачи материала швейного полуавтомата ПШ-1. 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 x и y относительно швейной головки 7. В результате сложения этих движений получается требуемый контур соединительных ниточных строчек.

Перемещение вдоль оси y 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 x 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 рисунка 17.5. Звену 1 на рисунке 17.5 соответствует траверса

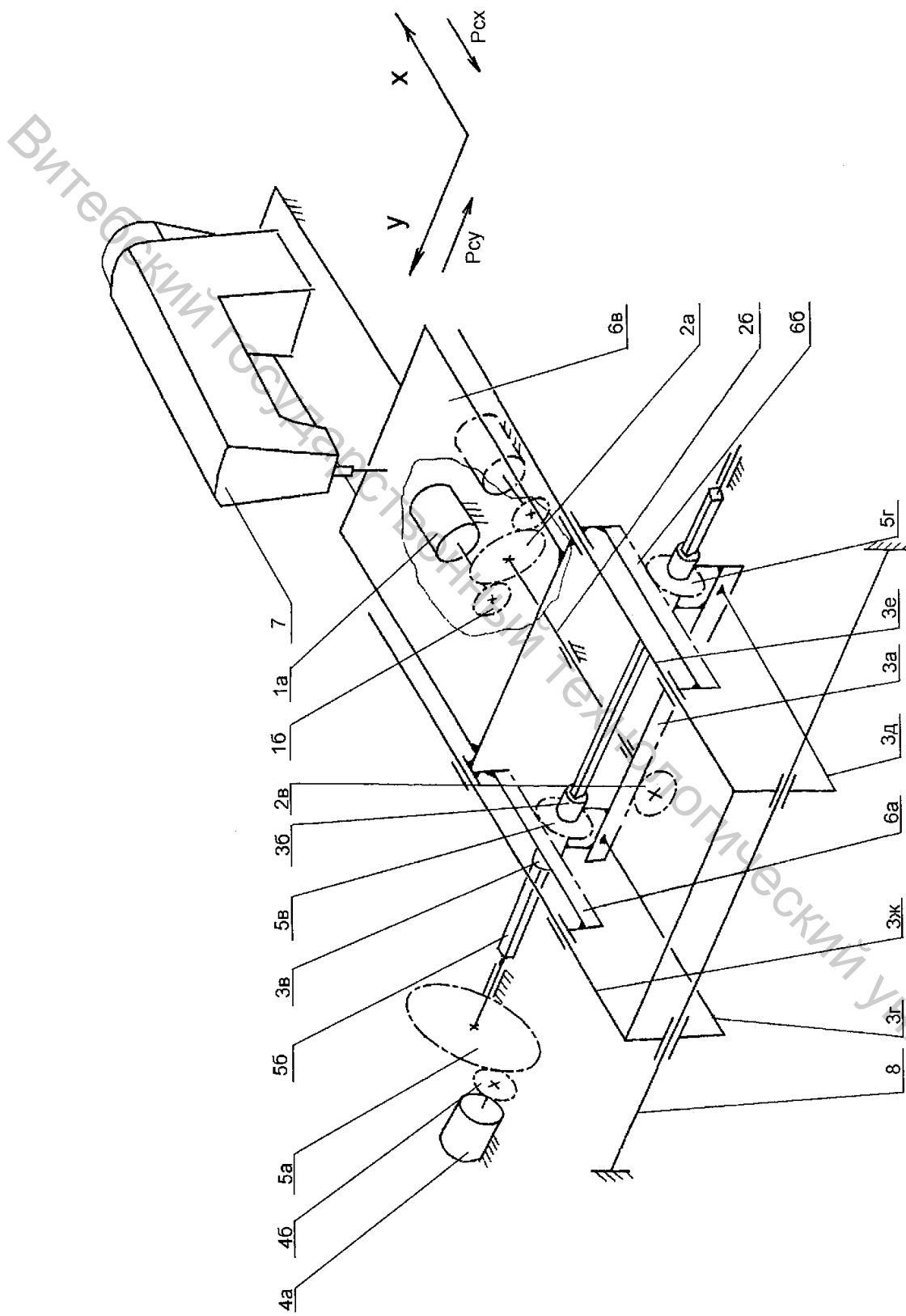


Рисунок 17.10 – Кинематическая схема координатного устройства полуавтомата для сборки заготовки верха обуви

3ж-3е, звену 2 соответствует каретка ба-бб. На рисунке 17.10 приводы траверсы и каретки выполнены по схеме на рисунке 17.3. При этом удалось избежать размещения шагового электродвигателя на траверсе за счет осевого перемещения шестерен 5в, 5г относительно вала 5б квадратного сечения.

18 ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Шаговые электроприводы имеют следующие особенности по сравнению с электроприводами технологических машин, рассмотренными в [22]:

– 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.

18.1 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, исключая проскальзывание (зубчатоременные или с тросиками, имеющими суммарный угол обхвата ведущего барабана не менее 6π);

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

18.2 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 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 (рис. 14.2) угловая дискрета резака 4 должна обеспечить точность позиционирования вырубаемых деталей $\Delta S = 0,1$ мм, что достигается угловой дискретой ΔZ :

$$\Delta Z \leq \frac{\Delta S}{R_{\max}} [\text{rad}],$$

где R_{\max} – максимальное расстояние от центра резака (рис. 14.1) до наиболее удаленной точки режущей кромки.

После выбора дискреты общее передаточное число определяется по формулам

$$U_{\text{общ}} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta S} \left[\frac{\text{rad}}{\text{м}} \right];$$

$$U_{\text{общ}} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta\psi};$$

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

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

$$U_{\text{общ}} = U_1 \cdot U_2 \dots U_n$$

В качестве составных частей могут использоваться механизмы, приведенные на рисунках 17.2...17.6. Для механизмов с гибкой связью в виде проволочных тросиков (рис. 17.2) передаточное число определяется из соотношения

$$U = \frac{2}{d} \left[\frac{\text{rad}}{\text{м}} \right],$$

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

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

Для реечных передач (рис. 17.3) передаточное число определяется из формулы $U = \frac{2}{d_o}$, где d_o – делительный диаметр шестерни. В свою очередь максимальное значение U ограничено минимальным значением делительного диаметра шестерни $d_o = m \cdot Z$, где m – модуль, мм; Z – число зубьев шестерни. Приняв $m = 0,8$ мм; $Z_{\min} = 16$, получим $d_o = 12,8$ мм = 0,0128 м. При этом $U_{\max} = \frac{2}{0,0128} = 156,25 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$.

Передаточное число винтовых передач определяется из формулы $U = \frac{2\pi}{h} \frac{\delta}{i}$, где h – шаг резьбы. Максимальное значение U ограничивается величиной шага резьбы. Так, при $h = 0,005$ м имеем $U = \frac{6,28}{0,005} = 1256 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$.

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 $U = 2 \dots 4$.

18.3 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

$$M_o - M_{cnp} = I_{np} \frac{d\omega}{dt}, \quad (18.1)$$

где M_o – момент ШЭД;

M_{cnp} – приведенный к ротору ШЭД момент сил сопротивления;

I_{np} – приведенный к ротору ШЭД момент инерции масс механизма;

ω – угловая скорость ротора ШЭД.

Момент двигателя M_o может быть представлен в виде аналитической зависимости M_o в функции угловой скорости ω ротора,

полученной путем аппроксимации механических характеристик (рис. 16.3, 16.5 и 16.6).

Например, динамические механические характеристики шагового электродвигателя типа ДШИ 200-3 описываются дробно-рациональной функцией вида [23]:

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

где значения коэффициентов a и v для различных ε_m приведены в таблице 18.1.

Таблица 18.1 – Коэффициенты a и v динамических механических характеристик ДШИ 200-3

Коэф- фициенты	$\varepsilon_m, \text{ рад/с}^2$									
	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
a	1,38	1,67	1,50	1,58	1,58	1,44	1,45	1,32	1,32	1,56
$v \cdot 10^{-3}$	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 [22]:

$$M_{cnp} = \sum_{i=1}^N \frac{M_{ci}}{U_{1-i} \cdot \eta_{1-i}} + \sum_{j=1}^M \frac{P_{cj}}{U_{1-j} \cdot \eta_{1-j}}, \quad (18.2)$$

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;

η_{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;

η_{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]:

$$I_{np} = \sum_{i=1}^N \frac{I_i}{U_{1-i}^2} + \sum_{j=1}^M \frac{m_j}{U_{1-j}^2}, \quad (18.3)$$

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 (18.2).

18.4 Подбор шагового электродвигателя при старт-стопном движении

Рассмотрим подбор шагового электродвигателя при старт-стопном движении ведомого звена и ротора (рис. 16.4). Поставим задачу определить такие параметры закона движения, при которых время перемещения t_{nep} будет минимально.

По аналогии с формулой (14.7), полученной для параметров закона движения ведомого звена электропривода, движущегося поступательно, для вращательного движения ротора ШЭД получим

$$t_{nep} = \frac{\varphi_{cm}}{\omega_m} + \frac{\omega_m}{\varepsilon_m}, \quad (18.4)$$

где $\varphi_{cm} = S_{cm} \cdot U_{общ}$, S_{cm} – шаг перемещения ведомого звена, движущегося поступательно.

Из (18.4) видно, что t_{nep} является функцией двух переменных ε_m и ω_m .

Поставим задачу минимизации t_{nep} , то есть определения таких значений ε_m и ω_m , при которых бы t_{nep} было бы минимальным, и выполнялись следующие ограничения:

$$\omega_{mmin} \leq \omega_m \leq \omega_{mmax}, \quad (18.5)$$

$$\varepsilon_{mmin} \leq \varepsilon_m \leq \varepsilon_{mmax}, \quad (18.6)$$

$$M_{\partial} \geq M_{ср} + I_{np} \cdot \varepsilon_m, \quad (18.7)$$

где $\omega_{mmin}, \omega_{mmax}$ – предельные значения ω_m для семейства динамических механических характеристик ШЭД (для рисунка 16.6 $\omega_{mmin} = 40$ рад/с; $\omega_{mmax} = 120$ рад/с); $\varepsilon_{mmin}, \varepsilon_{mmax}$ – предельные значения ε_m для семейства динамических характеристик ШЭД (для рисунка 16.6 $\varepsilon_{mmin} = 2000$ рад/с²; $\varepsilon_{mmax} = 20000$ рад/с).

Ограничение (18.7) вытекает из уравнения движения (18.1), записанного для участка разгона ротора ШЭД (рис. 16.4). Поставленная задача может быть решена известными методами оптимизации на ЭВМ [24].

Рассмотрим более простой метод минимизации (18.4), не требующий применения ЭВМ.

Пусть имеются графики динамических механических характеристик ШЭД (рис. 16.6).

Сначала определим такую механическую характеристику с наибольшим ε_m , для которой выполняется ограничение (18.7). Подбор начинают с механической характеристики, соответствующей максимальному значению $\varepsilon_m = 20000 \text{ рад/с}^2$. Подставим в правую часть неравенства (18.7) $\varepsilon_m = 20000 \text{ рад/с}^2$ и определим момент нагрузки $M_n = M_{cnp} + I_{np} \cdot 20000$. Затем по оси ординат графиков отложим расстояние M_n и проведем прямую, параллельную оси абсцисс. Если прямая пересечет график $\varepsilon_m = 20000 \text{ рад/с}^2$, то это означает, что неравенство (18.7) удовлетворяется для той части кривой, которая лежит выше прямой $M_\sigma = M_{нагр}$. Если же прямая не пересекает кривую, а лежит выше, то неравенство (18.7) не удовлетворяется. В этом случае проверяют выполнение (18.7) для кривой, соответствующей меньшему значению $\varepsilon_m = 16000 \text{ рад/с}^2$. Эту процедуру продолжаем до тех пор, пока не определится кривая ε_{mi} , которая пересекается с прямой $M_n = M_{cnp} + I_{np} \cdot \varepsilon_{mi}$. Точку пересечения обозначим А (рис. 16.6). На участке кривой ε_{mi} , расположенной слева от точки А, удовлетворяется ограничение (18.7). Назовем этот участок рабочим и выделим жирной линией.

Далее определим, при каком значении ω_m на рабочем участке кривой ε_{mi} будем иметь минимальное $t_{пер}$. Рассматривая (18.4) как функцию одной переменной ω_m при $\varepsilon_m = \varepsilon_{mi}$, определим такое значение ω_m^* , при котором $t_{пер} = t_{пер min}$:

$$\frac{dt_{пер}}{d\omega_m} = -\frac{\varphi_{cm}}{\omega_m^2} + \frac{1}{\varepsilon_{mi}} = 0.$$

Откуда:
$$\omega_m^* = \sqrt{\varphi_{cm} \cdot \varepsilon_{mi}} \quad (18.8)$$

Если полученное из (18.8) значение ω_m^* попадает на рабочий участок кривой ε_{mi} , то в качестве расчетного значения ω_m берется

ω_m^* . Если ω_m^* лежит на участке кривой ε_{mi} , расположенном справа от рабочего участка, то в качестве расчетного значения ω_m берется ω_A . Если же $\omega_m^* \leq \omega_{m\min} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$, то в качестве расчетного значения ω_m берется $\omega_{m\min} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$. Подставляя ε_{mi} и ω_m в формулу (18.4), получим минимальное значение $t_{\text{пер}}$. При известном $t_{\text{пер}}$ для швейного полуавтомата со старт-стопным движением ведомого звена по формуле (14.13) можно определить скорость шитья n (стежков/минуту).

19 СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

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

19.1 Структура следящих систем, область применения

На рисунке 19.1 приведена блок-схема структуры следящей системы, включающей следующие элементы.

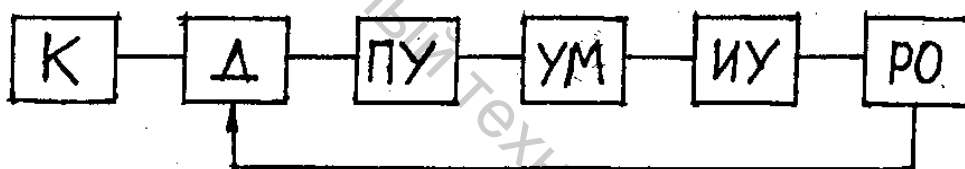


Рисунок 19.1 – Блок-схема структуры следящей системы управления

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.

19.2 Схема следящей системы швейного полуавтомата

Рассмотрим схему следящей системы управления швейного полуавтомата для прокладывания краевых соединительных строчек на деталях верха обуви, соединяемых внахлестку (рис. 19.2).

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

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 (вид А на рисунке 19.2) 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: $p_a = p_b$ и поршень 8, а, следовательно, рамка 11, неподвижны.

Витебский государственный технологический университет

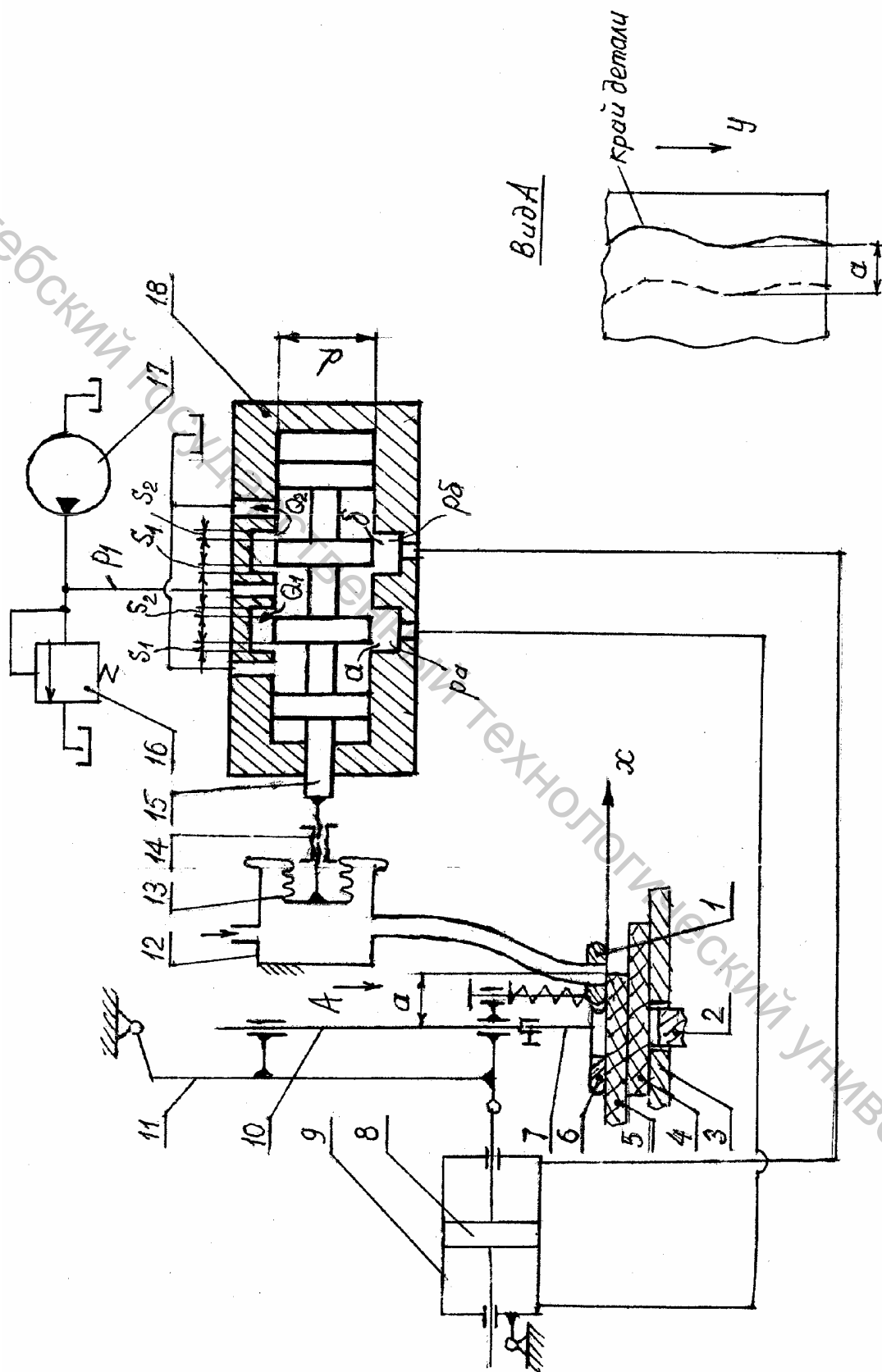


Рисунок 19.2 – Схема следящей системы управления швейного полуавтомата

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 $p_a > p_6$. 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 $p_6 > p_a$, поршень 8, рамка 11 и игла 7 смещаются влево вслед за краем детали 5.

19.3 Основные характеристики следящих систем

Основные характеристики следящей системы рассмотрим на примере швейного полуавтомата. Статическая ошибка слежения (рис. 19.3)

$$\Delta x_{cm} = \Delta x_2 - \Delta x_1, \quad (19.1)$$

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

Δx_1 – соответствующее смещение иглы и датчика 1.

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.

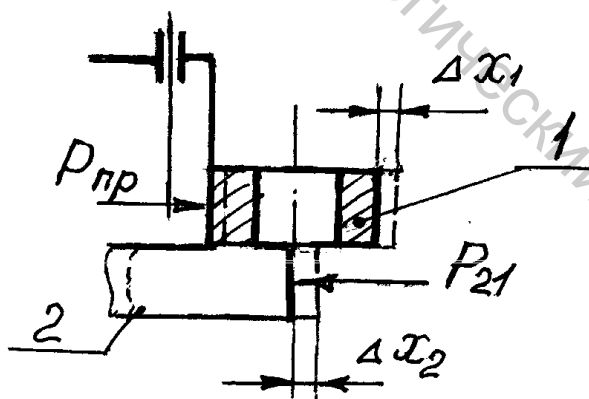


Рисунок 19.3 – К определению статических характеристик следящей системы управления: 1 – сопло; 2 – деталь

Кинематическая ошибка слежения определяется по той же формуле (19.1). Однако величины Δx_2 и Δx_1 определяются при $V_2 = const$.

Динамическая ошибка слежения определяется по формуле (19.1) 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:

$$k_N = \frac{N_{np}}{N_2},$$

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

P_{np} – приведенная к датчику 1 сила, развиваемая на штоке гидроцилиндра;

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

19.4 Уравнение статических характеристик следящего гидропривода

В процессе работы следящего гидропривода (рис. 19.2) 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 [25]

$$\Delta p = \frac{\rho}{2\mu^2 \cdot f^2} \cdot Q^2, \quad (19.2)$$

где ρ – плотность масла, $\rho \approx 900 \text{ кг/м}^3$;

μ – коэффициент расхода, определяемый опытным путем, $\mu = 0,65 \dots 0,75$; $\mu^2 \approx 0,5$;

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

Q – объемный расход масла ($\text{м}^3/\text{с}$).

С учетом приведенных пояснений формула (19.2) принимает вид:

$$\Delta p = \frac{900 \cdot Q^2}{(b \cdot S)^2}. \quad (19.3)$$

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 a гидрораспределителя;

Q_2 – расход масла, поступающего из полости b 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 a ;

P_{δ} – давление масла в полости б.

Давление масла, поступающего на слив, принимаем равным нулю.

$$p_1 - p_a = \frac{900 \cdot Q_1^2}{(b \cdot S_2)^2}; \quad (19.4)$$

$$p_a = \frac{900 \cdot (Q_1 - Q_p)^2}{(b \cdot S_1)^2}; \quad (19.5)$$

$$p_1 - p_{\delta} = \frac{900 \cdot (Q_2 + Q_p)^2}{(b \cdot S_1)^2}; \quad (19.6)$$

$$p_{\delta} = \frac{900 \cdot Q_2^2}{(b \cdot S_2)^2}. \quad (19.7)$$

Из уравнений (19.4), (19.5), (19.6), (19.7) определим:

$$Q_1 = \frac{b \cdot S_2}{30} \sqrt{p_1 - p_a}; \quad (19.8)$$

$$Q_1 - Q_p = \frac{b \cdot S_1}{30} \sqrt{p_a}; \quad (19.9)$$

$$Q_2 + Q_p = \frac{b \cdot S_1}{30} \sqrt{p_1 - p_{\delta}}; \quad (19.10)$$

$$Q_2 = \frac{b \cdot S_2}{30} \sqrt{p_{\delta}}. \quad (19.11)$$

Из уравнений (19.8), (19.9) и (19.10), (19.11) определим расход Q_p :

$$Q_p = \frac{b \cdot S_2}{30} \sqrt{p_1 - p_a} - \frac{b \cdot S_1}{30} \sqrt{p_a}; \quad (19.12)$$

$$Q_p = -\frac{b \cdot S_2}{30} \sqrt{p_{\delta}} + \frac{b \cdot S_1}{30} \sqrt{p_1 - p_{\delta}}. \quad (19.13)$$

Обозначим: $Q_p = F \cdot V_{II}$, где F – площадь сечения гидроцилиндра

V_{II} – скорость поршня 8.

С учетом этого уравнения (19.12) и (19.13) имеют вид

$$b \cdot S_2 \sqrt{p_1 - p_a} - b \cdot S_1 \sqrt{p_a} = 30F \cdot V_{II}. \quad (19.14)$$

$$-b \cdot S_2 \sqrt{\delta_a} + b \cdot S_1 \sqrt{\delta_1 - \delta_a} = 30F \cdot V_{\dot{r}} . \quad (19.15)$$

Обозначим: $P_1 = p_1 \cdot F$, $P_a = p_a \cdot F$, $P_0 = p_0 \cdot F$.

Получим из (19.14) и (19.15):

$$b \cdot S_2 \sqrt{P_1 - P_a} - b \cdot S_1 \sqrt{P_a} = 30F^{\frac{3}{2}} \cdot V_{\dot{r}} ; \quad (19.16)$$

$$-b \cdot S_2 \sqrt{P_a} - b \cdot S_1 \sqrt{P_1 - P_a} = 30F^{\frac{3}{2}} \cdot V_{\dot{r}} . \quad (19.17)$$

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 (19.16), (19.17) могут быть построены графики зависимостей $V_{\dot{r}} = f(S)$ для различных усилий на штоке $P = P_a - P_0$.

Задаются диапазоном изменения $S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$ и $P_{a\min} \leq P_a \leq P_{a\max}$. Выбирая из этого диапазона ряд значений S и P_a и определяя для каждой пары значений из уравнений (19.16), (19.17) значение $V_{\dot{r}}$, построим график зависимости $V_{\dot{r}} = f(S)$ при $P = 0$.

Аналогичным образом строятся графики $V_{\dot{r}} = f(S)$ при $P > 0$ и $P < 0$. Вид графиков показан на рисунке 19.4.

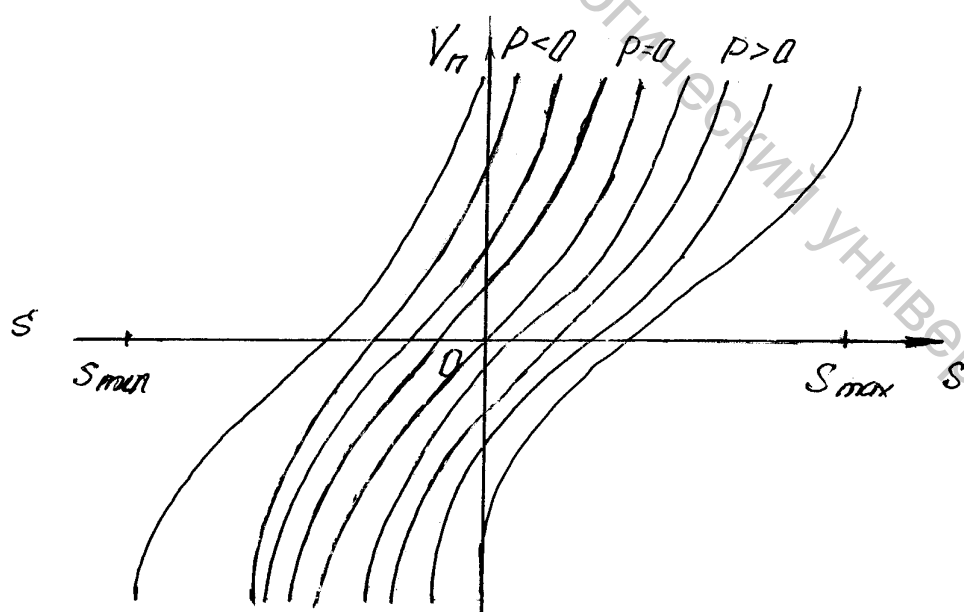


Рисунок 19.4 – Графики статических характеристик следящего гидропривода

19.5 Расчет характеристик пневмосистемы

К характеристикам пневмосистемы относятся зависимость абсолютного давления воздуха p в пневмокамере 12 (рис. 19.2) 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 (рис. 19.2) [26]:

$$dQ + i_m dm_m = dU + dL + idm, \quad (19.18)$$

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

dU – изменение внутренней энергии системы;

dL – механическая работа, совершаемая в системе;

i, i_m – соответственно энтальпия воздуха, содержащегося в пневмокамере и в магистрали;

dm, dm_m – 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 (19.18) принимает вид:

$$i_m dm_m = dU + idm. \quad (19.19)$$

Энтальпии i и i_m выразим через теплоемкость воздуха при постоянном давлении C_p и абсолютные температуры T_M воздуха в магистрали и T – в пневмокамере:

$$i = C_p T;$$

$$i_m = C_p T_m.$$

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_m и dU в (19.19):

$$C_p T_m dm_m = C_v m dT + C_p T dm. \quad (19.20)$$

Продифференцируем уравнение газового состояния $pV = mRT$:

$$mRdT = pdT + Vdp,$$

где p – абсолютное давление воздуха в пневмокамере, R – газовая постоянная,

$$R = 287 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}.$$

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 (19.20) принимает вид

$$nRT_m dm_m = Vdp + nRT dm. \quad (19.21)$$

Выразим dm_m и dm через расход Θ_i воздуха из магистрали в пневмокамеру и расход Θ из пневмокамеры в атмосферу через сопло 1 (рис. 19.2):

$$dm_i = \Theta_i dt, \quad (19.22)$$

$$dm = \Theta dt. \quad (19.23)$$

Расход Θ_i выражается формулой

$$\Theta_i = \begin{cases} \frac{p_i \mu \cdot f_1 B \varphi(\varepsilon_1)}{\sqrt{T_i}}, & \text{а̃ñëè } \varepsilon_1 > \varepsilon_{\varepsilon\delta} \\ \frac{p_i \mu \cdot f_1 B_{\varepsilon\delta}}{\sqrt{T_i}}, & \text{а̃ñëè } \varepsilon_1 \leq \varepsilon_{\varepsilon\delta} \end{cases},$$

где p_m – давление воздуха в магистрали;
 f_1 – площадь сечения входного отверстия в пневмокамере;
 μ – коэффициент расхода;
 $B = 0,156 \text{ с К}^{1/2}/\text{М}$;
 $B_{кр} = 0,04 \text{ с К}^{1/2}/\text{М}$;

$$\varepsilon_1 = \frac{p}{p_m}; \quad \varphi(\varepsilon_1) = \sqrt{\varepsilon_1^n - \varepsilon_{\varepsilon\delta}^n};$$

n – показатель адиабаты, $n = 1,4$.

Расход Θ выражается формулой

$$\Theta = \begin{cases} \frac{p \mu \cdot f_2 B \varphi(\varepsilon_2)}{\sqrt{T}}, & \text{а̃ñëè } \varepsilon_2 > \varepsilon_{\varepsilon\delta} \\ \frac{p_2 \mu \cdot f_2 B_{\varepsilon\delta}}{\sqrt{T}}, & \text{а̃ñëè } \varepsilon_2 \leq \varepsilon_{\varepsilon\delta} \end{cases},$$

где f_2 – площадь сечения сопла;

$$f_2 = \frac{\pi r^2}{2} - r + \sqrt{r^2 - x^2} \cdot x; \quad (19.24)$$

r – радиус сечения круглого сопла;

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

$$\varepsilon_2 = \frac{p_a}{p}; \quad \varphi(\varepsilon_2) = \sqrt{\varepsilon_2^{\frac{2}{n}} - \varepsilon_2^{\frac{n+1}{n}}}.$$

После подстановки в уравнение (19.21) приведенных в (19.22), (19.23) значений dm_m и dm получим:

$$dp = \frac{nR T_i \Theta_i - T \Theta dt}{V}.$$

Принимая $T_m = T$, получим:

$$dp = \frac{nRT \Theta_i - \Theta dt}{V}. \quad (19.25)$$

Задаваясь рядом значений x в (19.24) и решая уравнение (19.25) численным методом для каждого x получим семейство зависимостей $p = f(t)$.

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

$$S = (p - p_a) F \cdot k,$$

где p_a – атмосферное давление воздуха;

F – площадь сильфона, воспринимающая избыточное давление воздуха;

k – коэффициент упругости чувствительного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – Москва : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1975. – 640 с.
2. Основы конструирования и расчета типовых машин и аппаратов легкой промышленности / Н. Н. Архипов [и др.]. – Москва : Машгиз, 1963. – 599 с.
3. Бермант, А. Ф. Краткий курс математического анализа для втузов / А. Ф. Бермант, И. Г. Араманович. – Москва : Наука, 1967. – 736 с.
4. Вибрация и шум в текстильной и легкой промышленности (измерения, характеристики и методы борьбы) / Я. И. Коритыцкий [и др.]. – Киев : Легкая индустрия, 1974. – с.
5. Пановко, Я. Г. Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко. – Москва : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. – 240 с.
6. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – Москва : Физматгиз, 1959. – 439 с.
7. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов : учебник для вузов / В. И. Феодосьев. – 9-е изд. перераб. – Москва : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 512 с.
8. Сункуев, Б. С. Системы автоматизированного проектирования машин : учебное пособие для студентов спец. «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / Б. С. Сункуев, В. Л. Шарстнев, А. Г. Кириллов ; УО «ВГТУ». – Витебск : 2004. – 112 с.
9. Шаумян, Г. А. Автоматы и автоматические линии / Г. А. Шаумян. – Ленинград : Машгиз, 1961. – 552 с.
10. Капустин, И. И. Машины-автоматы и автоматические линии в швейном и обувном производствах : учебное пособие для вузов / И. И. Капустин, И. И. Галынкер. – Москва : Легкая индустрия, 1966. – 422 с.
11. Литьевые машины и агрегаты в обувной промышленности : методическая разработка для студентов спец. Т 05.05.01, Т 17.04.01 и Т 11.03. – Витебск : Министерство образования РБ, ВГТУ, 1998.
12. Волчкевич, Л. И. Надежность автоматических линий / Л. И. Волчкевич. – Москва : Машиностроение, 1969. – 305 с.
13. 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.
14. Методические указания по разделу «Дискретные системы управления» курса «Автоматизация технологических процессов». Ч. 1, 2 / ВТИЛП ; сост. Л. В. Иванова. – Витебск, 1986.

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

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

17. 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.

18. 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.

19. 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.

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

21. 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.

22. Сункуев, Б. С. Расчет и конструирование машин и аппаратов : учебник / Б. С. Сункуев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2014. – 169 с.

23. 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.

24. Сункуев, Б. С. Синтез механизмов : учебное пособие / Б. С. Сункуев. – Витебск : ВГТУ, 2001. – 84 с.

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

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

Учебное издание

Сункуев Борис Семенович

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ
ТИПОВЫХ МАШИН ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Учебник

Редактор А.Г. Кириллов
Технический редактор И.А. Данилова
Корректор Е.М. Богачева
Компьютерная верстка И.А. Данилова

Подписано в печать _____. Формат _____. Бумага офсетная № 1.
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Тираж _____ экз.
Заказ № _____.

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет» 210035, Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство № 02330/0494384 от 16.03.2009.