



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

ПРАКТИКУМ

по дисциплине

«Роботизированные технологические комплексы сборочного производства»

Автор
Ивацевич Ю.Б.

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Предлагаемый сборник является основой для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению Мехатроника и робототехника, при изучении дисциплины Роботизированные комплексы сборочного производства.

Автор

к.т.н., доцент
Ивацевич Ю.Б.





Оглавление

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	4
1.Технологичность деталей при сборке	4
2. Расчеты размерных цепей	6
3.Расчеты усилий при сборке	13
4.РАСЧЕТЫ АБЗОУ	17
5. Расчет поворотного стола.....	27
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	41
Лабораторная работа №1.....	41
Лабораторная работа №2.....	54
Лабораторная работа №3.....	66



ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Технологичность деталей при сборке

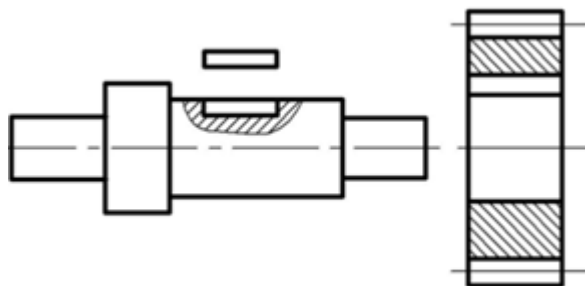


Рис.1 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

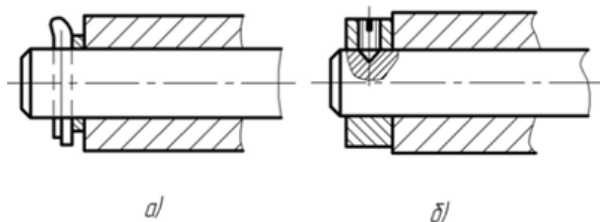


Рис.2 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

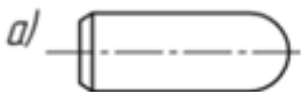


Рис.3 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

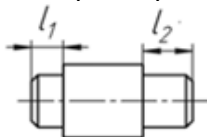


Рис.4 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке



Рис.5 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

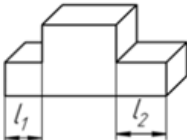


Рис.6 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

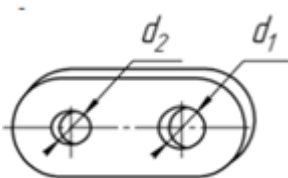


Рис.7 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

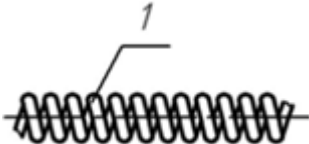


Рис.8 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке



Рис.9 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

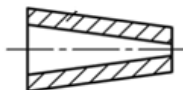


Рис.10 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке



Рис.11 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

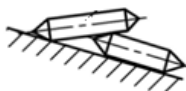


Рис.12 Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

13. Крышка реле крепится четырьмя винтами. Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке

14. Плата электронного устройства крепится болтами с пружинными шайбами. Предложить решение для улучшения технологичности детали при сборке.

2. Расчеты размерных цепей

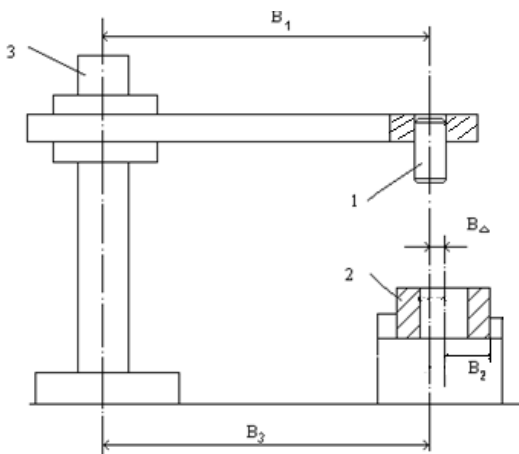


Рис.2.1

Размерные цепи при автоматической установке валика во втулку (рис. 2.1).



Необходимо реализовать автоматическую сборку валика и втулки Диаметр валика $d = 20^{-0,2}_{-0,04}$

Диаметр отверстия во втулке $D = 20^{+0,05}$ Наружный диаметр втулки $50^{+0,2}$, величина несоосности $B_2 = 0,1$ мм. на валике и втулке имеются фаски $1 \times 45^\circ$. Размерную цепь можно описать следующим выражением:

$$B_{\Delta} = B_3 + B_2 - B_1, \text{ где } B_{\Delta} = \Delta_{\max}.$$

B_1 – размер позиционирования захвата робота; B_2 – соосность отверстия с наружной поверхностью втулки, являющейся основной базой втулки; B_3 – размер, связывающий положение базирующего втулку приспособления с роботом. При наладке робота в режиме обучения добиваются соосного расположения валика в захвате и отверстия во втулке, регулируя размер B_1 . Затем окончательно этот размер заносят в память УЧПУ робота. Для автоматической сборки точность размера B_{Δ} T_{Δ} должна обеспечиваться методом полной взаимозаменяемости. Максимально допустимое отклонение от соосности определяется по формуле:

$\Delta_{\max} = 1/2 (D_{\min} - d_{\max}) + C_b + C_o$, где D_{\min} – минимальный диаметр отверстия втулки; d_{\max} – максимальный диаметр валика; C_b и C_o – ширина фаски соответственно вала и отверстия. Подставив данные в формулу, получим:

$\Delta_{\max} = 20 - (20 - 0,02) \times 1/2 + 1 + 1 = 2,01$ мм. Без фасок Допустимое отклонение составляло бы 0,01 мм. Допустимое отклонение B_{Δ} от соосности валика и втулки $B_{\Delta} = 0 \pm 2,01$ мм. При использовании метода полной взаимозаменяемости уравнение допусков:

$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3$, где T_{Δ} – допуск замыкающего звена B_{Δ} , T_1 , T_2 , T_3 – допуски звеньев размерной цепи. Если не использовать фаски, то $T_{\Delta} = 0,02$ мм; $T_2 = 0,2$ мм (допуск соосности $\pm 0,1$ мм); $T_3 = 0,01$ – допуск на тепловые деформации. В этом случае получим: $0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$, где T_1 – допуск позиционирования робота. Из полученного значения ясно, что ни при каком значении T_1 (всегда $T_1 > 0$) нельзя обеспечить автоматическую сборку данного изделия. Анализ уравнения показывает, что автоматическая сборка не осуществима при $T_2 = 0,2$ мм. Для реализации автоматической сборки втулку следует базировать не по наружному, а по внутреннему диаметру. В этом случае уравнение принимает следующий вид: $0,02 = T_1 + 0,01$, откуда $T_1 = 0,01$ мм. Следовательно, необходимо использовать робот с погрешностью позиционирования не более $\pm 0,05$ мм. При использовании фасок $T_{\Delta} = 2\Delta_{\max} = 4,02$ мм. Уравнение допусков принимает следующий вид: $4,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$, откуда $T_1 = 3,81$ мм., т.е можно использо-



вать робот с погрешностью позиционирования $\pm 1,9$ мм. Необходимо помнить, что при использовании фасок одна из деталей должна иметь возможность свободно перемещаться в горизонтальной плоскости на расстояние, равное ширине фасок.

На рис.2.2 показана схема установки детали в базовое приспособление.

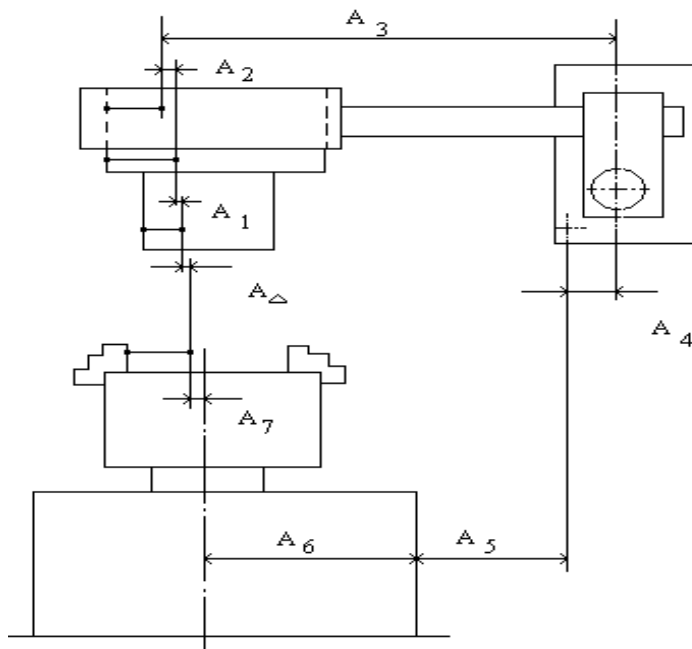


Рис. 2.2.. Схема установки детали в базовое приспособление.

Робот берет деталь из вспомогательного оборудования, вносит ее в рабочую зону приспособления так, чтобы ось детали совпала с осью раскрытых кулачков патрона. задвигает деталь в патрон, после чего подается команда на зажим кулачков автоматизированного патрона. Ввод детали в патрон возможен, если отклонение A_{Δ} от соосности позиционирования детали относительно оси патрона не превышает значения $A_{\Delta} = \frac{1}{2}(D-d)$, где D – диаметр раскрытия кулачков патрона; d – диаметр детали.

Если в момент установки размер A_{Δ} окажется больше этого предела, то при движении захвата робота вдоль оси деталь торцом упрется в патрон. Рассчитанное значение A_{Δ} является недостаточным для выявления допустимого отклонения. При наличии отклонения от соосности кулачки при закреплении детали будут



стремиться переместить деталь в новое положение и возникнут силы при передаче детали от робота в патрон. Сила может быть определена по формуле

$P = j A_{\Delta}$, где j – жесткость системы робот – заготовка – патрон.

При заданной жесткости и величине смещения можно сконструировать либо пружинный подвес базового приспособления, либо пружинный подвес захвата робота.

Размерная цепь описывается уравнением

$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_7$, где A_1 – отклонение от технологической базы детали. Устанавливаемой в патрон, и базы, определяющей положение детали в захвате робота; A_2 – отклонение от соосности поверхности детали в схвате, вызванное погрешностью установки детали в схвате A_{2y} и погрешностью центрирования схвата $A_{2ц}$; A_3 – расстояние от оси захвата робота до базы отсчета размеров при автоматическом перемещении робота по программе; A_4 – расстояние от базы отсчета размеров до основной базы робота, определяющее его положение относительно приспособления; A_5 – расстояние между приспособлением и роботом; A_6 – расстояние от оси патрона до основной базы приспособления; A_7 – отклонение от соосности кулачков патрона по отношению к оси патрона, вызванное погрешностью центрирования кулачков патрона $A_{7ц}$ и погрешностью установки патрона в приспособлении A_{7y} .

Размерная цепь A может быть отображена математически тремя уравнениями: уравнением размерной цепи в номиналах уравнением допусков этих размеров, которое соответствует методу достижения точности; уравнением средних отклонений размеров. При работе РТК значение A_{Δ} будет меняться в основном вследствие погрешностей позиционирования робота, тепловых деформаций, погрешностей установки детали в захвате. При работе РТК в автоматическом режиме необходимо обеспечить, чтобы каждую деталь робот устанавливал в патрон приспособления без поднастройки и регулировки, поэтому соосность A_{Δ} необходимо обеспечивать по методу полной взаимозаменяемости.

При полной взаимозаменяемости допуск замыкающего звена должен быть равен сумме полей допусков составляющих звеньев:

$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7$, где $T_1 - T_7$ – допуски размеров A соответствующего номера.

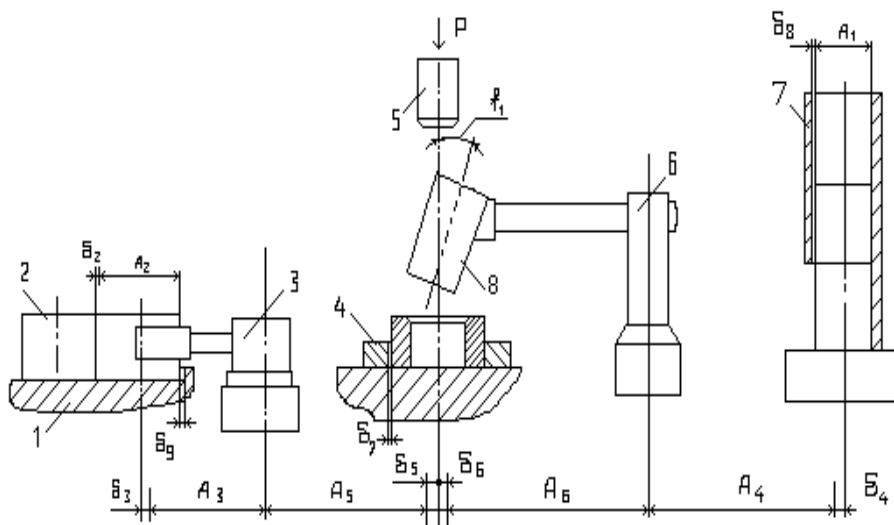


Рис. 2.3. Схема определения погрешностей при автоматической сборке

Рассмотрим структуру суммарной погрешности на примере автоматической сборки двух деталей – вала и втулки, имеющих соответственно размеры A_2 и A_1 . Сборка вала 8 и втулки 2 (рис. 2.3.) производится двумя промышленными роботами. Робот 3 переносит втулку из загрузочного устройства 1 в приспособление 4, где она базируется. Робот 6 захватывает вал в загрузочном устройстве 7 и перемещает его на расстояние A . При ходе толкателя 5 вниз удерживающее усилие схвата уменьшается и вал 8 направляется в отверстие втулки.

Вероятность сборки деталей 2 и 8 при заданном зазоре в соединении Δ зависит от величины суммарной погрешности $\Sigma\delta_i$. Чтобы обеспечить гарантированную сборку, необходимо соблюдение условия $\Sigma\delta_i \leq \Delta_{\Sigma}$. На рис.12 погрешности: δ_1 – изготовления базовой поверхности вала 8; δ_2 – изготовления базовой поверхности втулки 2; δ_3 – позиционирования руки робота 3 при захвате втулки; δ_4 – позиционирования руки робота 6 при захвате вала. δ_5 – погрешность позиционирования робота 3 при сборке; δ_6 – позиционирования робота 6 при сборке, δ_7 – регулировки установки базового приспособления относительно направления сборки, δ_8 – позиционирования вала в захватном устройстве 7, δ_9 – позиционирования втулки 2 в захватном устройстве 1; f_1 – угол перекоса деталей. Кроме того, необходимо учитывать погреш-



ности изготовления базовых поверхностей приспособления δ_{10} и базирования изделий в схвате δ_{11} , которые являются систематическими погрешностями. Погрешности позиционирования промышленных роботов могут быть случайными и систематическими, возникающими при неправильной установке робота или его элементов.

Задания:

1. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 12 мм, допуск диаметра $0...-0.08$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,027$ мм (см.рис 13).

2. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 15 мм, допуск диаметра $0...-0.08$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,043$ мм (см.рис 13).

3. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 18 мм, допуск диаметра $0...-0.33$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,052$ мм (см.рис 13).

4. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 30 мм, допуск диаметра $0...-0.39$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,039$ мм (см.рис 13).

5. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 10 мм, допуск диаметра $0...-0.08$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,018$ мм (см.рис 13).

6. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 6 мм, допуск диаметра $0...-0.06$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,08$ мм (см.рис 13).

7. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 8 мм, допуск диаметра $0...-0.06$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,09$ мм (см.рис 13).

8. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 20 мм, допуск диаметра $0...-0.09$ мм, допуск на диаметр отверстия $-0...+0,033$ мм (см.рис 13).

9. Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 24 мм,



допуск диаметра $0...-0.09$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,0233$ мм (см.рис 13).

10.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 30 мм, допуск диаметра $0...-0.011$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,039$ мм (см.рис 13).

11.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 32 мм, допуск диаметра $0...-0.011$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,039$ мм (см.рис 13).

12.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 32 мм, допуск диаметра $0...-0.011$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,016$ мм (см.рис 13).

13.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 35 мм, допуск диаметра $0...-0.011$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,0216$ мм (см.рис 13).

14.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 30 мм, допуск диаметра $0...-0.011$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,016$ мм (см.рис 13).

15.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 50 мм, допуск диаметра $0...-0.013$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,025$ мм (см.рис 13).

16.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 8 мм, допуск диаметра $0...-0.06$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,027$ мм (см.рис 13).

17.Выполнить анализ размерных связей при сборке валика и втулки со следующими характеристиками: Диаметр вала 6 мм, допуск диаметра $0...-0.06$ мм, допуск на диаметр отверстия – $0...+0,027$ мм (см.рис 13).

3.Расчеты усилий при сборке

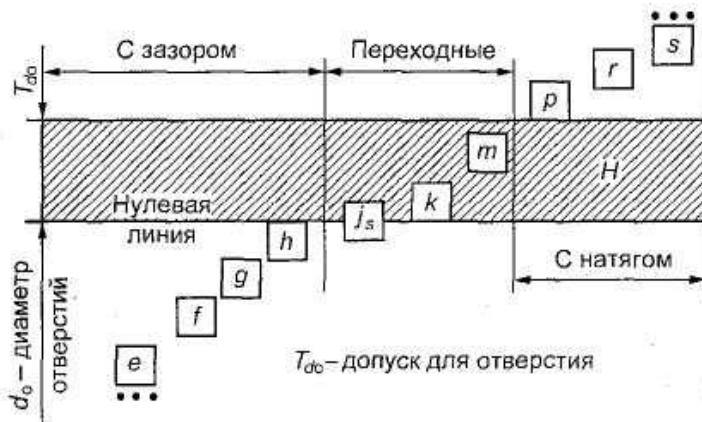


Рис.3.1.Распределение полей допусков

Пример расчета усилия при запрессовке. Втулка напрессовывается на сплошной вал, обеспечивая соединение 40 Н7/р6 наружный диаметр втулки $d_2 = 60$ мм, материал вала и втулки сталь 45, длина соединения $L = 30$ мм. Коэффициент трения $f = 0,1$.

Модули упругости $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^{11}$ н/м², коэффициент Пуассона $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$.

Размер вала $d = 40р6 \begin{pmatrix} +0,042 \\ +0,026 \end{pmatrix}$, размер отверстия $d = 40Н7 \begin{pmatrix} +0,025 \\ 0 \end{pmatrix}$.
 Определим максимальный натяг в соединении $N_{\max} = 42 - 0 = 42$ мкм.
 При сплошном вале коэффициент $C_1 = 0,7$. Отношение $d/d_2 = 40/60 = 0,66$. Следовательно, $C_2 = 2,9$.
 Рассчитаем удельное давление на поверхности контакта

$$k = \frac{42 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-3} \left(\frac{0,7}{2 \cdot 10^{11}} + \frac{2,9}{2 \cdot 10^{11}} \right)} = 58,3 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2.$$

Находим усилие запрессовки $P_{oc} = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 58,3 \cdot 10^6 = 21967 \text{ н} = 22 \text{ кН}$.

Необходимое усилие прессы $Q = mP_{oc} = 1,5 \cdot 22 = 33 \text{ кН}$.

Принимаем пресс П6320 с номинальным усилием 100 кН.



Задания:

1. Бронзовую втулку ($E=100$ ГПа, коэффициент трения 0,05) запрессовывают в отверстие корпуса из чугуна ($E=120$ ГПа коэффициент трения 0,07), наружный диаметр втулки $40^{+0,068}_{+0,043}$ мм, внутренний диаметр $30_{-0,2}$ мм, диаметр отверстия корпуса $40^{+0,39}$ мм, Шероховатость сопрягаемых поверхностей втулки и отверстия корпуса $R_z=6,2$ мкм. Длина запрессовки $L=4$ и шероховатостью поверхности 0 мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,08. Определить необходимое усилие запрессовки.

2. На стальной вал диаметром 60h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{=0,3}$ мм и внутренним диаметром 60U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Длина стержня и втулки 30 мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,1. Определить необходимое усилие запрессовки.

3. На стальной вал диаметром 60h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{=0,3}$ мм и внутренним диаметром 60U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Длина стержня и втулки 30 мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,5. Определить необходимое усилие запрессовки

4. Бронзовую втулку ($E=100$ ГПа, коэффициент трения 0,05) запрессовывают в отверстие корпуса из чугуна ($E=120$ ГПа коэффициент трения 0,07), наружный диаметр втулки $40^{+0,068}_{+0,043}$ мм, внутренний диаметр $30_{-0,2}$ мм, диаметр отверстия корпуса $40^{+0,39}$ мм, Шероховатость сопрягаемых поверхностей втулки и отверстия корпуса $R_z=6,2$ мкм. Длина запрессовки $L=4$ и шероховатостью поверхности 0 мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,08. Определить необходимое усилие запрессовки.

5. Бронзовую втулку ($E=100$ ГПа, коэффициент трения 0,05) запрессовывают в отверстие корпуса из чугуна ($E=120$ ГПа коэффициент трения 0,07), наружный диаметр втулки $50^{+0,068}_{+0,043}$ мм, внутренний диаметр $35_{-0,2}$ мм, диаметр отверстия корпуса $40^{+0,39}$ мм, Шероховатость сопрягаемых поверхностей втулки и отверстия корпуса $R_z=6,2$ мкм. Длина запрессовки $L=6$ и шероховатостью поверхности 0 мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,08. Определить необходимое усилие запрессовки.

6. На стальной вал диаметром 50h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $70^{=0,3}$ мм и внутренним диаметром 50U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Дли-



на стержня и втулки 30мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,2. Определить необходимое усилие запрессовки.

7. На стальной вал диаметром 40h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{+0,3}$ мм и внутренним диаметром 40U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Длина стержня и втулки 30мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,2. Определить необходимое усилие запрессовки.

8. На стальной вал диаметром 40h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{+0,3}$ мм и внутренним диаметром 40U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Длина стержня и втулки 30мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,3. Определить необходимое усилие запрессовки.

9. На стальной вал диаметром 35h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{+0,3}$ мм и внутренним диаметром 35U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Длина стержня и втулки 40мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,2. Определить необходимое усилие запрессовки.

10. На стальной вал диаметром 40h8 и шероховатостью поверхности $R_z=3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{+0,3}$ мм и внутренним диаметром 40U8 мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $R_z=2,8$ мкм. Длина стержня и втулки 40мм. Коэффициент трения при запрессовке 0,2. Определить необходимое усилие запрессовки.

При тепловой сборке температуру T_n нагрева охватываемой детали или температуру охлаждения охватываемой, которая должна быть в начальный момент времени соединения, определяют по зависимости

$$T_n > \frac{\Delta d 10^{-3}}{\alpha d}$$

где α – коэффициент линейного расширения материала детали;

d – номинальный диаметр сопряжения, мм.

При переносе детали из нагревательного (охлаждающего) устройства на сборочную позицию неизбежно ее охлаждение (нагрев). Зная время переноса детали t , мин, можно найти температуру $T_{в}$, которую должна иметь деталь в момент ее выгрузки из нагревательного (охлаждающего) устройства:



$$T_{\varepsilon} = T + \frac{T_H - T}{e^{-\lambda t}}$$

где T – температура окружающего воздуха, °С.

Определить температуру, которую должна иметь деталь в момент ее выгрузки из нагревательного устройства для выполнения сборочной операции методом теплового воздействия. Диаметр отверстия охватывающей детали (втулки) $40^{+0,038}$ мм, диаметр охватываемой детали (вала) $40^{+0,043}_{-0,068}$ мм, материал втулки – бронза, температура окружающей среда 20 град. цельсия, время переноса детали от нагревательного устройства к месту сборки 1,2 мин, коэффициент, учитывающий размер, материал, и время нагрева детали, $K=0,15$.

В отверстие корпуса диаметром 90 Н7 мм необходимо запрессовать методом теплового воздействия втулку из латуни, наружный диаметр которой 90,54 мм. Определить температуру, которую должна иметь втулка в момент ее выгрузки из охлаждающего устройства. Температура окружающей среды 18 град., время переноса втулки от охлаждающего устройства к месту сборки 0,8 мин., коэффициент, учитывающий размеры, конфигурацию, материал и метод охлаждения втулки, $K=0,21$.

Усилия при пластическом деформировании

При выполнении операции развальцовки показатель к зависит от размеров и конфигурации детали, ее материала сила P_3 , необходимая для осадки концов трубки на конус и сила, необходимая для отбортовки трубок определяется по формуле

$$P_0 = K \frac{S(D+d)D1}{2} \frac{D1}{D} \sigma_m$$

где K – коэффициент, учитывающий размеры, свойства материала трубок и характер выполняемой операции (таблица)

Значение коэффициента K

Материал трубки	Развальцовка	Отбортовка
Медь	45	57
Сталь	55	78

S – толщина стенки, мм;

D, d – наружный и внутренний диаметр трубки, мм;

σ_r – предел текучести материала трубок, МПа.

Рассчитать усилие, необходимое для образования головок заклепок при холодной клепке, по данным, приведенным в таблице

Вариант	Тип заклепок	Материал заклепок	Диаметр стержня, мм
1.	Со сферическими головками	Сталь	6
2	С плоской и потайной головками	медь	10
3	С плоскими головками	Латунь	12
4	Трубчатые	Алюминиевые сплавы	8
5	Полутрубчатый	медь	16

Определить усилие, необходимое для выполнения операции развальцовки или отбортовки трубок, по данным таблицы

1	Операция	Развальцовки	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм
2	Медь	отбортовка	18	12
3	Сталь	Развальцовка	12	8
4	Сталь	Отбортовка	14	10

4. РАСЧЕТЫ АБЗУ

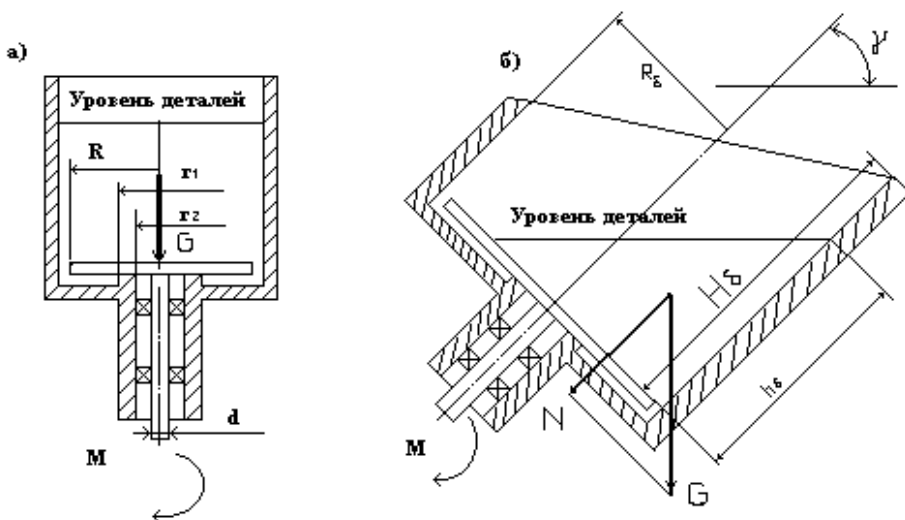


Рис.4.1. Карманчиковое АБЗУ

Пример расчета карманчикового БЗУ (рис.17). Рассчитать и спроектировать БЗУ к контрольно-сортировочному автомату для сортировки игольчатых стальных роликов диаметром 2мм и длиной 10 мм со сферическими концами. Требуемая производитель-



ность контроля $Q=8000$ шт/ч, время работы с одной загрузки не менее $t_p=2$ ч.

Требуемая производительность БЗУ $Q_6=1,15*Q=9200$ шт/ч.

Емкость БЗУ $W=8000*2/(1-0,15)=18824$ шт.

Масса одной детали $m_d = \rho d^2 l_d * 7,7/4 = \rho * 0,2^2 * 1 * 7,7/4 = 0,242$ г.

Наибольший вес деталей в БЗУ $M_z=18824*0,242=4556$ г.

Проверим возможность обеспечения требуемой производительности 9200 шт/ч или 153 шт/мин. $153 \leq (0,5 - 0,6) z n$, откуда $z n = (255 - 306) (1/\text{мин})$. Следовательно, для обеспечения требуемой производительности частота вращения диска $n = (255 - 306)/(20 - 35) = 7,3 - 10,2$ об/мин. При стандартной частоте вращения электродвигателей 1200 – 3000 об/мин потребуются введение кинематической передачи с передаточным отношением $i = n_{дв}/n = (1200 - 3000)/(97,3 - 10,2) = 118 - 411$. Поскольку длина детали 10 мм, то шаг захватных вырезов на диске $m = (1,5 - 2,0) * i = 15 - 20$ мм. При этом диаметр захватного диска $D > m z / \pi = (15 * 20 - 35 * 20) / \pi = 95,6 - 223$ мм.

*Окружная скорость движения захватных вырезов на диске $v = \pi D n = \pi(7,3 * 95,6 - 10,2 * 223) = 2,2 - 7,14$ м/мин = 0,037 - 0,119 м/с, что меньше допустимой максимальной скорости захвата для данного типа БЗУ, которая составляет 0,2 - 0,4 м/с.*

*Требуемый объем бункера $V_6 = (1,5 - 2) * (2 - 4) * \pi * 2^2 * 10 * 18824.4 = (1,8 - 4,73) * 10^6 \text{ мм}^3 - 0,0018 - 0,00473 \text{ м}^3$.*

*Конструктивный расчет элементов БЗУ. Длину захватного выреза в направлении подачи детали принимаем $l_b = 1,8 * l = 1,8 * 10 = 18$ мм. Поскольку детали в БЗУ лежат «навалом», то при загрузке деталь вероятнее всего будет не скатываться, а скользить в захватный вырез. Поскольку деталь стальная и бункер выполняется также из стали, то коэффициент трения скольжения $\mu_c = 0,15 - 0,2$ и $\arctg \mu_c = 8 - 11^\circ$. Выбираем угол наклона оси бункера $\gamma = 50^\circ$. Рассчитываем время захвата детали, приняв $H = 1,3d * \sin \gamma = 2$ мм.*

$$t_p = \sqrt{2 * 2 * 10^{-3} / [9.8(0,77 - 0,2 * 0,64)0,77]} = 0,032 \text{ с}$$

Определим допустимую скорость движения захватного органа диска $v_d \leq (18 - 10) * (2 * 0,032) = 125 \text{ мм/с} = 0,125 \text{ м/с}$. Поскольку бункер имеет тангенциальную выдачу деталей под действием усилия вращения захватного диска, то процесс выброса не лимитирует работу бункера и соответствующий расчет отпадает.

Расчет производительности бункера. Задаваясь величиной $\Delta l_b = 6$ мм, определяем шаг захватных органов $m = 18 + 6 = 24$ мм.



Находим скорость движения захватного выреза, исходя из требуемой производительности и шага захватных органов: $v^* > mQ/\eta_{\text{сред}} = 24 \cdot 153 / 0,55 = 6676 \text{ мм/мин} = 0,111 \text{ м/с}$.

Полученное значение $v^* < v_b$, следовательно, бункер с такой скоростью может работать. Примем $v = 0,111 \text{ м/с}$. Определим радиус захватного диска по центру захватных вырезов, заметив, что $\alpha/360 = 1я$ и приняв $z = 30$, получим $R_0 = mz/2\pi = 115 \text{ мм}$. Находим частоту вращения диска $n_d = 0,111 \cdot 10^3 / (2\pi \cdot 115) = 0,154 \text{ об/с} = 9,24 \text{ мин}^{-1}$.

Определяем наружный радиус диска:

$$R > \sqrt{(115 + 0,5 \cdot 2^2 + 0,25 \cdot 18^2)} = 116 \text{ мм}$$

Примем $R = 116,5 \text{ мм}$.

Расчет объема бункера. Требуемый объем бункера $V_6 = (\pi \cdot 2^2 \cdot 4) \cdot 10 \cdot 18824 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$. Выбираем бункер цилиндрической формы и принимаем $a_6 = b_6 = R_6$. Находим высоту заполнения бункера деталями $h_6 = R_6 \cos \alpha = 116 \cdot 0,64 = 74 \text{ мм}$. Проверяем емкость бункера при принятых его размерах: $V_6 = (2/3) \cdot 116^3 \cdot 0,64 = 0,67 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$. Получившийся объем меньше требуемого объема и, следовательно, бункер с выбранными размерами не обеспечивает требуемой емкости. Найдем минимальное значение внутреннего радиуса чаши бункера, при котором можно получить требуемый объем бункера $V_6 = 1,25 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$, т.е.

$$R_6 = \sqrt[3]{3 \cdot 1,15 \cdot 10^6 / 2} = 152 \text{ мм}$$

Высота заполнения чаши в этом случае $h_6 = 152 \cdot 0,64 = 97 \text{ мм}$. Конструкционная высота бункера $H_6 = 2R_6 \cos \alpha + 20 = 215 \text{ мм}$.

В связи с изменением значения R_6 необходим пересчет некоторых параметров, полученных ранее.

Уточнение параметров, определяющих производительность бункера. Поскольку наружный радиус захватного диска для получения требуемого объема бункера возрос, то изменится и радиус расположения центров захватных вырезов. Новое значение можно найти из следующего выражения:

$$R_0 = \sqrt{R^2 + 0,25l_b^2} - 0,5l_b = \sqrt{152^2 + 0,25 \cdot 10^2} - 0,5 \cdot 2 = 150,7 \text{ мм}$$

Увеличим число захватных органов до $z=34$ и уточним шаг захватных органов: $m = (2\pi \cdot 150,7) / z = 27,8 \text{ мм}$. Оставив прежней длину захватного выреза, увеличим до $9,8 \text{ мм}$ расстояние между краями выреза. Уточним требуемую частоту вращения захватного диска: $n = 0,111 \cdot 10^3 / (2\pi \cdot 150,7) = 7,02 \text{ мин}^{-1}$.

Расчет привода бункера. Определим вес деталей при максимальной загрузке бункера: $G = 18824 \cdot 0,242 \cdot 9,8 = 44,6 \text{ Н}$. Мо-



мент сопротивления диска $M_d = 44,6 \cdot 0,77 \cdot 0,1507 \cdot 0,2 = 1,04 \text{ Нм}$.
 Принимаем в качестве опор вала диска подшипники качения, тогда момент потерь в подшипниках определим с учетом наклонного расположения оси бункера. Внутренний диаметр подшипников примем $d = 20 \text{ мм}$.

$$M_{пк} = 0,001 \cdot (30/6) \cdot 444 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} = 0,002 \text{ Нм}$$

$$M_{рк} = 1,18 \cdot 10^{-6} + 1,25 \cdot 0,001 \cdot (52/6) \cdot 44,6 \cdot 0,77 \cdot 10^{-2} = 0,004 \text{ Нм}$$

Суммарный момент сопротивления диска

$$M_{\Sigma} = 1,04 + 0,002 + 0,004 + 1,046 \text{ Нм}$$

Необходимая мощность двигателя (при двухступенчатой зубчатой передаче от вала двигателя к валу диска):
 $P_{дв} = 3 \cdot 1,046 \cdot (1/9,81) \cdot 7,02 \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 2,1 \text{ Вт}$

Пример: Спроектировать и рассчитать БЗУ для колпачков (рисунок 17); Время обработки 1,2 сек., производство - крупносерийное; положение колпачка в рабочей зоне - вертикальное, доньшком вниз.

Решение.

По классификатору данная заготовка относится к группе тела вращения, не имеющие плоскости симметрии, перпендикулярной оси (ориентируются по оси вращения и относительно плоскости, перпендикулярной оси вращения).

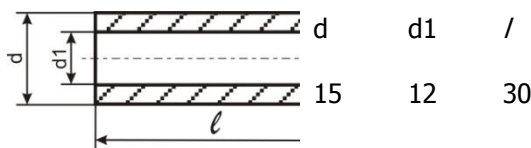


Рисунок 4.2.. Параметры заготовки

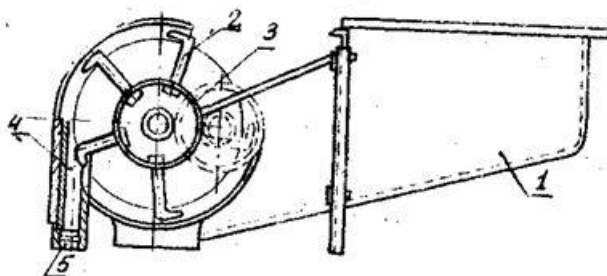


Рисунок 4.3. Общий вид БЗУ

Для загрузки колпачков могут применяться следующие БЗУ:

а) механизм с возвратно-поступательно движущимся стержнем. Применяется для колпачков с диаметром до 20 мм и высотой



не более 25 мм;

б) механизм со штырями, установленными на бесконечном ремне. Применяется для колпачков с диаметром до 30 мм и высотой не более 40 мм;

в) механизм с крючками, расположенными по торцу диска. Применяется для колпачков диаметров более 10 мм и высокой 60-90 мм;

г) механизм с крючками, расположенными по боковой поверхности. Применяется для колпачков диаметром $d = 6 - 40$ мм, высотой до 70 мм.

В крючковом механизме ориентации заготовки из предбункера 1, скатываются в корпус механизма, где выхватываются крючками 2, закрепленными на вращающемся диске 3. При дальнейшем вращении диска захваченные крючками заготовки передаются в приемник 4 в виде трубчатого лотка с разрезом, откуда они поступают в накопитель 5, отводящий их в питатель (рисунок 29).

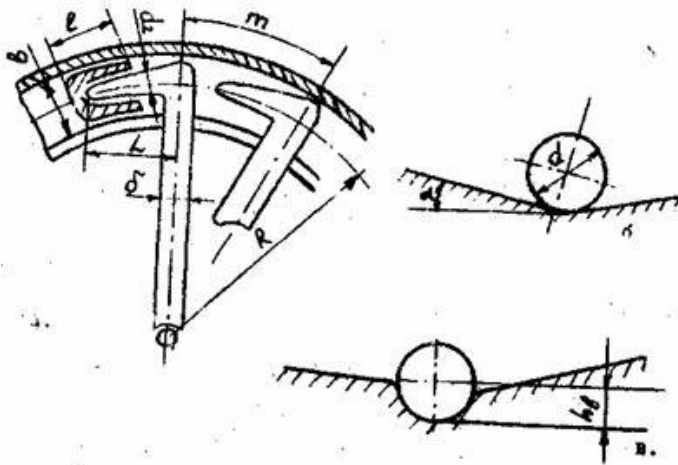


Рисунок 4.4.. Перемещение заготовки в БЗУ

Для приспособлений с крючковыми захватами скорость $v = 170 - 200$ мм/сек. Принимаем 200 мм/сек.

Диаметр расположения крючков $D = 250 - 400$ мм. Принимаем $D = 300$ мм. Количество захватов $z = 8 - 14$. Принимаем $z = 10$. Минутная производительность определяется по формуле

$$\theta = \frac{60 \cdot 200 \cdot 10 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 300} = 64 \text{ шт/мин}$$

Диаметр по отогнутой части крючков - 300 мм (по ранее



принятому). Диаметр стержня крючка (рисунок. 28а).

$$\delta = (0,4 \div 0,6)d = 0,5 \cdot 15 = 8 \text{ мм}$$

Длина отогнутой части крючка

$$L = (1,2 \div 1,3)R_1 = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ мм}$$

где R_1 - радиус отогнутой части крючка.

Зазор, обеспечивающий свободное перемещение заготовки на порцию захвата крючком (зазор по шагу)

$$\Delta l \geq v \sqrt{\frac{2l_{ц}}{g(\sin \gamma - 2k \cos(\gamma/d))}}$$

где $l_{ц}$ - длина пути центра тяжести очередной заготовки при ее перемещении в зоне захвата. Принимаем $l_{ц} = 30 \text{ мм}$; γ - угол наклона дна бункера к горизонтальной плоскости (рисунок 36);

$\gamma = 15^\circ + 20^\circ$, принимаем $\gamma = 15^\circ$; k - коэффициент трения качения

$$\Delta l = 0,2 \sqrt{\frac{2 \cdot 30}{9,8(\sin 15^\circ - 0,1 \cos(15^\circ/15))}} \approx 22 \text{ мм}$$

Шаг крючков

$$m = \delta + L + l + \Delta l = 8 + 36 + 30 + 22 = 96 \text{ мм}$$

Ширина приемника

$$\theta = \frac{4 \cdot d^2 + 8 \cdot R_1 \cdot d + l^2}{8 \cdot R_1 + 4 \cdot d} = \frac{4 \cdot 15^2 + 8 \cdot 14 \cdot d + 30^2}{8 \cdot 30 + 4 \cdot 15} = 18,7 \text{ мм}$$

Глубина впадины в дне бункера в зоне захвата крючками (рисунок 28в)

$$h_b \geq 0,5 \cdot d = 8 \text{ мм}$$

Диаметр отогнутой части крючка

$$d_2 = (0,45 \div 0,6)d_1 = 0,6 \text{ мм}$$

Угол отгиба крючка принимается равным 80 - 85°. Принимаем 80°.

Объем бункера

$$V = V_b \frac{T}{t_{\text{шм}}(1+q)}$$

где T - промежуток времени непрерывной работы до оче-



редного заполнения, $T \approx 30$ мин; $t_{шт}$ - время обработки одной заготовки, $t_{шт} = 1,2$ сек; q - коэффициент заполнения бункера, $q = 0,6$; V_d - объем детали

$$V_d = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} = \frac{3,14 \cdot 15^2 \cdot 30}{4} = 5300 \text{ мм}^3$$

Тогда ориентировочно, высота бункера 300 мм; длина бункера 1000 мм; ширина бункера 450 мм.

Мощность электродвигателя:

$$N = 0,0015D = 0,0015 \cdot 300 = 0,45 \text{ кВт}$$

где D - диаметр по захватам в мм.

Выбираем стандартный асинхронный электродвигатель мощностью $N = 0,6$ кВт,

n – 1500 об/мин.

Задания:

1/Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 20$ мм, $d_1 = 14$ мм, длина $l = 30$ мм.

2 /Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 18$ мм, $d_1 = 12$ мм, длина $l = 20$ мм.

3/ Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 16$ мм, $d_1 = 10$ мм, длина $l = 20$ мм.

4 /Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 14$ мм, $d_1 = 10$ мм, длина $l = 30$ мм.

5 /Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 12$ мм, $d_1 = 8$ мм, длина $l = 20$ мм.

6 Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 14$ мм, $d_1 = 10$ мм, длина $l = 20$ мм.

7 /Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 18$ мм, $d_1 = 12$ мм, длина $l = 30$ мм.

8/Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 16$ мм, $d_1 = 10$ мм, длина $l = 20$ мм.

9/Рассчитать основные параметры бункера для автома-



тической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 16$ мм, $d_1 = 10$ мм, длина $l = 25$ мм.

10 /Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 14$ мм, $d_1 = 10$ мм, длина $l = 25$ мм.

11/Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: $d = 20$ мм, $d_1 = 14$ мм, длина $l = 30$ мм.

Пример: Спроектировать и рассчитать БЗУ для автоматической загрузки сборочного РТК. Заготовки-полуфабрикаты, полученные на холодновысадочном автомате, - круглые валики с буртом (рисунок 21). Заданная производительность 40 дет/мин.

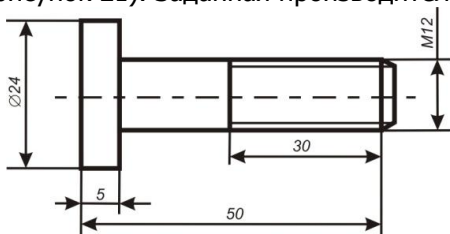


Рисунок 4.5..Круглый валик с буртом

Для данного типа деталей наиболее эффективным является бункер с ножевым захватом. Общий вид бункера показан на рисунке 4.5.. Для заданных размеров детали и технологического оборудования выбранный тип БЗУ вполне пригоден.

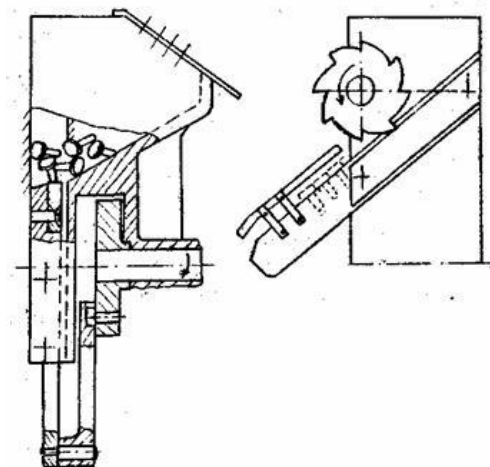


Рисунок 4.5. Общий вид бункера.

Число двойных ходов ножа в мин:



$$n_{дв.з} = \frac{v}{L \cdot \eta}$$

где: v - скорость движения детали в рабочей зоне в м/с (из паспортных данных станка $v = 2700$ мм/мин); L - длина ножа;

$$L = (7 - 10) \cdot l = 10 \cdot 50 = 500 \text{ мм}$$

l - длина заготовки; η - коэффициент захватывания заготовок ножом, $\eta = 0,15$;

$$n_{дв.з} = \frac{2700}{0,15 \cdot 500} = 35$$

Производительность для механизмов с выдачей заготовок в рабочую зону порциями (3)

$$\theta = \frac{35 \cdot 5 \cdot 0,15 \cdot 1}{0,5} = 52,5 \text{ шт/мин}$$

$$\theta_f \geq \theta_{ср} = 40 \cdot 1,2 = 48, \quad 52,5 > 48$$

Ширина бункера с боковым ножом (рисунок 4.6)

$$B = (8 - 10) \cdot l = 10 \cdot 50 = 500 \text{ мм}$$

Глубина бункера

$$h \approx \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{3} \right) \cdot L = \frac{1}{3} \cdot 500 = 170 \text{ мм}$$

Скос ножа (рисунок 24) принимается в пределах $30^\circ = 45^\circ$.

Принимаем $\alpha' = 45^\circ$. Прямой участок ножа (рисунок 4.7.)

$$\alpha \approx 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 24 = 2,4 \text{ мм}$$

где D - наибольший диаметр изделия. Принимаем 3 мм.

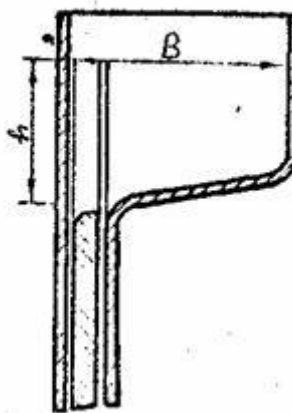


Рисунок 4.6.

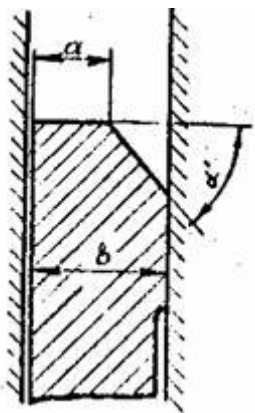


Рисунок 4.7.

Толщина ножа (рисунок 24): $b \approx 1,1 D = 1,1 \cdot 24 = 28,5$ мм.
Принимаем $b = 27$ мм. Потребляемая мощность электродвигателя $N \approx 0,008 L = 0,008 \cdot 500 = 0,4$ квт.

Выбираем стандартный асинхронный двигатель: $N = 0,6$ квт, $n = 1500$ об/мин.

Задания:

1. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 20 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня - M10, длина стержня 40 мм.

2. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 12 мм, высота – 3 мм, диаметр стержня – M8, длина стержня 30 мм.

3. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 16 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня - M12, длина стержня 35 мм.

4. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 20 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня - M10, длина стержня 40 мм.

5. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 12 мм, высота – 3 мм, диаметр стержня - M12, длина стержня 35 мм.

6. Рассчитать основные параметры бункера для автома-



тической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 14 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня - М10, длина стержня 40 мм.

7 Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 12 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня – М8, длина стержня 30 мм.

8 Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 16 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня - М10, длина стержня 30 мм.

9. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 10 мм, высота – 3 мм, диаметр стержня – М6, длина стержня 30 мм.

10. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 14 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня - М10, длина стержня 35 мм.

11. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 12 мм, высота – 3 мм, диаметр стержня – М8, длина стержня 35 мм.

12. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 10 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня – М6, длина стержня 30 мм.

13. Рассчитать основные параметры бункера для автоматической ориентации болтов со следующими размерами: Диаметр головки 12 мм, высота – 4 мм, диаметр стержня – М8, длина стержня 40 мм.

5. Расчет поворотного стола

Поворотные столы представляют собой диски с установленными на них накопителями (магазинами), обеспечивающие ориентации заготовок или деталей в положении, необходимом для захвата промышленным роботом. Поворотный стол может получать периодическое перемещение от храпового механизма, полумчервяка, мальтийского, кулачкового и специальных механизмов. При проектировании поворотных столов одной из важных задач является правильный выбор типа привода поворота стола. Методика выбора типа привода поворотного стола приведена ниже.



Кинематическая схема привода стола приведена на рисунке 25, масса $m = 690$ кг (включая массы вращающихся вместе с ним элементов), время поворота стола на угол 60° $t_d = 1$ сек, время выстоя $t_v = 2$ сек. Таким образом, время рабочего цикла $T_p = 3$ сек.

Электромеханический привод с асинхронным электродвигателем и мальтийским механизмом наиболее часто выполняют в двух вариантах:

- мальтийский крест непосредственно связан с индексирующим столом;
- мальтийский крест установлен на промежуточном валу, а движение столу передается через дополнительную зубчатую передачу.

Первый вариант привода конструктивно проще, однако при его использовании все динамические нагрузки, возникающие на мальтийском кресте, передаются непосредственно столу машины. Кроме того, при изменении числа позиций машины необходима замена одного креста другим, имеющим соответствующее число пазов. Второй вариант привода конструктивно более сложен, чем первый, но число позиций машины и скорость поворота стола можно изменить путем смены промежуточной зубчатой передачи без замены мальтийского механизма.

Мальтийские механизмы выполняют с внешним и внутренним зацеплением, а также сферическими.

Схема привода, состоящего из электродвигателя 1, червячной передачи 2, мальтийского креста 3 с внешним зацеплением и блока зубчатых колес 4, соединяющих мальтийский крест 3 с индексирующим столом 5, приведена на рис. 5.1, а. Диаметры начальных окружностей зубчатых колес, начиная с колеса на индексирующем столе 5: $D_{01} = 720$ мм, $D_{02} = 240$ мм, $D_{03} = 80$ мм и $D_{04} = 240$ мм. Следовательно, передаточное отношение от индексирующего стола до мальтийского креста:

$$i_{\text{общ}} = \frac{D_{01}}{D_{02}} \frac{D_{03}}{D_{04}} = \frac{720}{240} \frac{80}{240} = 1$$

Исходными данными при проектировании мальтийских механизмов индексирующих столов являются Z — число пазов креста, определяемое числом позиций машины; t_d — время движения стола и t_v — время выстоя стола. Согласно условию задачи принимаем число пазов мальтийского креста $Z = 6$, а время $t_d = 1$ с и $t_v = 2$ с.

Для обеспечения плавной работы привода угловая скорость



мальтийского креста должна быть равна нулю в момент входа пальца кривошипа в паз креста и в момент выхода из него. Для этого центр кривошипа должен быть расположен так, чтобы в момент входа и выхода вектор скорости пальца был направлен вдоль паза креста (рисунок. 5.1, б).

Следовательно,

$$2\varphi_{11} + 2\varphi_2 = \pi$$

где $2\varphi_{11}$ — угол поворота пальца кривошипа, соответствующий движению креста; $2\varphi_2$ — угол поворота мальтийского креста.

Для шестипазового мальтийского креста угол поворота 3

$$2\varphi_2 = \frac{2\pi}{Z} = \frac{2\pi}{6} = \frac{1}{3}\pi = 60^\circ$$

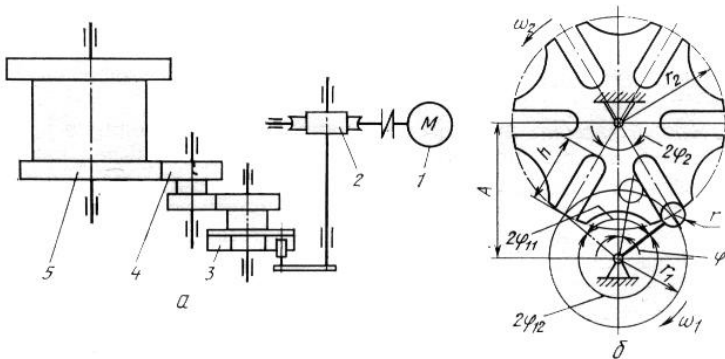


Рисунок 5.1/Электромеханический привод с мальтийским механизмом

Тогда угол поворота пальца кривошипа, соответствующий движению креста,

$$2\varphi_{11} = \pi \left(1 - \frac{2}{Z}\right) = \pi \left(1 - \frac{2}{6}\right) = \frac{2}{3}\pi = 120^\circ$$

Угол поворота пальца кривошипа, соответствующий выводу креста,

$$2\varphi_{12} = \pi \left(1 + \frac{2}{Z}\right) = \pi \left(1 + \frac{2}{6}\right) = \frac{4}{3}\pi = 240^\circ$$

Зная время движения индексировочного стола $t_A = 1$ с и, следовательно, время движения мальтийского креста, определим угловую скорость кривошипа по формуле



$$\omega_1 = \frac{2\varphi_{11}}{t_d} = \frac{2\pi}{3 \cdot 1} = \frac{2}{3}\pi = 2,1 \text{ с}^{-1}$$

Тогда частота вращения n кривошипа

$$n = \frac{30\omega_1}{\pi} = \frac{30 \cdot 2\pi}{\pi \cdot 3} = 20 \text{ мин}^{-1}$$

Найдем время выстоя креста и, следовательно, стола:

$$t_{\varepsilon} = \frac{2\pi - 2\varphi_{11}}{\omega_1} = \frac{2\pi - \frac{2}{3}\pi}{\frac{2}{3}\pi} = 2 \text{ с}$$

что соответствует условию задачи.

Следовательно, один полный оборот кривошипа совершит за время

$$t_d + t_{\varepsilon} = 60/n = 60/20 = 3 \text{ с.}$$

Исходя из условия отсутствия жесткого удара в начале и конце движения радиус кривошипа r_1 и межосевое расстояние A связаны зависимостью

$$\lambda = \frac{r_1}{A} = \sin \frac{\pi}{Z}$$

Для каждого значения Z значения r_1 или A выбирают произвольно. Примем радиус кривошипа $r_1 = 120 \text{ мм}$. Тогда

$$A = \frac{r_1}{\sin \frac{\pi}{Z}} = \frac{120}{\sin 30^\circ} = 240 \text{ мм}$$

Длину пазов h мальтийского механизма определяют из выражения

$$h = A \left(\cos \frac{\pi}{Z} + \sin \frac{\pi}{Z} - 1 \right) + r$$

где r — радиус цевки (принимаем $r = 15 \text{ мм}$).

Подставляя значения A , Z и r в последнюю формулу, получим

$$h = 240 \left(\cos \frac{\pi}{6} + \sin \frac{\pi}{6} - 1 \right) + 15 = 103 \text{ мм}$$

Угловую скорость мальтийского механизма определяют по формуле



$$\omega_2 = \omega_1 \frac{\lambda \cos \varphi - \lambda^2}{1 - 2\lambda \cos \varphi + \lambda^2}$$

где φ — угол поворота пальца кривошипа.

Максимальная угловая скорость мальтийского механизма (при $\varphi = 0$)

$$\omega_{2 \max} = \omega_1 \frac{\lambda}{1 - \lambda} = \omega_1 \frac{\sin \frac{\pi}{Z}}{1 - \sin \frac{\pi}{Z}} = 2,1 \frac{0,5}{1 - 0,5} = 2,1 \text{ c}^{-1}$$

Угловое ускорение мальтийского механизма

$$\varepsilon_2 = \pm \omega_1^2 \frac{\lambda (-\lambda^2) \sin \varphi}{(-2\lambda \cos \varphi - \lambda^2)^2}$$

где знак «плюс» соответствует первой половине поворота мальтийского механизма, а знак «минус» — второй половине.

Максимальное угловое ускорение $\varepsilon_{2 \max}$ имеет место при угле поворота φ , равном экстремальному углу поворота φ_{ε} .

Угол φ_{ε} , соответствующий максимальному угловому ускорению механизма, определяют из выражения

$$\varphi_{\varepsilon} = \arccos \left(-\frac{1 + \lambda^2}{4\lambda} + \sqrt{\frac{(1 + \lambda^2)^2}{16\lambda^2} + 2} \right) = \arccos \left(-\frac{1 + 0,25}{4 \cdot 0,5} + \sqrt{\frac{(1 + 0,25)^2}{16 \cdot 0,25} + 2} \right) = \arccos 0,921$$

По обратной функции находим угол $\varphi_{\varepsilon} = 22^\circ 56'$.

Тогда максимальное угловое ускорение

$$\varepsilon_2 = \pm \omega_1^2 \frac{\lambda (-\lambda^2) \sin \varphi}{(-2\lambda \cos \varphi - \lambda^2)^2} = \pm 2,1^2 \frac{0,5 (-0,25) \sin 22^\circ 56'}{(-2 \cdot 0,5 \cos \varphi_{\varepsilon} + 0,625)^2} = \pm 6 \text{ c}^{-2}$$

Крутящий момент, который необходим для поворота стола, $M_{\text{кр}} = M_{\text{с}} + M_{\text{ин макс}}$

где $M_{\text{с}}$ — момент сил сопротивления движению перемещаемых масс, связанных со столом; $M_{\text{ин макс}}$ — максимальный момент сил инерции перемещаемых масс.

Момент сил сопротивления

$$M_{\text{с}} = m g \mu R_{\text{тр}} = 690 * 9,8 * 0,01 * 0,3 = 20 \text{ Н м},$$

где m - масса стола ($m = 690$ кг); μ - коэффициент трения качения ($\mu = 0,01$); $R_{\text{тр}}$ - радиус трения ($R_{\text{тр}} = 0,3$ м).

Момент сил сопротивления, приведенный к валу мальтийского механизма,

$$M_{\text{с}} / = M_{\text{с общ}} = 20 * 1 = 20 \text{ Н м}.$$



Максимальный момент сил инерции, приведенный к валу мальтийского механизма,

$$M'_{ин\max} = I'_c \varepsilon_{2\max}$$

где I/c - момент инерции стола, приведенный к валу мальтийского механизма -

$$I/c = I_c i_{2общ} = I_c i_2 = I_c$$

где I_c - момент инерции стола.

Момент инерции стола определим как сумму моментов инерции элементарных частей стола относительно оси его вращения, т. е.

$$I_c = I_1 + I_2 + I_3$$

где I_1 , I_2 и I_3 - моменты инерции соответственно верхней (диск диаметром 950 мм), средней (цилиндр диаметром 600 мм) и нижней (диск диаметром 700 мм) частей стола.

С учетом размеров стола (см. рис. 2.3) имеем:

$$I_1 = \frac{\pi h_1 \gamma}{2} (R_1^4 - r_0^4) = \frac{3,14 \cdot 0,08 \cdot 7800}{2} (0,475^4 - 0,26^4) = 44,4 \text{ кг м}^2$$

$$I_2 = \frac{\pi h_2 \gamma}{2} (R_2^4 - r_0^4) = \frac{3,14 \cdot 0,57 \cdot 7800}{2} (0,3^4 - 0,26^4) = 24,48 \text{ кг м}^2$$

$$I_3 = \frac{\pi h_3 \gamma}{2} (R_3^4 - r_0^4) = \frac{3,14 \cdot 0,05 \cdot 7800}{2} (0,35^4 - 0,26^4) = 6,12 \text{ кг м}^2$$

где h_1 , h_2 и h_3 и R_1 , R_2 и R_3 - высота и радиус соответственно верхней, средней и нижней частей стола; r_0 - радиус отверстия в столе; γ — плотность стали (7800 кг/м³).

Следовательно, $I_c = I/c = 44,4 + 24,48 + 6,12 = 75 \text{ кг м}^2$.

Тогда максимальный момент сил инерции на валу мальтийского механизма

$$M'_{ин\max} = 75 \cdot 6 = 450 \text{ Н м.}$$

Крутящий момент на валу мальтийского механизма

$$M'_{кр} = M'_c + M'_{ин\max} = 20 + 450 = 470 \text{ Н м.}$$

Так как максимальная угловая скорость мальтийского механизма равна угловой скорости кривошипа, можно считать, что

$$M''_{кр} = M'_{кр},$$

где $M''_{кр}$ - крутящий момент, приведенный к валу кривошипа.

Наибольшая потребная мощность на валу кривошипа



$$N_{1\max} = \frac{M''_{кр} \omega_1}{1000} \eta_m^{-1} = \frac{470 \cdot 2,1}{1000 \cdot 0,8} = 1,24 \text{ кВт}$$

где η_m - КПД мальтийского механизма ($\eta_m = 0,8$).

Электромеханический привод с синхронным электродвигателем и кулачково-цевочным (улитным) механизмом широко применяют для периодически прерывистого движения столов многопозиционных технологических машин. Он обеспечивает различные движения стола, выгодное соотношение между временем выстоя стола и временем его движения, дает возможность во многих случаях отказаться от дополнительного фиксирования стола во время его выстоя.

В этих механизмах вращение улитного кулачка 1 (рисунок 5.2), с которым зацепляются цевки 3, преобразуется в прерывистое вращение диска 2, жестко связанного с индексующим столом 4. По принципу действия кулачково-цевочный механизм в некоторой степени аналогичен червячной передаче, поэтому кулачок иногда выполняют в виде витков двухзаходного червяка.

Обычно в кулачково-цевочных механизмах оси цевок расположены в радиальных направляющих, причем смещение цевок в радиальном направлении не вносит существенных погрешностей в работу механизма. Использование в качестве цевок подшипников качения облегчает сборку механизма привода и позволяет создать предварительный натяг, регулируя который можно обеспечить заданную точность фиксирования стола в период выстоя. Задана длительность рабочего цикла $T_p = 3$ с. На перевод стола из одной позиции в другую тратится часть рабочего цикла $t_d = 1$ с. Это время соответствует повороту кулачка (улиты) на угол

$$\varphi_d = \frac{360 t_d}{T_p} = \frac{360 \cdot 1}{3} = 120^\circ$$

В это время одна из цевок диска находится в пазу улитного кулачка. Остальная часть времени t_v рабочего цикла T_p соответствует выстоя стола с кулачково-цевочным механизмом

$$t_v = T_p - t_d = 3 - 1 = 2 \text{ с.}$$

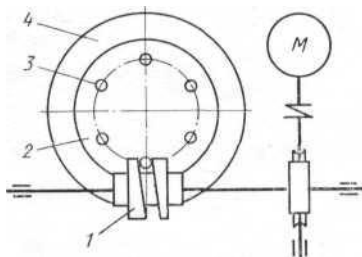


Рисунок 5.2. Электромеханический привод

Угол, соответствующий высту столу,

$$\varphi_{\text{в}} = 360^\circ - \varphi_{\text{д}} = 360^\circ - 120^\circ = 240^\circ.$$

В это время фиксирующая часть кулачка находится между двумя цевками диска.

Для кулачка с рабочим профилем, построенным по косинусоидальному закону, угол давления достигает наибольшего значения в середине кривой и определяется выражением

$$\operatorname{tg} \Theta_{\max} = \frac{180^\circ \cdot h}{\varphi_{\text{д}} D_{\text{к}}} = \frac{T_{\text{р}} h}{2t_{\text{д}} D_{\text{к}}}$$

где h — шаг между центрами соседних цевочных роликов.

$$h = D \sin \frac{\beta}{2} = D \sin \frac{180^\circ}{Z}$$

где D - диаметр диска по центрам цевок; β - угол между центрами соседних цевок; Z - число цевок ($Z = 6$).

Принимая диаметр диска $D = 320$ мм, имеем

$$h = 320 \cdot \sin 30^\circ = 160 \text{ мм.}$$

Обычно в данных механизмах применяют кулачки с углом давления $\Theta \leq 40^\circ$.

Принимая угол давления $\Theta = 31^\circ$, вычисляют наружный диаметр кулачка:

$$D_{\text{к}} = \frac{180^\circ h}{\varphi_{\text{д}} \operatorname{tg} \Theta} = \frac{180 \cdot 160}{120 \cdot 0,6} = 400 \text{ мм}$$

Крутящий момент на валу кулачка, необходимый для поворота стола, определяют по формуле

$$M_{\text{кп}} = M_{\text{с}} + M_{\text{ин}} \frac{D_{\text{к}}}{D} \operatorname{tg} \Theta$$

где

$$M_{\text{ин}} = I_{\text{с}} \varepsilon_{\text{с}}$$

где $I_{\text{с}}$ - момент инерции стола ($I_{\text{с}} = 75$ кг·м²); $\varepsilon_{\text{с}}$ - угловое ускорение стола.



Чтобы подсчитать Мин, необходимо определить угловое ускорение стола ε .

По условию задачи известно, что поворот стола на угол $\varphi = 60^\circ$ должен быть осуществлен за время $t = 1$ с. Следовательно, угловая скорость стола при установившемся движении

$$\omega_c = \frac{\varphi}{t_d} = \frac{\pi}{3} / 1 = 1,05 \text{ с}^{-1}$$

В свою очередь

$$\omega_c = \varepsilon_c t_1$$

где t_1 — время разгона стола.

Для индексирующих столов подобного типа рекомендуется время разгона $t_1 = 0,01—0,8$ с. Принимая в данном случае $t_1 = 0,175$ с, получают

$$\varepsilon = \omega_c / t_1 = 1,05 / 0,175 = 6 \text{ с}^{-2}$$

Тогда Мин = $75 \cdot 6 = 450$ Нм.

Следовательно, крутящий момент $M_{кр} = (20 + 450)(400 / 320) 0,6 = 352,5$ Н·м.

Мощность на валу кулачка

$$N_k = \frac{M_{кр} \omega_k}{1000 \eta_k} = \frac{352,5 \cdot 2,1}{1000 \cdot 0,8} = 0,925 \text{ кВт}$$

где ω_k — угловая скорость кулачка ($\omega_k = \varphi_d / t_d = 2\pi / 3 \cdot 1 = 2,1 \text{ с}^{-1}$); η_k — КПД кулачково-цевочного механизма ($\eta_k = 0,8$).

Электромеханический привод с отключаемым (посредством муфты) асинхронным электродвигателем существенно упрощает конструкцию машин, так как отпадает необходимость в преобразующих механизмах. В схеме привода с плавающим червяком движение столу передается с помощью червяка 4 (рисунок 5.3.), находящегося в зацеплении с червячным колесом 10, от индивидуального электродвигателя 7, который включается и выключается электромагнитной муфтой 6. При выключении муфты 6 вал 5 червяка тормозится тормозом 1. Благодаря скольжению червяка вдоль направляющих шпонок 3 улучшаются его динамические свойства. Пружины 2 обеспечивают центрирование червяка после разгона или торможения вала 5.

Так как данный привод не обеспечивает надежного снижения скорости до нуля в момент останова, предусмотрен дополнительный фиксирующий механизм, фиксатор 9 которого пружиной 8 постоянно прижимается к диску 11. Скользя по цилиндрической, а затем по скошенной поверхности диска 11, фиксатор 9 в момент окончания поворота стола попадает в паз диска под действием



пружины, надежно фиксируя стол. Фиксируемый диск 11 с клиновидными пазами и червячное колесо 10 жестко прикреплены непосредственно к торцу стола.

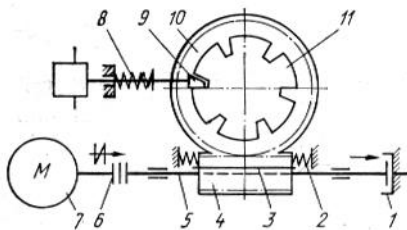


Рисунок 5.3. Электромеханический привод с отключаемым (посредством муфты) асинхронным электродвигателем. Вместо электромагнитной муфты в ряде конструкций приводов используются однооборотные муфты.

Электромеханический привод с электродвигателем постоянного тока серии П, включаемым на период поворота стола, кроме указанного содержит передаточные механизмы. Его мощность рассчитывается по методике Ю. П. Петрова, использующей вариационное исчисление.

Задаемся средним для электродвигателей серии П значением $a = 10 \text{ м}^{-1}$, представляющим собой отношение номинального момента M_n электродвигателя к его моменту инерции $I_{дв}$.

Тогда максимальную частоту вращения электродвигателя подсчитаем по формуле

$$n_{\max} = 81 a t_D \sqrt{\frac{t_D + t_B}{t_D}} = 81 \cdot 10 \cdot 1 \sqrt{\frac{1+2}{1}} \approx 1400 \text{ мин}^{-1}$$

Крутящий момент электродвигателя, необходимый для поворота стола,

$$M_{дв} = 8 \frac{t_D}{t_D + t_B} I_C \frac{A \varphi_c^2}{a t_D^4}$$

где A — константа, определяющая оптимальный закон изменения тока в приводе стола ($A = 12$); φ_c — угол поворота стола в полных оборотах (по условию задачи $\varphi_c = 1/6$).

Подставляя численные значения в последнюю формулу, имеем

$$M_{дв} = 8 \frac{1}{1+2} 75 \frac{12}{10} \frac{1}{36 \cdot 1^4} = 6,67 \text{ Н м}$$

Мощность на валу электродвигателя



$$N_{ДВ} = \frac{M_{ДВ} \omega_{ДВ}}{1000} = \frac{M_{ДВ} \pi n_{\max}}{1000 \cdot 30} = 0,975 \text{ кВт}$$

Следует отметить, что оптимальное общее передаточное отношение $i_{опт}$ от электродвигателя к индексирующему столу находится из выражения

$$i_{опт} = \sqrt{\frac{I_c}{I_{ДВ}}}$$

Формула получена из условия, что момент электродвигателя, необходимый для обеспечения заданной программы перемещений, минимален. Отклонение от $i_{опт}$ приводит к необходимости применять электродвигатель большей мощности.

Гидравлический поршневой привод с механизмом рейки-шестерни наиболее часто применяют для индексирования столов многопозиционных технологических машин. При использовании поршневых двигателей преобразование возвратно-поступательного движения штока поршня в прерывистое вращательное движение стола чаще всего осуществляется следующими механизмами: рычажно-храповыми; с расцепляющимся храповым колесом и собачкой (при этом используются два отдельно работающих гидравлических поршневых привода); с обгонной муфтой.

Гидроцилиндр 1 гидравлического поршневого привода (рис. 5.4.) имеет шток-рейку 2, находящуюся в зацеплении с одним из зубчатых колес блока 3. Второе зубчатое колесо связано с зубчатым колесом индексирующего стола 4. Радиусы начальных окружностей зубчатых колес блока и стола соответственно составляют $R_{01} = 66 \text{ мм}$, $R_{02} = 120 \text{ мм}$ и $R_{03} = 360 \text{ мм}$.

Крутящий момент, создаваемый гидравлическим приводом на колесе стола,

$$M_{кр} = p F_{ц} \frac{R_{01}}{R_{02}} R_{03}$$

где p - давление в цилиндре, МПа; $F_{ц}$ - рабочая площадь цилиндра (поршня), м².

Крутящий момент $M_{кр}$, который необходим для поворота стола,

$$M_{кр} = M_c + M_{ин}$$

Тогда

$$M_{ин} = 75 \cdot 6 = 450 \text{ Нм};$$

$$M_{кр} = 20 + 450 = 470 \text{ Нм}.$$

Теперь определим основные параметры гидропривода. Скорость перемещения поршня гидроцилиндра

$$v_1 = \frac{\omega_c R_{01}}{R_{02}} R_{03} = \frac{1,05 \cdot 0,066 \cdot 0,36}{0,12} = 0,21 \text{ м/с}$$

Принимая диаметр гидравлического цилиндра $D_c = 50$ мм, найдем давление p в цилиндре, необходимое для создания крутящего момента $M_{кр}$:

$$p = \frac{4M_{кр} R_{02}}{\pi D_c^2 R_{01} R_{03}} = \frac{4 \cdot 470 \cdot 0,12}{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,066 \cdot 0,36} = 1,22 \text{ МПа}$$

Принимаем $p = 1,3$ МПа.

Исходя из условия обеспечения требуемой скорости перемещения поршня, определим потребный расход масла по формуле

$$Q = 0,1 F_{ц} v_1$$

$$F_{ц} = \pi D_{ц}^2 / 4 = 3,14 \cdot 5^2 / 4 = 19,6 \text{ см}^2$$

$$v_1 = 0,21 \cdot 60 = 12,6 \text{ м/мин}$$

$$Q = 0,1 \cdot 19,6 \cdot 12,6 = 24,8 \text{ л/мин}$$

Принимаем $Q = 25$ л/мин.

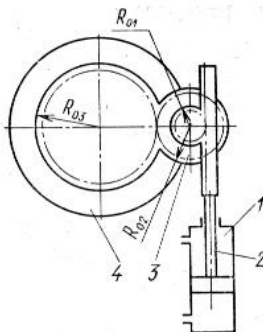


Рисунок 5.4. Гидравлический поршневой привод с механизмом рейка-шестерня

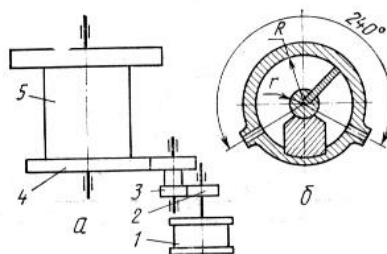


Рисунок 5.5. Гидравлический привод с поворотной лопастью и обгонной муфтой

Мощность, которая отдается насосом при давлении p и расходе масла Q ,

$$N_0 = pQ / 60 = 1,3 \cdot 25 / 60 = 0,54 \text{ кВт}$$



Мощность, потребляемая гидронасосом с учетом механических и гидравлических потерь, внутренней и внешней утечки и т. Д.,

$$N_p = N_0 / \eta_{\Gamma} = 0,54 / 0,5 = 1,08 \text{ кВт}$$

где η_{Γ} - эффективный КПД насоса ($\eta_{\Gamma} = 0,5$).

От гидравлического привода с поворотной лопастью и обгонной муфтой движение индексирующему столу 5 (рисунок 5.5, а) передается через блок зубчатых колес 3, одно из которых находится в зацеплении с колесом 2 гидродвигателя 1, а второе - с колесом 4, закрепленным на торце стола 5. Радиусы начальных окружностей зубчатых колес гидродвигателя, блока и стола соответственно составляют $R_{00} = 40 \text{ мм}$, $R_{01} = 40 \text{ мм}$, $R_{02} = 90 \text{ мм}$ и $R_{03} = 360 \text{ мм}$.

Передаточное отношение от стола до лопасти гидродвигателя

$$i_{\text{общ}} = \frac{R_{03}}{R_{02}} \frac{R_{01}}{R_{00}} = \frac{360}{90} \frac{40}{40} = 4$$

Следовательно, при повороте лопасти на угол 240° стол повернется на угол 60° .

Крутящий момент, создаваемый на колесе стола гидроприводом с качающейся в цилиндре лопастью, определяют по формуле

$$M_{KP} = \frac{b p (R^2 - r^2)}{2} i_{\text{общ}}$$

где b - ширина лопасти, м; p - давление масла в рабочей полости цилиндра, МПа; R и r - наружный и внутренний радиусы лопасти, м (рис. 2.8, б).

Принимая условия предыдущего примера, получаем

$$\varepsilon_s = 1,05 / 0,175 = 6 \text{ с}^{-2}.$$

Тогда

$$M_{\text{ин}} = 75 \cdot 6 = 450 \text{ Н м};$$

$$M_{\text{кр}} = 20 + 450 = 470 \text{ Н м}.$$

Принимая $p = 100 \text{ мм}$, $R = 50 \text{ мм}$ и $r = 22,5 \text{ мм}$, получаем

$$p = \frac{2 M_{KP}}{b (R^2 - r^2) i_{\text{общ}}} = \frac{2 \cdot 470}{0,1 (0,05^2 - 0,0225^2)} = 1,22 \text{ МПа}$$

Принимаем $p = 1,3 \text{ МПа}$.

Расход масла, необходимый для обеспечения требуемой скорости поворота стола, определяют по формуле



$$Q = \frac{\omega_{\text{л}} b \rho (R^2 - r^2)}{2 \cdot 10^6}$$

где $\omega_{\text{л}}$ - угловая скорость лопасти, рад/мин; ($\omega_{\text{л}} = \omega_{\text{с}} \text{ юбщ} \cdot 60 = 252 \text{ рад/мин}$).

Следовательно,

$$Q = \frac{225 \cdot 100 \rho (60^2 - 22,5^2)}{2 \cdot 10^6} = 25 \text{ л/мин}$$

$$N_0 = pQ / 60 = 1,3 \cdot 25 / 60 = 0,54 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{п}} = N_0 / \eta_{\text{г}} = 0,54 / 0,5 = 1,08 \text{ кВт}$$

Очевидно, что все рассмотренные варианты с точки зрения потребляемой мощности равнозначны. Поэтому для обоснования выбора варианта следует применить еще какой-либо критерий (например, стоимость, безотказность в работе).

Промышленностью выпускаются поворотные столы моделей СП-0,16, СП-0,25, СП-0,5, СП-1,0 с массой перемещаемой тары от 50 до 500 кг, диаметром от 400 до 1000 мм, скоростью поворота 2 мин-1, расстоянием от пола до несущей плоскости стола – 450 мм.



ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа №1

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия робота РФ-202М.

Промышленный робот РФ-202М предназначен для процессов загрузки-разгрузки станков, прессов и другого технологического оборудования. Робот осуществляет захват, перенос и установку заготовок или готовых деталей, а также выполняет функции связи с обслуживаемым технологическим оборудованием.

Технические характеристики робота РФ202М:

Грузоподъемность на одну руку	10Н
Тип привода	пневматический
Число степеней подвижности	5
Точность позиционирования	$\pm 0,5$ мм
Рабочее давление воздуха	0,4...0,6 МПа
Выдвижение руки	200 мм
Подъем колонны	20 мм
Поворот колонны	90°; 180°
Вращение захвата вокруг оси	180°
Количество манипуляторов	2
Основной тип захватного устройства	клещевое
Система управления	цикловая

Общий вид промышленного робота РФ 202М показан на рисунке 1.



Рисунок 1. – Общий вид промышленного робота РФ 202М.

Робот состоит из двух частей: системы управления и манипулятора. Манипулятор робота представляет собой механическую систему, осуществляющую манипуляцию с предметами, один из элементов которой напоминает руку человека. На рисунке 2 показана структурно-кинематическая схема манипулятора робота РФ-202М. Робот имеет 5 степеней подвижности, т.е. может совершать 5 различных независимых движений.

Робот РФ 202М имеет две руки. Руки робота с помощью кронштейнов закреплены на колонне, расположенной на основании робота. Основание робота закрыто кожухом, под которым размещены 2 пневмоцилиндра, поворачивающие колонну робота по часовой стрелке и против, а также электропневмоклапаны, управляющие подачей сжатого воздуха во все пневмоцилиндры. На фланцах обеих рук закреплены захваты клещевого типа.

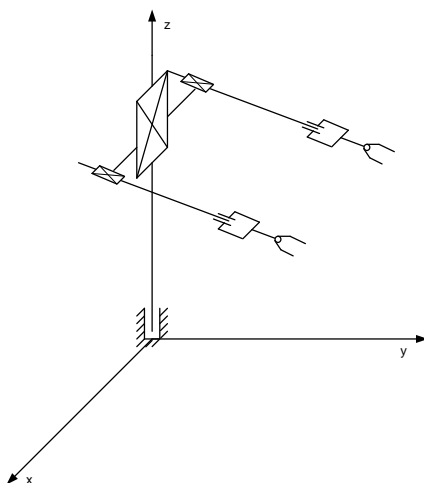


Рисунок 2. – Структурно-кинематическая схема робота РФ-202М.

Все движения робот осуществляет за счет энергии сжатого воздуха от пневматических исполнительных механизмов (Рис.3.). Выдвижение рук, подъем колонны, поворот колонны, закрытие захватов осуществляется от пневмоцилиндров с прямолинейным движением поршня, а вращение рук – от пневмодвигателей, вал которых совершает неполноповоротные движения.

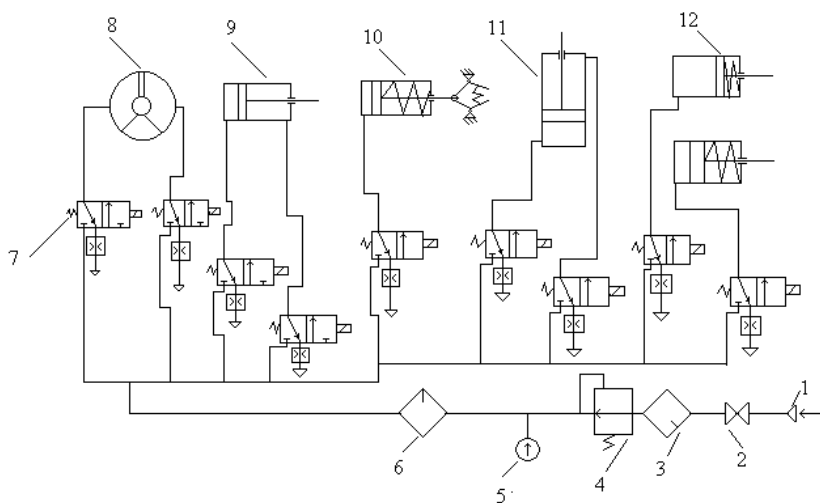


Рисунок 3. – Пневматическая схема робота.



На рисунке 3 показана пневматическая схема привода робота. Сжатый воздух через входной штуцер 1, запорный вентиль 2, влагоотделитель 3, регулятор давления 4, маслораспылитель 6 по воздухопроводам (трубопроводам) поступает к распределительным устройствам 7. Все эти элементы конструктивно объединены в один блок – блок подготовки сжатого воздуха. Распределители направляют сжатый воздух в пневмоцилиндры.

Влагоотделитель удаляет влагу из воздуха. С помощью регулятора давления производится ручная настройка давления сжатого воздуха, поступающего в пневмоцилиндры. Маслораспылитель насыщает воздух маслом (1...2 капли на 1 м³ воздуха), необходимым для смазки трущихся элементов в пневмоцилиндрах. Контроль давления сжатого воздуха, поступающего в пневмоцилиндры, осуществляется визуально с помощью манометра 5. Блок подготовки воздуха выполняется автономно и устанавливается вблизи манипулятора.

Распределители 7 клапанного типа с электроуправлением осуществляют открытие или закрытие доступа сжатого воздуха в рабочие полости пневмоцилиндров. На каждое движение в работе установлен автономный электропневмоклапан. Все они располагаются в основании манипулятора. Работа электропневмоклапана (рисунок 4) осуществляется следующим образом. При включении катушки электромагнита 1 якорь 3, деформируя пружины 2, закрывает канал А, имеющий выход в атмосферу, и открывает доступ сжатому воздуху из канала Б пневмомагистрали в канал В, соединенный с пневмоприводом. При снятии напряжения электромагнита якорь занимает положение, изображенное на рисунке, т.е. перекрывает канал пневмомагистрали и соединяет канал В через пазы по наружной поверхности якоря (на рисунке не показаны) с каналом А выхода в атмосферу.

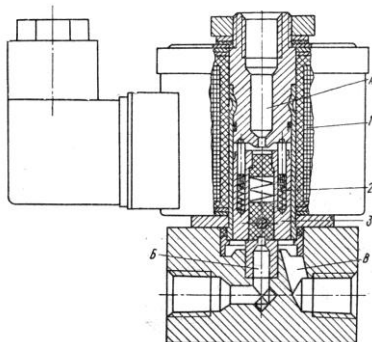


Рисунок 4. Конструкция электропневмоклапана.



В данной схеме каждый электроклапан снабжен дросселем на выходе, для регулировки которого имеется регулировочный винт. Дросселем можно изменять расход воздуха на выходе из пневмоцилиндра, а, следовательно, и скорость выполнения каждого движения. Торможение пневмоцилиндров при подходе к конечному положению для обеспечения безударной остановки осуществляется автоматически за счет дросселирования сжатого воздуха на выходе пневмоцилиндра.

Поворот руки робота вокруг оси происходит от пневмодвигателя 8 (рисунок 3), выдвижение руки – от пневмоцилиндра двухстороннего действия 9, закрытие захвата – от пневмоцилиндра одностороннего действия 10 через рычаги, подъем колонны – от пневмоцилиндра 11, поворот колонны – от пневмоцилиндров 12.

Система управления роботом является цикловой, включает элементы, показанные на рисунке 5, и конструктивно оформлена в виде блока с откидной крышкой.



Рисунок 5. Структурная схема управления роботом.

На откидной крышке расположена панель управления роботом, внешний вид которой приведен на рисунке 6.

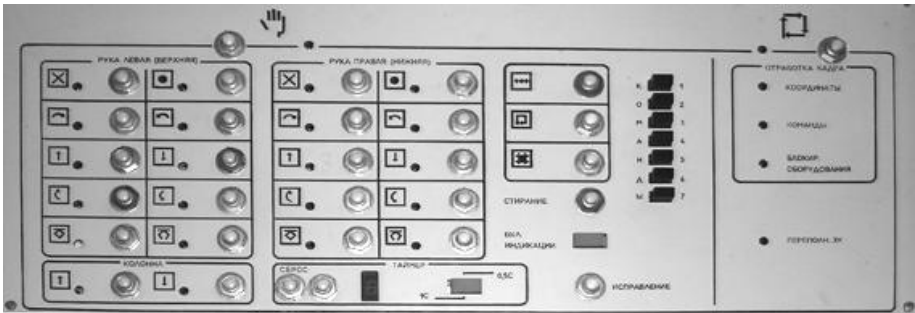


Рисунок 6. Пульт управления роботом.

Устройство управления может работать в двух режимах: в режиме обучения (ручной режим) и в автоматическом режиме. В ручном режиме оператор производит перемещение захватного устройства манипулятора с помощью кнопок на панели управления отдельно по каждой степени подвижности. В автоматическом режиме отработка программы производится без вмешательства оператора.

Панель управления предназначена для управления подвижными звеньями манипулятора и набора программ в запоминающем устройстве для последующего выполнения в автоматическом режиме технологических задач. На левой стороне панели расположены кнопки управления движениями левой и правой руки робота. Возле каждой кнопки изображено символическое обозначение, расшифровка которых приведена ниже:


Условное обозначение Реализуемая операция

		— выдвигание и втягивание руки
		— поворот колонны по часовой стрелке и против
		— вращение руки вокруг оси по часовой стрелке и против
		— закрытие и открытие захвата
		— подъем и опускание колонны

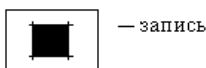
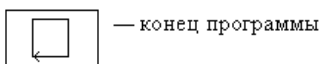
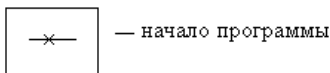
Внизу пульта расположены кнопки управления таймером, используемым для задания времени выдержки захвата по-



сле выполнения любого движения; «СБРОС» - переводит таймер в

нулевое состояние . Каждое однократное нажатие кнопки задает время выдержки 0,5 секунды.

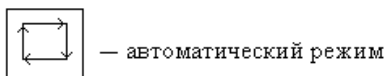
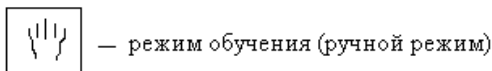
В правой части панели расположены органы управления, используемые в режиме обучения (записи программы):



СТИРАНИЕ – предназначено для очистки запоминающего устройства;

ВКЛ. ИНДИКАЦИИ – служит для индикации состояния таймера и режимов работы.

КОМАНДЫ 1, 2, ..., 7 – предназначены для управления технологическим оборудованием.



Запоминающее устройство робота предназначено для записи, хранения и выборки программы. В запоминающем устройстве может храниться до 9 программ. На горизонтальной панели системы управления расположены переключатель, индикатор номера программы и кнопка «КОНТР.БАТ» (контроль батареи), нажатием которой проверяется наличие автономного питания у запоминающего устройства.

В режиме обучения оператор производит перемещение захватного устройства Анипулятора по заданной траектории с помощью органов управления отдельными степенями подвижности. Траекторию движения задает составленная программа. В автоматическом режиме отработка программы производится без вмешательства оператора.



В режиме обучения информацию набирают на пульте управления и формируют в управляющие слова. Структура слова приведена на рисунке 7.

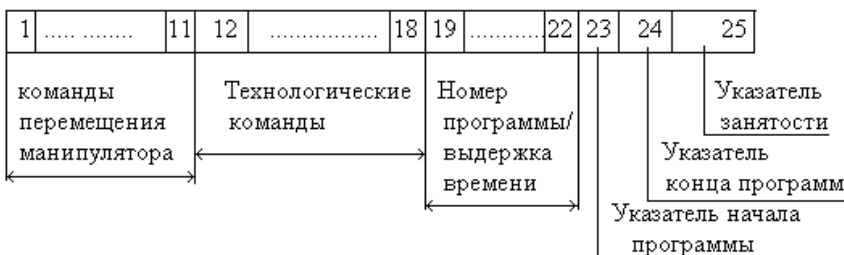


Рисунок 7. Структура управляющего слова в режиме обучения.

Робот РФ-202М может иметь до одиннадцати управляемых координат, каждая из которых принимает два значения.

В разряды I—II записывают команды на соответствующие координаты, 12-18 – команды на технологическое оборудование. Последние задают нажатием кнопок группы «КОМАНДЫ» на пульте управления (рисунок 3).

В режиме обучения формируется содержимое разрядов 23 и 24. Если в разряде 23 записана «1» (адресное слово), в разрядах 19-22 формируется код номера программы, а если «0» - код дорожки манипулятора в точке. В разряде 25 формируется признак занятости (логическая «1»). Разряды 19-25 записываются в запоминаящем устройстве (ЗУ).

По команде «НАЧАЛО ПРОГРАММЫ» узел поиска находит свободное слово в модуле памяти и передает его адрес в узлы управления манипулятором, обработки технологических команд, адреса и поиска.

Сформированный в узле управления манипулятором код слова разрядов I—II поступает на узел усиления управляющих команд и далее – на электроуправляемые клапаны манипулятора. Сформированный в узле обработки технологических команд код слова с разрядами 12-18 поступает на узел усиления технологических команд, усиливается и подается на технологическое оборудование. Узел адреса и задержки формирует в разрядах 19-22 номер программы, в разряде 23-1 (признак адреса слова), в разряде 24-0 (отсутствие признака конца цикла), в разряде 25-1 (признак занятости). При нажатии кнопки «ЗАПИСЬ» сформированное слово (разряды 1-25) записывается в модуль памяти по



найденному адресу.

Последующее обучение производится без нажатия кнопки «НАЧАЛО ПРОГРАММЫ» и в разряды 19-22 записывается временная выдержка захвата в точке, в разряд 23-0, в разряд 24-0, в разряд 25-1.

При обучении манипулятора последнему переходу нажимается кнопка «КОНЕЦ ЦИКЛА», и узел адреса задержки формирует признак конца цикла (I в разряде 24).

Перевод системы управления в режим автоматической работы осуществляется кнопкой «АВТОМАТ». При этом в ЗУ производится поиск программы, номер которой набран на пульте или запрашивается технологическим оборудованием, сравнением заданного номера с номерами, записанными в разрядах 19-22 слова, находящегося в ЗУ. При их совпадении проходит отработка команд управления манипулятором и технологических, записанных в слове. Затем последовательно обрабатываются слова, следующие за адресным, до слова, в котором записан признак конца цикла.

Если в процессе отработки не поступает сигнал с технологического оборудования о смене программы, то первоначальная программа обрабатывается циклически. В противном случае после завершения отработки последнего кадра предыдущей выполняется программа, запрошенная технологическим оборудованием.

Наладка робота на требуемые величины зоны обслуживания производится вручную наладчиком с помощью перемещения и поворота на требуемый угол корпусов пневмоцилиндров манипуляторов и установки кулачков на механизме поворота. Величина подъема колонны постоянна.

Программа-тренажёр по управлению роботом РФ-202М

Назначение программы: Имитация работы промышленного робота РФ-202М в целях обучения студентов работе с ним.
Основные части тренажёра (рис.8.):

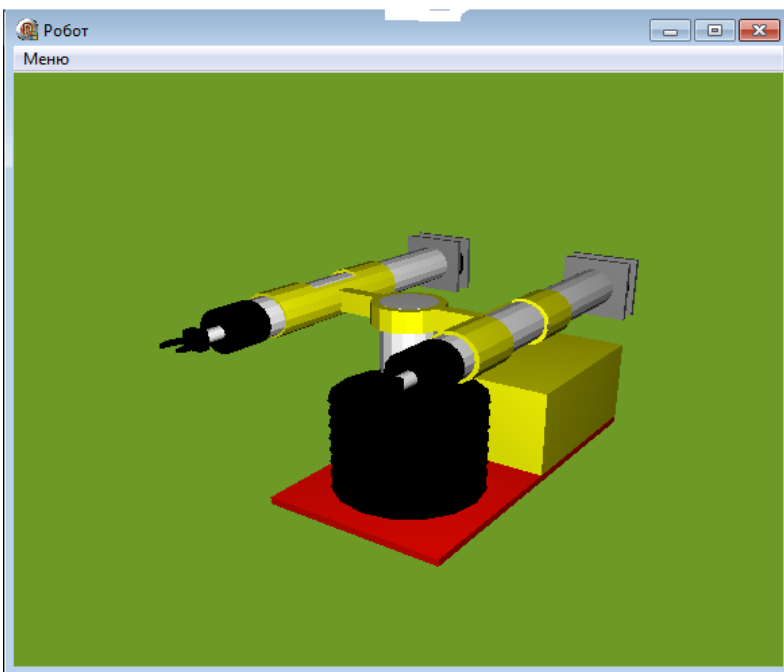


Рис.8. Общий вид робота

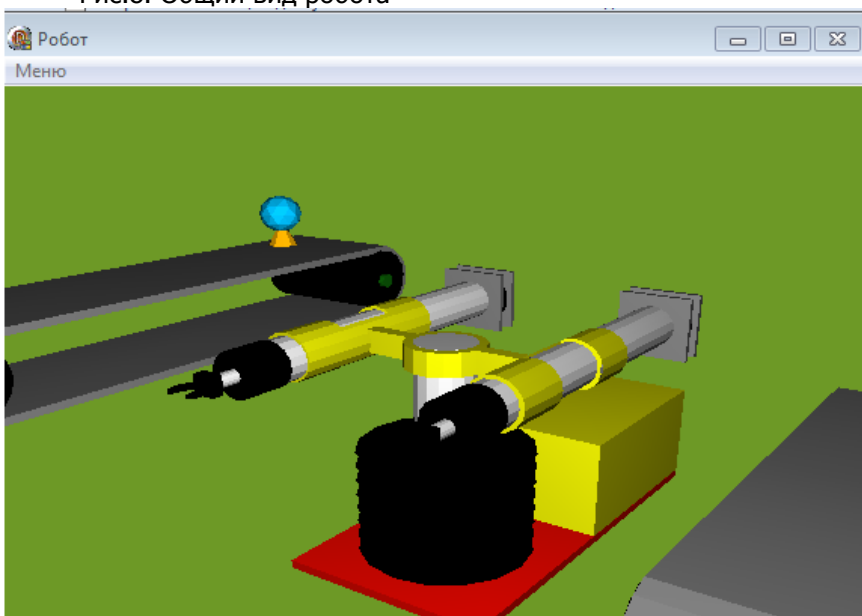


Рис.9. Общий вид робота с конвейерами



1) Окно 3D-вида (рис.1), отражающее текущее положение робота. Также содержит меню с пунктами: справка, проверочный тест приобретённых навыков, а также выход их программы.

2) Пульт управления (рис.3). Имитирует реальный пульт управления роботом РФ-202М, а также позволяет осуществлять переключение на режим "Конвейера" и обратно.

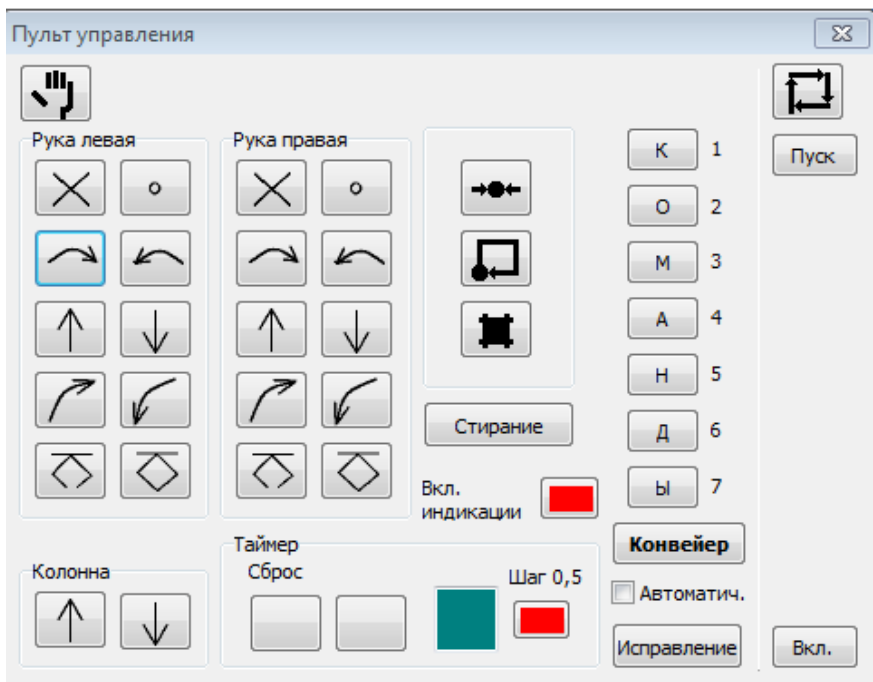


Рис.10. Пульт управления роботом

3) Модуль тестирования. Запускается после выбора соответствующей части тренажёра.


Пульт управления Для работы с тренажёром прежде всего необходимо нажать кнопку "Вкл.", затем "Вкл. индикации", после чего работа с тренажёром возможна по двум основным направлениям:


1) с конвейером - режим, в котором робот участвует в перемещении детали с одного конвейера на другой.



2) без конвейера - режим, в котором пользователь может обучать робота, выполнять записанную программу, а также просто отдавать различные команды. Переключение между режимами осуществляется кнопкой "Конвейер". В режиме конвейера воз-






можно работа как в ручном, так и в автоматическом режиме. Переключение между этими вариантами работы происходит установкой и снятием флага "Автоматич.", который располагается под кнопкой "Конвейер".



В режиме без конвейера для перехода в режим обучения работа необходимо нажать кнопку с изображением руки -  . Чтобы стереть старую программу, записанную в память робота,



следует зажать кнопку "Стирание", после чего нажать  . Перед началом обучения робота обязательно следует установить номер обучаемой программы с помощью кнопок "К О М А Н Д Ы". Инициация процесса обучения робота осуществляется нажатием



кнопки  при зажатой кнопке  . Запись обучаемых команд

осуществляется нажатием кнопки  после каждой запоминаемой команды изменения состояния. Роботу могут быть даны следующие команды изменения состояния:

 и  - выдвинуть и задвинуть одну из рук робота.

 и  - поворот робота на 90 градусов в заданном направлении.

 и  - управление захватом робота (для каждой руки отдельно).


 и  - поворот руки на 90 градусов в заданном направлении (для каждой руки отдельно).

 и  - поднять и опустить колонну.

Также есть возможность при обучении робота устанавливать время задержки перед выполнением некоторой команды, для этого необходимо нажать кнопку "Шаг 0,5". Каждое нажатие этой кнопки увеличивает время задержки на полсекунды.



В конце обучения при зажатой кнопке  нажать  .

Запуск программы осуществляется зажатием  и последующим нажатием кнопки "Пуск".

Для кнопки "Исправить" в данном тренажёре пока какие-либо функции не предусмотрены.

Порядок выполнения лабораторной работы:

Ознакомиться с методическим руководством и изучить конструкцию промышленного робота РФ 202М.

Получить задание у преподавателя на разработку алгоритма работы робота.

Составить эскиз зоны обслуживания робота и траектории перемещения захватных устройств с указанием опорных точек.

Составить циклограмму работы робота с расчетом основных временных составляющих и определить время цикла.

Составить и описать программу управления роботом в соответствии с алгоритмом.

Включить тренажер робота и отработать программу в ручном режиме.

Ввести программу для работы робота в автоматическом режиме.

Оформить отчет о выполнении лабораторной работы и сдать преподавателю.

Пример задания:

Алгоритм работы робота:

- 1) Колонна вверх
- 2) Рука 1 вперёд
- 3) Сжать
- 4) Рука 1 назад
- 5) Поворот 1 вправо
- 6) Ротация 1 влево
- 7) Колонна вниз
- 8) Рука 1 вперед
- 9) Разжать
- 10) Рука 1 назад
- 11) Поворот 1 влево

Варианты заданий:

подъем колонны, разжим схвата 1, выдвижение руки 1, зажим схвата 1, разжим схвата 2, выдвижение руки 2, зажим схвата 2, втягивание руки 1, втягивание руки 2, поворот колонны,



выдвижение руки 1, втягивание руки 2, поворот колонны, выдвижение руки 2, разжим схвата2, возврат в исходное положение.

То же, но с ротацией схватов.

Вариант 1, но без подъема колонны.

Вариант 2, но без подъема колонны.

Вариант1,но с заменой последовательности (изменение руки 1 на руку 2 и наоборот).

Произвольная программа по усмотрению студента.

Для включения и подготовки робота РФ202М к работе необходимо включить компрессор, включить систему управления нажатием кнопки "ВКЛ", нажать две кнопки для обеспечения работы манипуляторов в данном режиме, нажать кнопку "КОНТР БАТ.", проверить наличие питания ЗУ по загоранию лампочки, "сбросить" память.

В соответствии с методическими указаниями проверили работу в ручном режиме и ввели программу в память путем последовательного нажатия кнопок управления и кнопки "ВВОД".

Контрольные вопросы:

1. Каким образом производится наладка робота на требуемую зону обслуживания?
2. Что включает структурная схема управления роботом?
3. Как формируется команда в системе управления?
4. Как выглядит структурная формула манипулятора?
5. Как осуществляется работа электропневмоклапана?
6. Сколько программ может храниться в памяти системы управления?

Лабораторная работа №2

Название работы: Программирование промышленных роботов с использованием компьютерного эмулятора микропроцессорного циклового устройства (МПЦУ).

Цель работы: ознакомление с устройством, принципами работы и системой команд МПЦУ, получение навыков его программирования.

Устройство МПЦУ

МПЦУ предназначено для управления РТК и автоматическими линиями при автоматизации технологических циклов в условиях средне и мелкосерийного производства.

МПЦУ представляет собой микропроцессорное устройство, ориентированное на задачи циклового и программно-логического управления технологическим оборудованием. Алгоритм работы



данного устройства определяется программой, вводимой в его память.

МПЦУ имеет модульный принцип построения. В его состав входят следующие блоки:

- 1) модуль преобразователя (МПРБ);
- 2) модуль стабилизатора 5В;
- 3) модуль стабилизатора 12В;
- 4) модуль выходов (Мвых);
- 5) модуль входов (Мвх);
- 6) модуль энергонезависимой памяти (МЭНП);
- 7) модуль памяти (МП);
- 8) модуль процессора (МПР);
- 9) пульт управления (ПУ).

В операциях обмена данными управляющим устройством МПЦУ является модуль процессора, исполнительным устройством - модули систем памяти и ввода-вывода.

Модуль процессора (МПР), выполненный на базе БИС КР580ИК80, осуществляет сбор, цифровую обработку и вывод информации в соответствии с исполнительной программой, записанной в перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) модуля памяти.

Последовательностью операции обмена данными между модулем процессора и модулями-исполнителями управляет исполнительная программа, назначение которой состоит в преобразовании инструкций, введенных оператором с пульта управления или поступающих от управляющей программы, в последовательности кодов машинного языка микропроцессора, реализующих эти инструкции.

Управляющая программа - программа, написанная в кодах команд входного языка МПЦУ и обеспечивающая выполнение заданного алгоритма управления внешним оборудованием. Она размещается в модулях энергонезависимого ЗУ (МЭНЗУ).

Пульт управления (ПУ) совместно с модулем управления (МУ) составляют технические средства общения оператора с МПЦУ. ПУ включает в себя клавиатуру для ввода команд и управления режимом работы МПЦУ, однострочный дисплей, предназначенный для отображения контролируемой оператором информации, и индикаторы режимов работы. МУ обеспечивает сопряжение клавиатуры и индикации ПУ с внутренней магистралью обмена информацией МПЦУ.

Модули ввода (МВВ) и вывода (МВЫВ) дискретных сигналов предназначены для связи МПЦУ с внешним технологическим обо-



рудованием. Они обеспечивают преобразование уровней и гальваническую развязку сигналов, а также индикацию состояния каждого входа и выхода МПЦУ.

Режимы работы МПЦУ

Режимы работы МПЦУ представлены в таблице 1.

Переключение режимов происходит следующим образом: нажимается клавиша "P", затем номер режима (см. таблицу). Текущий режим работы МПЦУ показывается соответствующим индикатором режима на пульте управления. После загрузки система переходит в режим "Ручного управления".

Таблица 1

Режимы работы МПЦУ

Номер режима	Название режима	Включенный индикатор
0	Автоматическая работа	А
1	Ручное управление	Р
2	Пошаговая работа	Ш
3	Ввод программы	ВП
4	Просмотр программы вперед	ПП
5	Просмотр программы назад	ПП
6	Функциональная клавиатура (робот 1)	Р
7	Функциональная клавиатура (робот 2)	Р

Режим №0 "Автоматическая работа"

Автоматический режим работы является основным и предназначен для управления технологическим оборудованием в соответствии с алгоритмом, реализованным в виде управляющей программы, хранимой в ЭНЗУ.

Режим №1 "Ручное управление"

В режиме ручного управления процессор взаимодействует с ПУ аналогично режиму "Ввод программы", однако сформированный код команды не записывается в ЭНЗУ, а выполняется. Содержимое счетчика команд при этом не изменяется и не индицируется.

Режим №2 "Пошаговая работа"

Данный режим является средством отладки управляющих программ. При этом режиме процессор осуществляет выборку из ОЗУ и выполнение очередной команды, после чего модифицирует содержимое счетчика команд и переходит в режим ожидания ввода с клавиатуры. Каждое нажатие клавиши, если оно не



связано с изменением режима работы, переводит процессор на выполнение очередного шага программы.

Режим №3 "Ввод программы"

Используется для записи кодов команд управляющей программы в ЭНЗУ. Необходимая команда набирается оператором на клавиатуре ПУ. Процессор под управлением исполнительной команды считывает коды нажатых клавиш, формирует из них код команды и пересылает его в ЭНЗУ по адресу, определяемому счетчиком команд, который размещен в ОЗУ МП.

По окончании пересылки каждой команды содержимое счетчика команд увеличивается на единицу. Вводимая информация совместно с текущим значением счетчика команд отображается на дисплее ПУ.

Режимы №4 и №5 "Просмотр программы"

Используются для контроля оператором управляющей программ, хранящейся в памяти МПЦУ. В соответствии с адресом ячейки ЭНЗУ, записанном в счетчике команд, производится считывание содержащейся в этой ячейке информации и вывод ее на индикацию совместно с текущим значением счетчика команд. Содержимое счетчика команд модифицируется в зависимости от режима (прибавляется 1 в режиме №4 или отнимается в режиме №5).

Режимы №6 и №7 "Функциональная клавиатура"

Используются для управления манипуляторами от клавиатуры с использованием подпрограмм, записанных в ПЗУ, обеспечивающих включение звеньев манипулятора нажатием одной клавиши. Код включения движения звена манипулятора вводится нажатием оператором соответствующей клавиши. Процессор под управлением исполнительной программы считывает код нажатой клавиши, отыскивает в ПЗУ соответствующую подпрограмму и приступает к ее выполнению. Содержание счетчика команд при этом не изменяется и не индицируется.

Регистры МПЦУ

"БА" - номер зоны памяти, из которой выбираются команды управляющей программы;

"СК" - счетчик команд, содержимое которого определяет адрес команды;

"БУ" - бит условия, значение которого устанавливается в зависимости от результата выполнения ряда операций. Анализ бита условия используется для управления кодом выполнения управляющей программы;

"УС" - регистр указатель стека, определяющий адреса ячеек



ОЗУ, в который запоминаются значения "БА" и "СК" при обращении к подпрограмме, и откуда они выбираются при выполнении команды "Возврат";

шестнадцать счетчиков, содержание которых может изменяться от 0 до F. При необходимости счетчик может быть использован как однокбитная память.

Система команд МПЦУ

Основные команды МПЦУ (см. таблицу 2) по функциональному назначению делятся на следующие группы:

- 1) команды ввода-вывода;
- 2) команды управления программой;
- 3) команды управления счетчиками;
- 4) команды контроля и редактирования программы;
- 5) команды тестового контроля функциональных блоков;
- 6) команды, ориентированные на управление пневматическими манипуляторами по путевому признаку.

Формат команды МПЦУ

Слово команды МПЦУ делится на два поля длиной по восемь разрядов: поле кода операции и поле операнда.

N0, N1, N2, N3 - кодируются символами шестнадцатеричной системы исчисления.

Таблица 2

Основные команды МПЦУ

Формат команды		Содержание команды
Код операции (N3 и N2)	Операнд (N1 и N0)	
Команды ввода-вывода		
01	адрес входа	ожидание отсутствия входного сигнала. Переход к выполнению следующей команды программы происходит только при отсутствии сигнала на входе с заданным адресом
02	адрес входа	ожидание наличия входного сигнала. Переход к выполнению следующей команды программы происходит только при наличии сигнала на входе с заданным адресом



03	адрес входа	проверка входа на отсутствие сигнала. При отсутствии сигнала на входе с заданным адресом бит условия сохраняет предыдущее значение, в противном случае бит условия обнуляется
04	адрес входа	проверка входа на наличие сигнала. При наличии сигнала на входе с заданным адресом бит условия сохраняет предыдущее значение, в противном случае бит условия обнуляется
05	адрес выхода	включить выход с заданным адресом
06	адрес выхода	выключить выход с заданным адресом
07	T	выдержка времени (команда задержки выполнения управляющей программы на время T·0,1с)
12	адрес выхода	вывод бита условия прямой (выход с заданным адресом устанавливается в соответствии с содержанием бита условия)
13	адрес выхода	вывод бита условия инверсный (выход с заданным адресом устанавливается в соответствии со значением, противоположным содержимому бита условия)
1E	адрес входа	бит условия принимает значение сигнала на входе с заданным адресом
1F	адрес входа	бит условия принимает инверсное значение сигнала на входе с заданным адресом
<u>Команды управления программой</u>		
00	00	нет операции (безусловный переход к выполнению следующей команды программы)
08	00	останов программы
09	адрес команды	безусловный переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу



0A	адрес команды	переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу, если в бите условия "1", в противном случае происходит выполнение следующей команды программы
0B	адрес команды	переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу, если в бите условия "0", в противном случае происходит выполнение следующей команды программы
10	адрес команды	переход к подпрограмме (переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу, с запоминанием адреса возврата)
11	00	возврат из подпрограммы
<u>Команды управления счетчиками</u>		
0D	0, номер счетчика	сброс счетчика (обнуление счетчика с заданным номером)
0C	0, номер счетчика	содержимое счетчика с заданным номером увеличивается на 1
0E	число, номер счетчика	сравнение счетчика (если содержимое счетчика с заданным номером равно числу, то бит условия сохраняет свое предыдущее значение, в противном случае бит условия обнуляется)
<u>Команды управления однобитовой памятью</u>		
20	адрес бита	установка адресованного бита в "1"
21	адрес бита	установка адресованного бита в "0"
22	адрес бита	считывание содержимого адресованного бита и сравнение с "1" (если содержимое адресованного бита соответствует "1" бит условия сохраняет своё значение, в противном случае бит условия обнуляется)



23	адрес бита	считывание содержимого адресованного бита и сравнение с "0" (если содержимое адресованного бита соответствует "0", бит условия сохраняет своё значение, в противном случае бит условия обнуляется)
24	адрес бита	установка адресованного бита в соответствии со значением бита условия

Таблица 3

Команды режима функциональной клавиатуры

Клавиша	Команда	Операнд	Движение	Включение выхода
0	F0	00 (01)	выдвижение руки	0
1	F1	00 (01)	втягивание руки	1
2	F3	00 (01)	поворот вправо	3
3	F2	00 (01)	поворот влево	2
4	F4	00 (01)	подъем	4
5	F5	00 (01)	опускание	5
A	FA	00 (01)	разжим схвата	A
B	FB	00 (01)	зажим схвата	–

Программирование МПЦУ в режиме эмуляции

Компьютерный эмулятор использует максимально приближенный интерфейс и возможности данного МПЦУ, что позволяет тренировать навыки в программировании и работы с реальным устройством. Для легкого понимания основ программирования и особенностей построения МПЦУ в тренажер встроена функция для вывода информации о состоянии внутренних регистров после выполнения каждой команды, также тренажер показывает состояние входных и выходных битов в процессе выполнения команд. В эмуляторе к МПЦУ подключены два цикловых робота, которые изменяют свое положение в зависимости от работы управляющей программы (в автоматическом режиме) или от действий оператора (в ручном режиме).

В компьютерном эмуляторе состояние входных и выходных



сигналов отображается в соответствующих модулях (три модуля ввода и вывода). К модулям с номерами 0 и 1 подключены два манипулятора, третий модуль ввода (номер 2) используется для подачи входных сигналов от возможного оборудования (состояние входов для модуля ввода 2 определяется наличием отметки в нужном бите; для задания сигнала необходимо кликнуть на нужном бите).

Если во время работы необходимо восстановить исходное положение или остановить выполнение какой-нибудь команды или программы, то нужно нажать на клавишу сброс. При этом регистры обнуляются, манипуляторы принимают начальные положения, а введенная программа остается без изменения.

После набора программы в эмуляторе встроена возможность сохранения введенной программы и последующего ее считывания.

Чтобы ранее набранная программа не мешала программированию, в эмулятор введена процедура очистки памяти.

Задание №1

Алгоритм работы РТК:

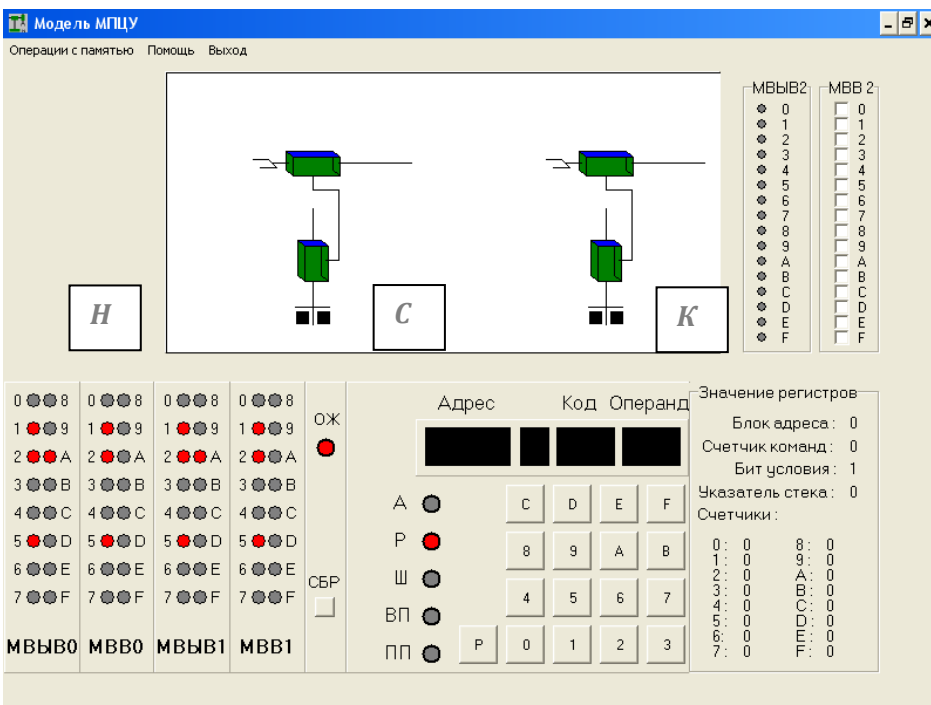
Выставление звеньев роботов 0 и 1 в исходное положение (см. рис. ниже).

Если станок свободен (появление сигнала на входе 20 модуля ввода 2), то робот 0 берет из накопителя заготовку и подает ее на станок. Для этого роботу 0 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", подняться, развернуться вправо, опуститься, вытянуть "руку", задержка времени 5 сек, разжать схват, втянуть "руку".

При окончании обработки заготовки на станке (появление сигнала на входе 21 модуля ввода 2) робот 1 берет из станка деталь и подает ее на конвейер. Для этого роботу 1 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", подняться, развернуться вправо, опуститься, вытянуть "руку", разжать схват, втянуть "руку".

При появлении сигнала на входе 22 модуля ввода повторить действия, начиная с пункта 1 данного алгоритма работы.

Исходное положение роботов:



Задание №2

Алгоритм работы РТК:

Выставление звеньев роботов 0 и 1 в исходное положение (см. рис. ниже).

Если станок свободен (появление сигнала на входе 23 модуля ввода 2), то робот 1 берет из накопителя заготовку и подает ее на станок. Для этого роботу 1 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", подняться, развернуться влево, опуститься, вытянуть "руку", задержка времени 10 сек, разжать схват, втянуть "руку".

При окончании обработки заготовки на станке (появление сигнала на входе 24 модуля ввода 2) робот 0 берет из станка деталь и подает ее на конвейер. Для этого роботу 0 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", подняться, развернуться влево, опуститься, вытянуть "руку", разжать схват, втянуть "руку".

При появлении сигнала на входе 25 модуля ввода повторить действия, начиная с пункта 1 данного алгоритма работы.

Исходное положение роботов

Модель МПЦУ

Операции с памятью Помощь Выход

К С Н

0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
MВЫВ0	MВВ0	MВЫВ1	MВВ1

ОЖ

СБР

Адрес Код Операнд

А С D E F

Р 8 9 A B

Ш 4 5 6 7

ВП P 0 1 2 3

ПП

Значение регистров

Блок адреса: 0

Счетчик команд: 0

Бит условия: 1

Указатель стека: 0

Счетчики:

0: 0	8: 0
1: 0	9: 0
2: 0	A: 0
3: 0	B: 0
4: 0	C: 0
5: 0	D: 0
6: 0	E: 0
7: 0	F: 0

Задание №3

Алгоритм работы РТК:

Выставление звеньев роботов 0 и 1 в исходное положение (см. рис. ниже).

Если в накопителе Н1 имеется заготовка (появление сигнала на входе 26 модуля ввода 2), робот 0 берет из Н1 заготовку и подает ее на станок. Для этого роботу 0 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", опуститься, развернуться вправо, вытянуть "руку", задержка времени 3 сек, разжать схват, втянуть "руку".

Если в накопителе Н2 имеется заготовка (появление сигнала на входе 27 модуля ввода 2) робот 1 берет из Н2 заготовку и подает ее на станок. Для этого роботу 1 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", опуститься, развернуться влево, вытянуть "руку", задержка времени 3 сек, разжать схват, втянуть "руку".

При появлении сигнала на входе 28 модуля ввода повторить действия, начиная с пункта 1 данного алгоритма работы.

Исходное положение роботов:

Задание №4

Алгоритм работы РТК:

Выставление звеньев роботов 0 и 1 в исходное положение (см. рис. ниже).

Если станок C1 свободен (появление сигнала на входе 29 модуля ввода 2), то робот 0 берет из накопителя заготовку и подает ее на C1. Для этого роботу 0 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", подняться, развернуться влево, опуститься, вытянуть "руку", задержка времени 6 сек, разжать схват, втянуть "руку".

Если станок C2 свободен (появление сигнала на входе 2A модуля ввода 2) робот 1 берет из накопителя заготовку и подает ее на C2. Для этого роботу 1 необходимо выполнить следующие действия: вытянуть "руку", сжать схват, втянуть "руку", подняться, развернуться вправо, опуститься, вытянуть "руку", задержка времени 8 сек, разжать схват, втянуть "руку".

При появлении сигнала на входе 2B модуля ввода повторить действия, начиная с пункта 1 данного алгоритма работы.

Исходное положение роботов:

The screenshot shows the 'Модель МПЦУ' (MPPU Model) software interface. At the top, there are menu options: 'Операции с памятью', 'Помощь', and 'Выход'. The main window displays two robot configurations, labeled C1 and C2, connected to a central unit 'H'. To the right, there are two columns of memory addresses: 'МВЫВ2' and 'МВВ 2', each with a list of addresses from 0 to F. Below the main window is a control panel with a grid of buttons for registers (0-F), a central display for 'Адрес', 'Код', and 'Операнд', and a 'Значение регистров' section with various indicators and values.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:
 Фамилию студента, название группы, дату сдачи.
 Название работы, ее цель.
 Задание, соответствующее конкретному варианту (исходное положение робота, алгоритм его работы).

Схему компоновки РТК.

Текст программы, соответствующей конкретному варианту (требование к программе: выставление роботов в исходное положение необходимо проводить посредством проверки состояния выходов на модулях вывода 0 и 1).

Контроль выполнения работы – ответы на тесты.

Лабораторная работа №3

Программирование промышленного робота РМ-01 с использованием компьютерного эмулятора.

Цель работы: ознакомление с системой программирования ARPS и получение навыков программирования промышленного робота РМ-01.

Описание системы программирования ARPS

Система программирования ARPS является основой



программного обеспечения промышленного робота РМ-01 и позволяет осуществлять программирование работы робота методом обучения и аналитически, путем задания последовательных положений звеньев, либо координат схвата. ARPS позволяет запись готовых программ на отдельный носитель информации, составление новых программ в процессе работы робота, формирование библиотеки подпрограмм. Пользователю доступна также особая группа команд для выполнения специальных операций и редактирования текста, а также команды пультового терминала, позволяющие взаимодействовать с системой на уровне машинных кодов.

Язык программирования ARPS допускает использование следующих типов переменных и констант: целые, действительные, переменные положения. Для обозначения переменных используются буквы A...Z, цифры 0...9 и знак точки ".". Длина имени не ограничена, но не рекомендуется использовать более 10 знаков. Первым символом имени всегда должна быть буква.

Целые числа используются для обозначения каналов ввода-вывода, количества повторений цикла, номеров звеньев манипулятора и т.п. Они могут изменяться в пределах от -32768 до +32767. Над целыми числами можно производить арифметические действия.

Действительные числа используются при определении расстояний, угловых величин, скорости, времени задержки. Расстояния задаются в миллиметрах и могут принимать значения от -1024,00 до +1023,99 мм с дискретностью 0,01 мм. Угловые величины задаются в градусах и изменяются от -180 до +179,995° с дискретностью 0,005°. Скорость перемещения манипулятора устанавливается заданием абсолютных значений (в мм/с) и коэффициентом масштабирования (в %) и изменяется в пределах от 2,0 до 3000,0 мм/с с дискретностью 0,1 мм/с. Время задержки задается в секундах и может изменяться от 0,00 до 327,7 с дискретностью 0,01 с.

Все команды языка ARPS по функциональному назначению можно разделить на следующие группы:

- команды определения точек;
- команды установки скорости;
- команды управления движением манипулятора;
- команды управления схватом;
- команды передачи управления в программе;
- команды управления входами/выходами;
- команды сдвига координат инструмента;



- команды управления конфигурацией руки робота;
- команды останова;
- команды управления НГМД;
- специальные команды.

Команды определения точек

Точка определяет ту позицию в технологической зоне робота, в которую (или через которую) манипулятор должен переместиться, а также ориентацию схвата. Различают три типа точек: абсолютные, координатные и комбинированные. Точке присваивается имя. В качестве имени используется совокупность символов из букв /A-Z/, цифр /0-9 / и знака "#", не превышая 10 знаков. Первым символом имени точки должна быть буква или символ "#" - для абсолютных точек.

Абсолютные точки определяют положение манипулятора в обобщенной системе координат. Координатные точки определяют положение манипулятора в базовой (декартовой) системе координат. Комбинированные точки формируются относительно какой-нибудь ранее определенной точки, которая должна быть координатной.

Команда HERE служит для фиксирования в 3У координат текущей позиции манипулятора для указанной в команде точки.

Формат команды: HERE <точка>, где <точка> - имя абсолютной, координатной или комбинированной точки. Задание координат производится выводом манипулятора в требуемое положение с помощью пульта ручного управления и ввода после этого команды HERE.

Команда FRAME служит для формирования рабочей плоскости для робота. Она имеет формат: FRAME S=A,AX,PX[AO], где S - название формируемой плоскости; A - точка начала системы координат в FRAME; AX - направление оси X FRAME относительно точки A; PX - точка, через которую проходит плоскость, параллельная оси X FRAME; AO - окончательное начало системы координат FRAME: значения X, Y, Z. Если AO не задано, то начало системы координат расположено в точке A.

Команда DISTANCE служит для вычисления расстояния между двумя точками. Формат команды: DISTANCE S=T1,T2, где S - целочисленная переменная, которой присваивается значение расстояния между точками T1 и T2, которые должны быть координатными.

Команда LOCATE служит для определения точки через другую. Формат команды: LOCATE T1=[INVERSE]T2. Например: LOCATE #A1=#A2 - абсолютная точка #A1 принимает значение



координаты точки #A2.

Команда SHIFT служит для перемещения точки в основной системе координат. Она имеет формат: SHIFT T=[dx],[dy],[dz], где dx - приращение в мм, прибавляемое к значению x точки T; dy - приращение, прибавляемое к y; dz - приращение, прибавляемое к z.

Команды установки скорости

С помощью этих команд задаются скорости движения инструмента, закрепленного на манипуляторе.

Командой SPEED задается базовая скорость движения инструмента. Формат команды: SPEED V, где V-скорость в мм/с по прямой (V= 2...3000 мм/с). Например, SPEED 4000 задает скорость движения инструмента, равную 400 мм/с.

Команда SPEED NEXT задает базовую скорость движения инструмента только на время следующей команды движения.

Командой SPEED % задается масштабный коэффициент скорости. При выполнении команд перемещения манипулятора действительная скорость движения инструмента получается путем умножения базовой скорости на масштабный коэффициент, задаваемой целой переменной или целой константой в диапазоне 1...300%. Например, SPEED %50 устанавливает масштабный коэффициент скорости, равный 50%. Если базовая скорость была 200 мм/с, то после выполнения команды действительная скорость будет равна 100 мм/с.

Командой MAX SPEED задается верхний (максимальный) предел скорости движения манипулятора. По умолчанию верхний предел скорости принимается равным 500 мм/с.

Команды управления схватом

К этим командам относятся: OPEN, CLOSE, ODELAY, CDELAY.

Команда OPEN вызывает разжатие схвата (время разжатия 0,2 сек).

Командой CLOSE реализуется сжатие схвата. По умолчанию время задержки при сжатии составляет 0,2 сек.

С помощью команды ODELAY устанавливается время задержки схвата при разжатии. Формат команды: ODELAY T, где T - время задержки на разжатие схвата.

Командой CDELAY устанавливается время на сжатие схвата.

Команды управления входами/выходами

С помощью этих команд осуществляется перевод соответствующих линий входов/выходов в активное или пассивное состояние, проверка состояния линий, управление разрешением/запрещением прерываний.



Команда OUT управляет состоянием выходных линий.

С помощью команды RUNOUT в пассивное состояние переводятся все отмеченные линии.

Командой OUTGROUP устанавливается значение указанного 16-канального выходного порта.

С помощью команды WAITIN можно проверить состояние соответствующей линии. При выполнении этой команды происходит ожидание до тех пор, пока на всех указанных линиях не будет достигнуто требуемое состояние.

Командой INCALL инициируется внешнее прерывание.

Команды сдвига системы координат инструмента

Команда TOOL имеет формат: TOOL [dx],[dy],[dz],[δx],[δy],[δz], где dx, dy, dz - величины сдвига в мм по осям x,y,z соответственно, δx , δy , δz - величины сдвига в градусах по соответствующим осям.

Команда LTOOL имеет формат: LTOOL T, где T - координатная точка, значение которой задается в качестве сдвига системы координат инструмента.

Команды управления конфигурацией руки робота

Командой J2 RIGHT выбирается конфигурация "правая рука" (при движении манипулятора в следующую точку, шарнир 2 находится на правой стороне при взгляде сзади кожуха данного шарнира).

Командой J2 LEFT выбирается конфигурация "левая рука".

Командой J3 UP выбирается конфигурация "локоть в правом положении", а командой J3 DOWN - "локоть в левом положении" (для шарнира 3).

С помощью команд J5 PLUS и J5 MINUS задается конфигурация пятого шарнира: угловая величина положительная или отрицательная.

Команды останова

Команда STOP имеет формат: STOP ["текст"],[S], где S - число; "текст" - произвольный текст. При выполнении команды STOP прекращается выполнение программы и на экран отображается текст и число. Продолжение выполнения программы возможно после ввода директивы CONTINUE.

Команда HALT, имеющая формат: HALT ["текст"],[S] идентична команде STOP, за исключением того, что после этой команды невозможно продолжить выполнение программы директивой CONTINUE.

По команде EXIT останавливается выполнение программы при окончании рабочего цикла.



Команды управления НГМД

Команда LOAD используется для загрузки в ЗУ из НГМД программ или точек.

Команда DLOAD используется для удаления программ и/или точек из файлов, размещенных предварительно в ЗУ.

Команда FRACK предназначена для подготовки к использованию свободных зон НГМД, образовавшихся за счет сжатия файлов.

Команда STORE предназначена для записи программ и/или точек, находящихся в данный момент в ЗУ на НГМД с соответствующим именем.

Команды передачи управления в программе

Команда JUMP используется для безусловной передачи управления.

Команда IF применяется для организации ветвлений.

Команда CALL используется для передачи управления подпрограмме.

Каждая подпрограмма должна завершаться командой RETURN. Эта команда используется для возврата управления из подпрограммы в вызывающую программу.

Специальные команды

Командой BASE производится сдвиг основной системы координат.

Команда DELAY используется для программного задания временных задержек.

Команда DISABLE используется для вычисления программного прерывателя.

Команда SET используется для вычисления значения переменной целого типа.

По команде CAL выполняется калибровка манипулятора, т.е. вычисляются точные углы сочленений шарниров.

Командой CLOAD производится загрузка новых калибровочных данных с диска для энкодера двигателей манипулятора.

Командой ZERO указанные линии выхода устанавливаются в пассивное (нулевое) состояние.

Команда C /текст/ выводит соответствующую строку текста.

Команда EDIT PROG инициирует редактирование программы.

Команды управления движением манипулятора

Командами управления движением манипулятора осуществляется его перемещение в заданную точку.

Командой GO реализуется интерполированная траектория



движения в заданную точку. Формат команды GO T, где T - абсолютная, координатная или комбинированная точка.

Командой GOS реализуется прямолинейное движение из текущей точки в заданную.

Командами GO OPEN, GOS OPEN выполняются операции, аналогичные вышеописанным командам, но в начале движения выполняется разжатие схвата манипулятора.

Команды GO CLOSE и GOS CLOSE аналогичны командам GO и GOS, но в начале движения выполняется сжатие схвата.

Командами GO NEAR и GOS NEAR реализуется перемещение манипулятора по интерполированной /прямолинейной/ траектории на требуемое расстояние к заданной точке в направлении оси системы координат инструмента.

Команда GOS WEAVE предназначена для перемещения манипулятора по прямолинейной траектории в заданную точку при одновременном колебании манипулятора.

По командам MOVE или MOVES манипулятор перемещается на заданное расстояние относительно основной системы координат соответственно по интерполированной или прямолинейной траектории.

По командам TMOVE или TMOVES манипулятор перемещается на заданное расстояние относительно системы координат инструмента по интерполированной или прямолинейной траектории.

С помощью команды MOVE JOINT выполняются движения отдельных шарниров робота. Формат команды: MOVE JOINT N, F, где N - целочисленная константа от 1 до 6, указывающая номер шарнира; F - величина угла в градусах, на который необходимо переместить шарнир.

По команде ALIGN происходит выравнивание инструмента манипулятора по осям основной системы координат.

По команде GO READY манипулятор перемещается в вертикальное положение.

Переключатели программ

С помощью переключателей (фиксированные переменные) можно программно управлять режимами работы системы ARPS. Переключатели могут быть в одном из двух возможных состояний: активном или пассивном. Смена состояний переключателя возможна с помощью команд: ENABLE (перевести в активное состояние) и DISABLE (перевести в пассивное состояние).

В системе ARPS возможно использование следующих переключателей: BREAK, DISTIO, INCALL, PRINT, SEPPOR.



Переключатель BREAK влияет на непрерывность работы робота. Переключатель DISTIO влияет на режим выполнения команды DISTANCE. Переключатель INCALL влияет на разрешение/запрещение прерывания по входным линиям 1...16. Переключатель PRINT влияет на режим выполнения команды PRINT. Переключатель SEPPOP влияет на контроль ошибки сервопривода.

Команды определения точек

WERE выводит на экран значения координат текущей позиции инструмента манипулятора.

Командой LTEACH реализуется обучение робота в режиме ручного управления.

Командой CHANGE реализуется вывод значения точки на экран дисплея с одновременным запросом на изменение.

Команды выполнения программы

По команде RUN PROG или RUN PROG,N запускается на выполнение загруженная в ЗУ программа PROG (N - число повторений программы).

Команда EXIT позволяет остановить выполнение программы в конце рабочего цикла. При этом число повторений обнуляется.

Команда ABORT прерывает выполнение программы в конце текущего шага.

Командой CONTINUE возобновляется выполнение прерванной программы. Команды удаления

По команде LDEL из ЗУ стираются координаты указанных точек, которые могут быть абсолютными или координатными.

Команда FDEL служит для удаления файла с НГМД.

Командой DLOAD производится считывание из НГМД в ЗУ файла и удаление из ЗУ блока управления текущих программ и/или точек, которые имеются в этом файле.

По команде ZERO DISK удаляется содержимое НГМД.

Команды получения листингов

По команде PLIST PROG на дисплей выводится текст программы PROG, а по команде PLIST выводятся тексты всех программ, хранящихся в ЗУ. Командой LLIST выводятся все точки, хранящиеся в ЗУ, а по команде LLIST T1,T2,... на экран выводятся точки T1,T2,....

Командой FDIR на экран выводится список имен файлов, их длина в блоках (объем блока 256 байт) и объем свободных участков НГМД в блоках.

Команда LIST COMANS выводит на дисплей в сокращенной форме команды монитора и редактора, а также типы аргументов команд.



Команда LIST STATUS выводит на дисплей данные о состоянии системы: сдвиг основной системы координат; объем свободной области памяти в ОЗУ; состояние переключателя программ; сдвиг системы координат инструмента; выполняемая программа и шаги программы; выполненное число программ и общее число прогонов; задание скорости (максимальная скорость, абсолютная скорость, масштабный коэффициент); зеркальная система координат (если используется).

Команда SKALE выполняет масштабирование координат x, y, z .

Команды, реализованные в компьютерном эмуляторе

Команды определения точек

WHERE

Команда позволяет вывести на экран текущие координаты манипулятора.

Если указан символ #, выводятся абсолютные координаты, в противном случае декартовы координаты схвата. Остановка работы команды производится клавишами CTRL-"S"

Команды задания точек

HERE #<Имя точки>

Команда позволяет задать абсолютную координатную точку с указанным именем.

Команды управления движением манипулятора

GO #<Имя точки>

Команда движения схвата в определенную точку.

SPEED <скорость>

Команда задания скорости движения. Допустимый диапазон (2...3000).

Команды управления схватом

OPEN

Команда открытия схвата.

CLOSE

Команда закрытия схвата.

ODELAY <время>

Команда открытия схвата с временной задержкой. Время задается в 0,1 секунды.

CDELAY <время>

Команда закрытия схвата с временной задержкой.

Команды редактирования программы

EDIT <имя программы>

Начинает редактирование программы. Если в памяти нахо-



дится ранее набранная программа, то она удаляется. Остановка работы команды производится клавишами CTRL-"S".

PLIST

Выводит на экран программу, находящуюся в памяти.

Специальные команды

RUN

Запускает программу, находящуюся в памяти.

PRINT <текст>

Распечатывает указанный после команды текст.

DELAY <время>

Осуществление задержки.

PSAVE <имя>

Запись набранной в режиме редактирования программы в файл с указанным именем.

PLOAD <имя>

Чтение раннее сохраненной программы из файла с указанным именем.

Порядок выполнения работы

1. В отчете нарисовать схему компоновки РТК, в состав которого, помимо ПР РМ01, входит такое технологическое оборудование, как, например, металлообрабатывающие станки, бункерно-загрузочные устройства для заготовок или готовых изделий, конвейерные линии и т.д.

2. Написать алгоритм работы робота для созданного РТК.

3. Реализовать полученный алгоритм работы робота посредством программирования с помощью компьютерного эмулятора.

Для начала работы с эмулятором необходимо запустить файл RM 2000.exe и через раздел программы Views открыть дополнительные окна, в которых изображен пульт оператора ПР РМ-01 (Manual control) и визуализируется модель робота (Render window).

Программирование робота осуществляется в следующей последовательности:

1) обучение позициям (точкам) (общее количество должно быть не менее 12), в которую (или через которую) должен переместиться схват робота в соответствии с разработанной схемой РТК. Координаты каждой точки фиксируются в памяти эмулятора посредством команды HERE. Эмулятор позволяет определять только абсолютные точки. Перемещение в требуемую точку осуществляется с помощью пульта оператора, в котором расположение и названия "кнопок" и "индикаторов" соответствуют ориги-



нальному пульту ручного управления ПР РМ-01;

2) написание программы. Ввод программы начинается с команды edit <имя программы>. В тексте программы используются имена точек, созданных на первом этапе. При написании программы необходимо обеспечить появление в процессе ее обработки комментариев по поводу каждого действия робота. Также требованием к программе является использование всех команд, реализованных в эмуляторе;

3) отладка программы.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

Фамилию студента, название группы, дату сдачи.

Название работы, ее цель.

Схему компоновки РТК.

Алгоритм работы робота.

Текст программы.

Координаты точек, используемых программой.

Контрольные вопросы ориентированы на проверку знаний студента в области:

общих сведений о системе программирования ARPS;

используемых в данном языке команд: их назначение, формат (для команд, реализованных в эмуляторе);

порядка программирования ПР РМ01.