


МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»

Утверждено на заседании кафедры
«Промышленная автоматика
и робототехника»
«17» января 2023 г., протокол № 2

И.о. заведующего кафедрой

 О.А. Ерзин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
«Автоматизация транспортировки, загрузки и сборки изделий»**

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

с направленностью (профилем)
**Автоматизация технологических процессов и производств
в машиностроении**

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150304-02-22

Тула 2023 год

Разработчик:

Прейс В.В., профессор, д-р техн. наук, профессор
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

1	Изучение работы и определение технической характеристики вибрационного бункерного загрузочного устройства	3
2	Исследование рабочего цикла автоматического загрузочного устройства.	15
3	Изучение работы и определение технической характеристики шибера питателя	25
4	РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ	33

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИОННОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: Изучение общего устройства и работы вибрационного бункерного загрузочного устройства с раздельным возбуждением горизонтальных и вертикальных колебаний; определение основных параметров вибробункера и его производительности в зависимости от различных факторов.

Задачи работы:

1. Изучить конструкцию и управление вибробункером.
2. Изучить конструктивные особенности существующих вибробункеров.
3. Рассчитать основные параметры вибробункера для конкретной детали.
4. Экспериментально исследовать работу вибробункера.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Назначение и принцип работы вибрационных бункерных загрузочных устройств (ВБЗУ)

ВБЗУ совместили в себе транспортные функции вибротранспортеров и функции подготовки к захвату, поточного захвата и ориентирования заготовок в автоматических бункерных захватно-ориентирующих устройствах. ВБЗУ получили широкое распространение во многих отраслях промышленности благодаря ряду преимуществ, к которым можно отнести отсутствие движущихся частей, простоту конструкций, высокую эксплуатационную надежность, возможность транспортирования и ориентирования малопрочных и хрупких материалов. Например, детали имеют малую прочность и склонность к взаимному сцеплению, ВБЗУ являются тогда единственным средством автоматической загрузки.

Принципы работы ВБЗУ заключается в том, что сложное колебательное движение лотка бункера передается заготовкам, которые при определенных условиях начинают скользить по лотку под действием сил инерции.

При работе вибробункеров возникает шум, снижение которого может производиться режимом работы. Для снижения шума лотки, дно и стенки чаши можно покрыть слоем тонкой резины, приклеиваемой к металлу.

В зависимости от выполняемых функций ВБЗУ можно условно разделить на три группы: ориентирующие, транспортирующие и технологические, выполняющие в процессе перемещения технологические операции (сушка, нанесение электрохимических покрытий, покраска и т.д.).

Максимальная производительность вибробункеров достигает 100...500шт/мин.

2.2 Краткие теоретические сведения о работе вибробункера

Виброперемещение в элементарном виде можно представить следующим образом. Поместим транспортируемый объект (заготовку, обрабатываемую деталь, стружку и т. п.) на горизонтально – расположенный лоток (рис 1. а) и будем перемещать этот лоток слева направо с ускорением a . На тело, лежащее на лотке, будут действовать силы трения

$$F_T = \mu P,$$

где P – сила трения, μ - коэффициент трения и инерции, m – масса тела, a – ускорение.

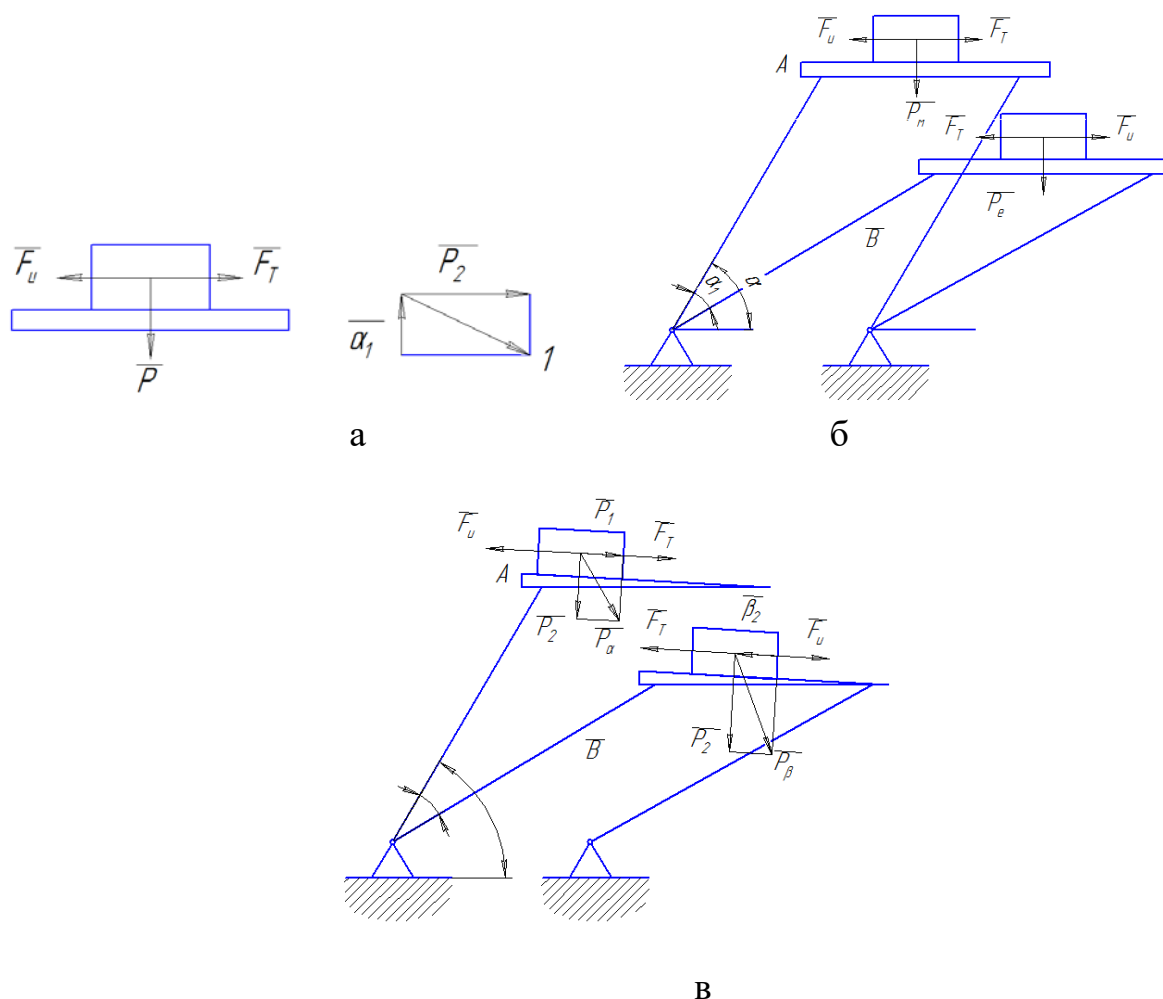


Рисунок 1 - Схема воздействия сил на заготовку а) на плоскости; б) при движении по горизонтальной плоскости; в) при движении по наклонной плоскости

Сила трения $F_u = ma$ заставляет тело перемещаться вместе с лотком, а сила инерции противодействует этому движению.

Если $F_T > F_u$ – тело будет двигаться вместе с лотком,

если $F_T < F_u$ – тело будет проскальзывать, отставать от движущейся плоскости.

Различный характер движения тела можно получить двумя способами: изменяя силу инерции или силу трения.

Изделия, связанные с поверхностью лотка силами трения, характеризуется величиной предельного ускорения $a_{кр}$, сообщаемого изделиям и соответствующего переходу тела от состояния движения вместе с лотком к проскальзыванию. При $a < a_{кр}$ тело движется вместе с лотком, при $a > a_{кр}$ оно отстает от лотка (проскальзывает). Величина критического ускорения $a_{кр}$ не зависит от силы тяжести (и массы) тела и определяется только коэффициентом трения.

Если теперь заставить лоток совершать возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости слева направо с ускорением $a > a_{кр}$, справа налево с ускорением $a < a_{кр}$, то тогда при каждом ходе лотка вправо тело будет проскальзывать по лотку и постепенно перемещаться по нему справа налево.

Приводя лоток в колебательное движение, при неизменной величине ускорения a перемещать тело по лотку, изменяя силу трения (рис. 1, б). Это движение может происходить путем проскальзывания и путем подбрасывания. В последнем случае, который наблюдается при условии $a_v > g$, тело периодически отрывается от вибрирующего лотка и движется по нему скачками; поэтому такой режим работы вибрлотка часто называют “отрывным”. Его применяют в тех случаях, когда необходимо получить особо высокую скорость движения деталей по лотку.

Вибробункер можно расположить наклонно, и приводя в колебательное движение, заставить размещенные на нем детали подниматься по наклонной плоскости лотка. При установке тела на наклонном лотке к рассмотренным ранее силам добавляются составляющие силы тяжести P_l , действующая вдоль лотка (рис. 1, в). Чтобы обеспечить перемещение тела вверх по лотку, выполняют условия $F_T + P_l < F_u$ (при движении лотка вниз), тогда тело будет проскальзывать, отставать от лотка; $F_T > P_l + F_u$ (при движении лотка вверх) – тело будет двигаться вместе с лотком.

2.3 Классификация вибробункеров

Конструкции вибрационных бункерных устройств классифицируют по двум основным элементам – бункеру и приводу.

По форме исполнения бункеры бывают: цилиндрические (рис. 2, а) конические (рис. 2, б) или плоские (рис. 2, в).

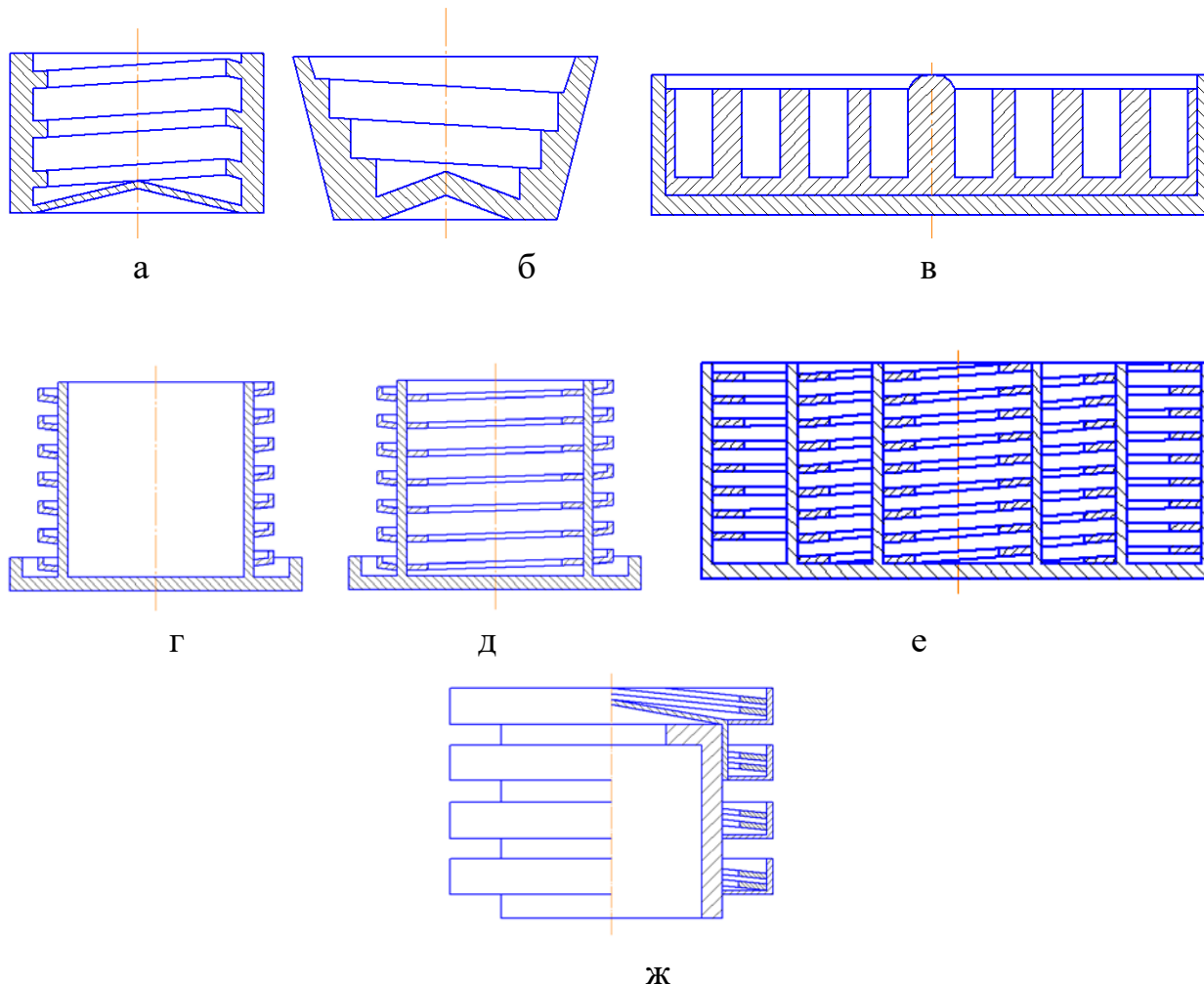


Рисунок 2 - Классификация бункеров

Спиральный лоток может быть нарезан, припаян или приварен к поверхности бункера.

Наилучшие условия работы обеспечиваются в конических бункерах, так как в них полностью исключено заклинивание или застревание подаваемых деталей. Их недостаток заключается в сравнительно высокой трудоемкости. Геометрическая дорожка таких чаш представляет собой коническую спираль. Она может иметь либо постоянный шаг, либо постоянный угол подъема. В обоих случаях скорость движения деталей возрастает по мере их подъема, так как увеличиваются радиус дорожки и, следовательно, местное значение амплитуды колебаний. Однако при постоянном шаге, когда параллельно с увеличением радиуса уменьшается угол подъема, ско-

рость возрастает более значительно, что весьма полезно в автоматах для счета деталей.

По форме лотка бункера различают следующие конструкции: одно -, двух и трехзаходные, с наружным (рис. 2, г), внутренним (рис. 2, а, б, е) или комбинированным расположением лотков (рис. 2, д, ж).

По конструктивному исполнению бункеры бывают: одно- (рис. 2, а, б, в, г), и многочашечными (рис. 2, е, ж, з); с горизонтальным (рис. 2, д, е) и вертикальным расположением чаш (рис. 2, ж).

Размеры чаш (бункеров) с винтовыми лотками регламентируются ГОСТ 20795 – 75.

В верхней части лотков устанавливаются устройства для ориентирования деталей и отсекатели для поштучной подачи их в рабочие органы оборудования. Захватывание изделий производится нижним концом винтового лотка или всем лотком.

Приводы вибробункеров могут быть: механическими, пневматическими, гидравлическими, электромагнитными.

Наибольшее применение нашли электромагнитные виброприводы, являющиеся наиболее совершенными по принципу устройства. Сущность работы электромагнитного привода заключается в том, что магнитный поток, возбуждаемый током в катушке электромагнита, воздействуют на якорь с силой, обратно пропорциональной величине зазора между якорем и статором.

В электромагнитных приводах необходимое возвратно-поступательное движение получается непосредственно без каких либо промежуточных устройств, механизмов. Электромагнитный привод не имеет трущихся деталей, подвергаемых износу, производительность и режимы вибротранспортирования реализуются в широких пределах, имеет высокую надежность при длительной работе.

Электромагнитные вибраторы различаются по ряду признаков:

- По направлению перемещения якоря относительно магнитного потока – параллельные (короткоходовые), перпендикулярные (длинноходовые), под углом (смешанного типа);
- По виду движения якоря – поступательные, вращательные;
- По способу управления и питания – управляемые по времени и по перемещению (автоколебательные) (рис. 3, а)

Вибраторы, управляемые по времени, делятся на: питаемые переменным током (рис. 3, б), однополюсными синусоидальными импульсами (рис. 3, в), импульсным постоянным током (рис. 3, г), с поляризацией магнитного потока (рис. 3, д).

3 Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия

3.1 Оборудование, приборы и принадлежности

Привод вибробункера.

Чаша вибробункера.

Комплект заготовок.

Штангенциркуль.

Масштабная линейка.

Секундомер.

3.2 Компоновка, устройство и работа лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой вибрационное загрузочное устройство с отдельным возбуждением горизонтальных и вертикальных колебаний, выполненное по а.с. № 201887. Стенд состоит из вибробункера и питателя.

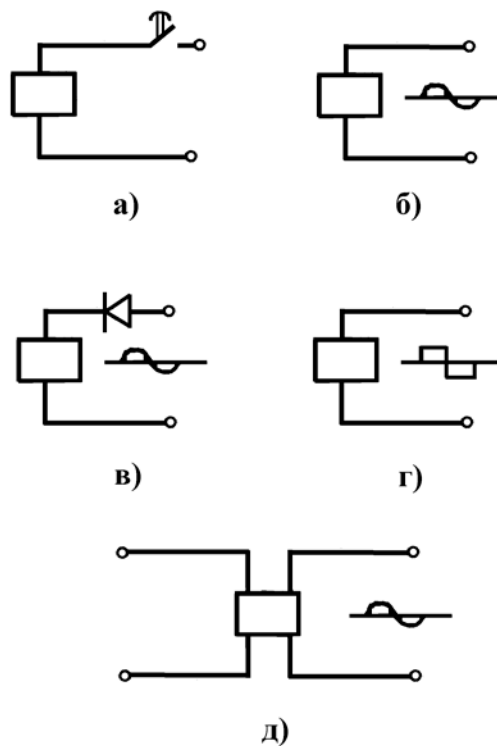


Рисунок 3 - Схемная реализация управления вибраторами по времени

На рис. 4 изображен общий вид бункерного загрузочного устройства, на рис. 5 – общий вид ориентирующего устройства, на рис. 6 – возможные положения заготовок при транспортировке.

Устройство содержит следующие основные узлы: основание 1, тумбу 2, бункер 3, два электромагнита 4, электромагнит 5 и две пары винтовых пружин 6 и 7.

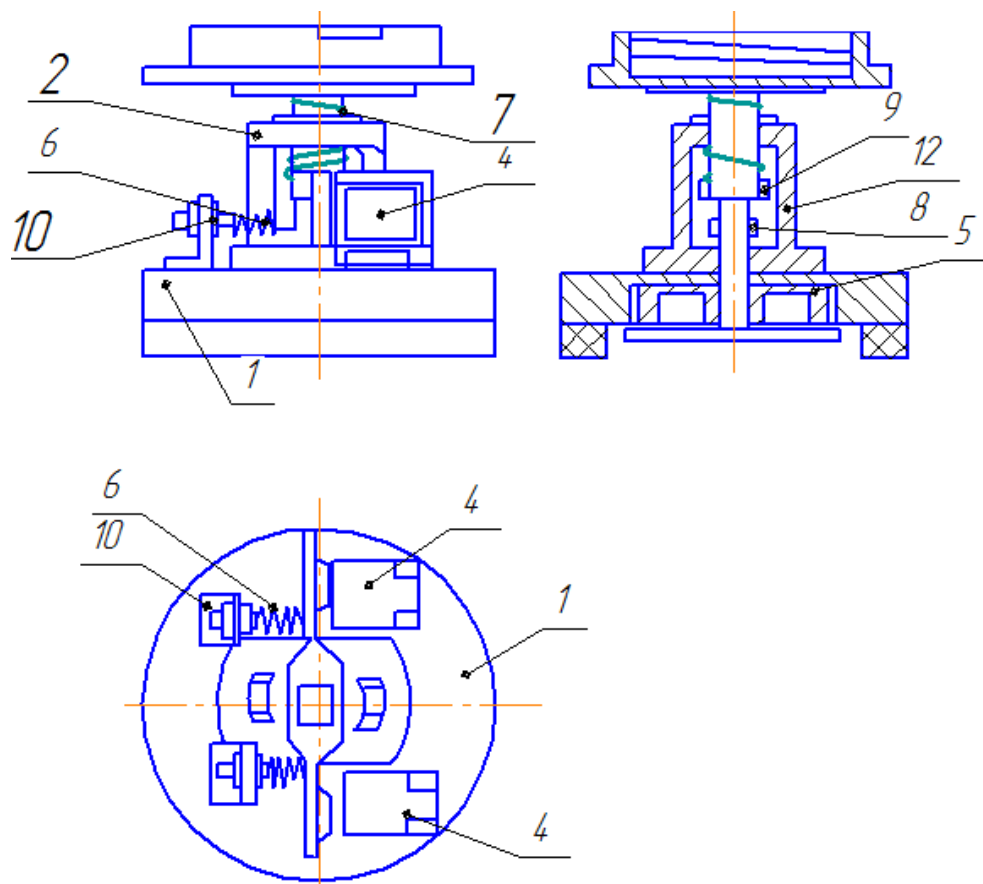


Рисунок 4 - Общий вид бункерного загрузочного устройства

Якоря электромагнитов крепятся на планке 8, соединенной с направляющим стержнем 9, на которой смонтирован бункер 3. С планкой соединены витые пружины 6, вторые концы которых укреплены на основании 1 угольниками 10. Возбуждение горизонтальных колебаний осуществляется двухтактным электромагнитным приводом 6, 2, 4, 8, 9. Питание катушек электромагнитов 4 производится от сети переменного тока по схеме с однополупериодными выпрямителями, при этом попеременно притягиваются и отпускаются якоря, заставляя колебаться бункер 3 с частотой равной частоте переменного тока.

Вертикальные колебания возбуждаются с помощью электромагнита 5, питаемого от сети переменного тока с однополупериодным выпрямителем. Якорь электромагнита 5 также крепится с помощью пружины 7 относительно тумбы 2, смонтированной с основанием 1. Для регулирования фазового сдвига горизонтальных колебаний относительно вертикальных колебаний необходимо изменить степень поджатия пружин 6 и 7 посредством гаек 11 и 12.

На бункере 3 расположен подающий лоток 13. На выходной части подающего лотка, находящейся вне бункера, выполнено окно 14, ограниченное стенкой бункера, консольной планкой 15 и передней кромкой выходной части подающего лотка.

Под окном 14 на внешней поверхности стенки бункера установлены наклонно и параллельно друг другу V-образный желоб 16 и приемный лоток 17. В дне V-образного желоба 16 выполнен сквозной продольный паз 18, а на рабочей поверхности приемного лотка 17 – расположенная соответственно ему канавка 19. Над приемным лотком 17 на кронштейне 20 установлен упругий опрокидыватель заготовок 21.

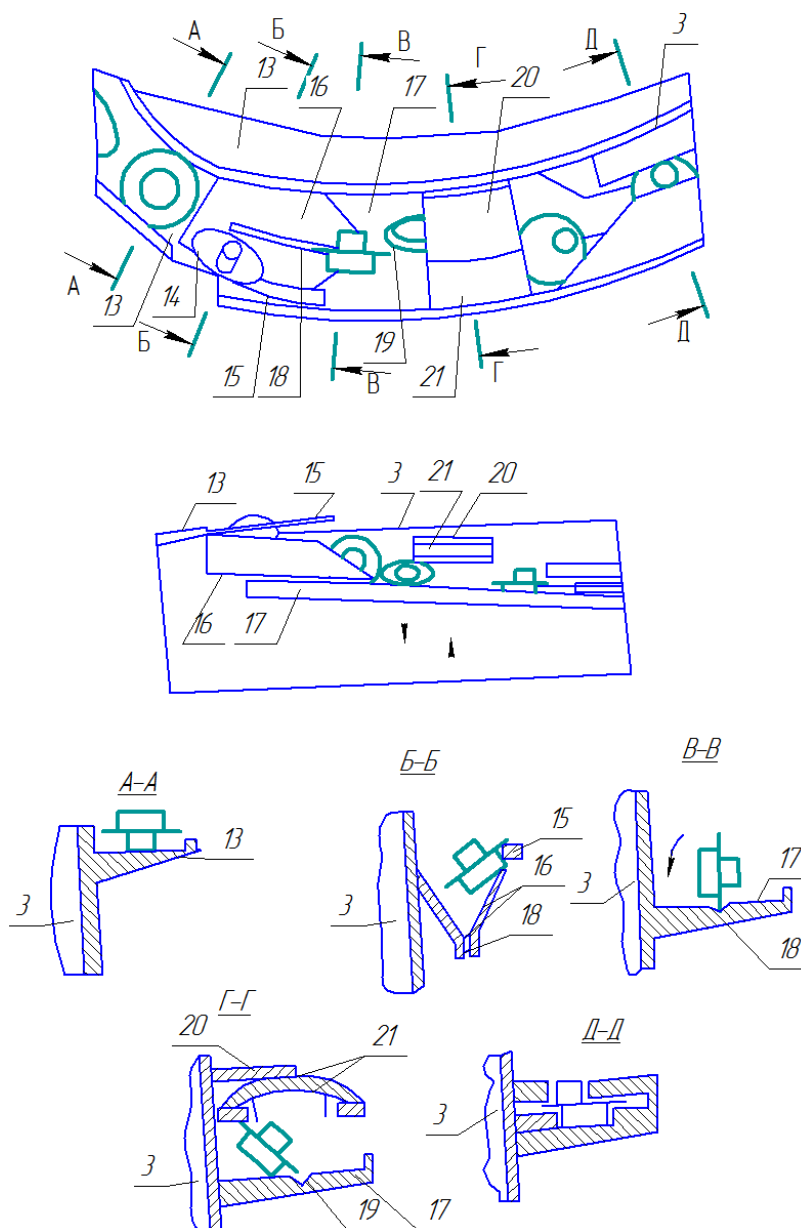


Рисунок 5 - Общий вид ориентирующего устройства

Ориентирующее устройство работает следующим образом. Заготовки, например ступенчатые валики, ступени которых разделены диафрагмой, засыпаются навалом в бункер. При этом заготовки могут занимать любое из десяти возможных различных положений (рис. 6). За передней кромкой выходной части лотка 13 заготовки западают в окно 14 и опираясь на планку 15 своей диафрагмой, одновременно

разворачиваются в положение, при котором их диафрагма располагается вдоль V - образного желоба 16. В результате этого заготовка западает своей диафрагмой в сквозной продольный паз 18 V - образного желоба, а через него в канавку 19 приемного лотка 17. Далее заготовка, крепится на ребре диафрагмы и выкатившись за пределы V - образного желоба опрокидывается в сторону смещения ее центра тяжести, затем опрокидывателем 21 устанавливается в ориентированное положение и поступает на выдачу в рабочую зону технологического оборудования.

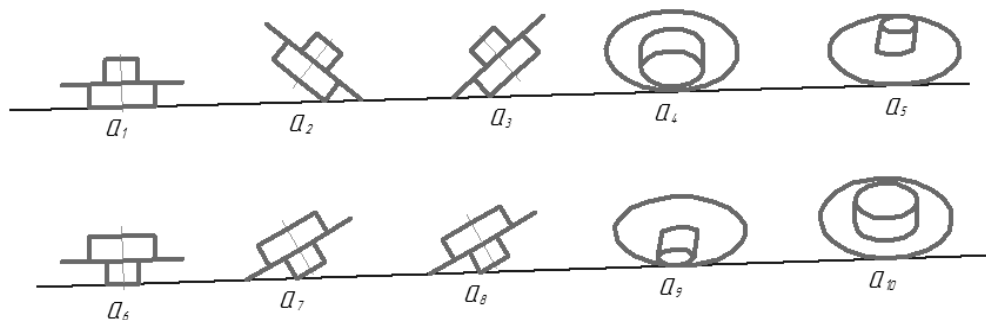


Рисунок 6 - Возможные различные положения заготовок при транспортировке

4 ЗАДАНИЕ НА ИССЛЕДОВАНИЕ.

1 Включить вибробункер в сеть.

2 Замерить с помощью секундомера производительность вибробункера Q_{ϕ} (шт/мин) на выходе из бункера при следующих значениях напряжений, В: 60; 80; 120; 160; 200. Напряжение устанавливать при помощи латра.

При наибольшей производительности по масштабной линейке, установленной у выходного ручья вибробункера определить среднюю скорость движения заготовок V .

3 Построить графики зависимости производительности бункера Q_{ϕ} от напряжения U цепи питания.

4 Сделать вывод о влиянии на производительность бункера изменения напряжения цепи питания и типа заготовки.

5 Исследовать стабильность ориентирования ступенчатых заготовок, сделать выводы.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ.

1 В графе "Эскиз детали" студентом выполняется эскиз детали в соответствии с индивидуальным заданием и проставляются размеры детали (табл. 1).

2 В графе "Схема транспортировки" выполняется эскиз детали с указанием сил, действующих на деталь в процессе виброперемещений.

3. Определяется фактическая производительность вибробункера.

3.1 Определяется цикловая производительность обслуживаемого станка $Q_{ц}$ шт/мин в соответствии с вариантом задания (табл. 1).

3.2 Определяется фактическая производительность вибробункера $Q_{ф}$ по формуле

$$Q_{ф} = Q_{ц} K_p,$$

где K_p – коэффициент роста производительности станка.

$$(K_p = 1.2 \dots 1.4)$$

4 Определяется средняя скорость движения заготовки по лотку

$$V = \frac{Q_{ф} l}{K_3},$$

где l – длина заготовки вдоль лотка бункера, м;

K_3 – коэффициент заполнения учитывающий разрывы заготовок, движущихся по лотку и зависящий от геометрической формы заготовок, от размеров и формы лотка. При перемещении по лотку заготовок $l/d > 1$. При работе без их сбрасывании $K_3 = 0,7 \dots 0,9$; если же принять условие со сбрасыванием заготовок при $l/d < 1$ то $K_3 = 0,35 \dots 0,55$.

Таблица 1

№ вар.	Вид заготовки	Габаритные размеры заготовки, мм		Производительность станка дет/мин
		диаметр	длина	
1	Валик симметричный	9	100	30
2	Валик с асимметричными концами	12	60	40
3	Валик с симметричными концами	10	50	50
4	Цилиндрическая втулка симметричная	12	45	35
5	Цилиндрический валик	8	40	60
6	Втулка несимметричная	20	48	55
7	Валик с несимметричными концами	18	36	45
8	Втулка с асимметричными концами	15	33	35
9	Втулка с симметричными концами	16	38	25
10	Валик симметричный	14	42	48

5 Определяется емкость чаши

Ёмкость чаши должна обеспечивать непрерывную работу бункера без досыпки заготовок в течении 20 мин.

6 Определение основных геометрических параметров бункера.

6.1 Диаметр бункера определяется по формуле:

$$D_{\phi} = D_{cp} + b = \frac{t}{\pi \cdot \operatorname{tg} \beta} + b,$$

где D_{cp} – средний диаметр лотка.

Диаметр цилиндрической чаши по средней линии лотка зависит от размеров загружаемых заготовок и определяется

$$D_{cp} = K_{\phi} l,$$

где K_{ϕ} – коэффициент формы заготовки

Для заготовок типа колец и дисков $K_{\phi} = 6...8$, для плоских заготовок с закругленными углами $K_{\phi} = 7...10$, для гладких и ступенчатых стержней $K_{\phi} = 8...10$, для заготовок сложной формы $K_{\phi} = 10...14$.

При выборе диаметра чаши следует иметь ввиду, что чем больше диаметр чаши, тем лучше способность заготовки перемещаться и следует полученное по формуле значение округлить в большую сторону по ГОСТ 20796 – 75

Когда в вибробункерах используются конические чаши, то за D_{cp} принимают малый диаметр конуса.

6.2 Определяется ширина рабочей дорожки, плоского лотка по формуле

$$B = d + (2...4), \text{ мм}$$

6.3 Определяют шаг спирального лотка по формуле

$$t \geq 1,6h + S,$$

где h – высота детали лежащей на лотке,

S – толщина лотка.

6.4 Определяется угол наклона винтовой лотка по зависимости

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{t}{\pi \cdot D_{cp}}$$

При транспортировании стальных заготовок по стальному лотку рекомендуется принимать $\beta = (1...3)^{\circ}$.

6.5 Определяют высоту чаши по формуле

$$H = n h K,$$

где n – число слоев заготовок;

K – коэффициент запаса (1,2...1,4).

7 Определяют частоту колебаний вибробункера.

Частота колебаний Y чаши вибробункера принимается для мелких заготовок при диаметре чаши до 200 мм – 100...50 Гц; для средних заготовок при диаметре чаши (200...500) мм – 50 Гц; для крупных заготовок при диаметре чаши свыше 500 мм – 16 ... 25 Гц.

8 Определяется амплитуда колебаний лотка.

При использовании в приводе ВЗУ электромагнитного вибратора любую скорость, меньшую предельной, можно легко получить за счет изменения амплитуды колебаний лотка. Тогда угол наклона подвесок можно определить по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = 206/(Y \cdot V),$$

где Y – частота колебаний чаши, Гц.

Угол наклона подвесок α_2 должен находиться в пределах $(5...45)^\circ$.

Амплитуду колебаний лотка в режиме непрерывного подбрасывания определяют по формуле

$$A_{\max} = 3,32g^2/(\omega^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2),$$

где $\omega = 2\pi \cdot Y$ – круговая частота колебаний лотка, Гц.

6 УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.

Отчет о проделанной лабораторной работе выполняется в тетради. Исходные данные для расчета, заданные преподавателем, сведения о параметрах вибробункера, взятые из таблиц и рассчитанные, записываются в соответствующие графы. Все графы и формулы заполняются в порядке выполнения работы.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Назначение и принцип работы вибрационных бункерных устройств.
2. Классификация вибробункеров по форме исполнения бункера
3. Классификация вибробункеров по виду привода
4. Какие основные узлы содержит вибробункер?
5. За счет чего происходит перемещение деталей в вибробункере?
6. Какими способами можно изменять характер движения деталей?
7. Какой величиной характеризуется переход тела от состояния движения деталей?
8. Какие три режима работы вибробункера существуют?
9. Какой режим работы вибробункера предпочтителен и почему?
10. Какова зависимость производительности вибробункера от изменения напряжения цепи питания заготовок?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИБЕРНОГО ПИТАТЕЛЯ

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работ ы: Целью работы является закрепление лекционного материала по курсам "Автоматизация транспортировки, загрузки и сборки изделий" и "Транспортно-накопительные системы и промышленные роботы" и приобретение практических навыков по определению основных параметров шибберных питателей и их производительности в зависимости от рабочего давления в пневмосети.

Задачи работ ы:

- 1) усвоение общих положений по загрузочным устройствам;
- 2) изучение последовательности проектирования питателей;
- 3) практическое осуществление проектирования шибберного питателя;
- 4) экспериментальное исследование работы шибберного питателя.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Питателем называется механизм, предназначенный для принудительного перемещения ориентированных заготовок из магазина или накопителя в зону зажимного приспособления станка или к транспортирующей системе автоматической линии. По характеру движения основных элементов, перемещающих заготовки из зоны загрузки в рабочую зону, питатели разделяются на следующие подгруппы:

- шибберные,
- револьверные,
- грейферные,
- промышленные роботы.

Шибберные питатели применяют для перемещения заготовок от места загрузки к рабочей зоне оборудования в направлении, совпадающем с направлением движения шиббера. При несовпадении этих направлений их применяют вместе с другими питателями.

Шибберные питатели используют для плоских заготовок толщиной свыше 0,3 мм, размером в направлении перемещения до 150 мм, а также полых цилиндрических или прямоугольных заготовок высотой до 100 мм. В последнем случае на пути перемещения шиббера необходимо устанавливать направляющие планки толщиной не менее половины высоты перемещаемых заготовок, такого же размера должен быть и шиббер.

Захватными элементами шибера могут быть открытые или закрытые трафареты, конструктивное исполнение которых зависит от толщины заготовок и их конфигурации, точности и скорости подачи, вида технологической операции и способа удаления из рабочей зоны. Закрытые трафареты применяют редко, так как в этом случае требуется дополнительное время для выстоя на период входа и выхода рабочего инструмента. При подаче открытым захватом (без выреза) в исходном положении заготовки останавливаются в конце движения в результате сил трения между заготовкой и поверхностью скольжения. Если питатель с захватом останавливается резко, то заготовки могут вылетать из захвата, что снижает точность подачи и ухудшает условия ориентации. Для исключения этого явления необходимо устанавливать рациональный закон движения, т.е. чтобы в начале движения шибера имел наименьшую скорость и плавное интенсивное нарастание скорости после соприкосновения с заготовкой, т.е. имел бы наибольшую величину положительного ускорения. Это позволит сократить разницу между скоростями шибера и заготовки в момент, когда шибера догонит отскочившую от него заготовку.

Следовательно, шибера должен двигаться в период выбега с ускорением, не превышающем по абсолютной величине ускорение, с которым перемещается по инерции заготовка, а длина пути выбега S_b шибера не должна быть меньше длины пути торможения заготовки S_t , т.е. условия движения заготовки в период торможения будут следующими:

$$a_{b \max} \leq f_g; \quad (1)$$

$$S_b \geq S_t = \frac{V_{\text{ш max}}^2}{2fg} \text{ или } V_{\text{ш max}} = \sqrt{2fgS_t}, \quad (2)$$

где $a_{b \max}$ - максимальное ускорение движения шибера в период выбега, м/с^2 ;

f - коэффициент трения (для стали по стали $f = 0,411$).

Как следует из этих формул, наибольшее влияние на длину пути торможения заготовки оказывает максимальная скорость перемещения шибера $V_{\text{ш max}}$. Следовательно, необходимо выбирать законы движения, которые бы обеспечили минимальное значение этого параметра. Кроме того, увеличение производительности питателя наряду с построением рациональной циклограммы его работы и уменьшением периода холостого перемещения захватного органа может быть достигнуто и путем увеличения периода рабочего перемещения. Последнее может быть достигнуто уменьшением периода разбега, так как уменьшение периода выбега нежелательно ввиду существенного его влияния на точность положения заготовки перед рабочей позицией.

Таким образом, критериями для выбора рационального закона движения шибера являются: минимальное значение величины максимальной скорости шибера; наибольшая величина его положительного ускорения; наименьшая величина его отрицательного ускорения; плавное изменение скоростей и ускорений; нулевое значение скоростей и ускорений на границах интервала рабочего перемещения.

Исходя из указанных критериев, можно сделать вывод о том, что закон движения шибера должен быть не симметричным, а со смещенным к началу координат центром тяжести графика изменения скоростей. Коэффициент асимметрии закона движения

$$k_a = \frac{V_{\text{ш max}}^2}{2fgS_p}, \quad (3)$$

где S_p - путь разбега, мм. Для данного закона движения $S_p=0,376S_{\text{ш}}$. Коэффициент асимметрии с учетом геометрических размеров кулачка привода питателя обычно принимают $k_a=3$. На основании анализа известных законов движения и с учетом перечисленных требований в качестве рационального движения может быть принят закон с модифицированной трапецеидальной кривой ускорения, образованной сочетанием кривых постоянного и синусоидального изменения ускорения. С учетом принятой величины коэффициента асимметрии относительная продолжительность периода разбега

$$U_1 = \frac{t_p}{t_H} \approx 0,25, \quad (4)$$

где t_p - период разбега;

t_H - интервал рабочего перемещения.

Относительная продолжительность движения по закону синусоидального изменения ускорения внутри периодов разбега b_1 и выбега b_2 будет

$$\frac{t_1}{t_p} = \frac{t_2}{t_b} = b_1 = b_2 \approx 0,25, \text{ и } t_p = U_1 t_H; t_b = (1 - U_1) t_H, \quad (5)$$

где t_1 и t_2 - периоды движения по закону синусоидального изменения ускорения;

t_b - период выбега. Скорости и ускорения шибера, обеспечивающие получение большой точности подачи заготовок на рабочую позицию, представлены графиками (рис. 1) и определяются по специальным методикам.

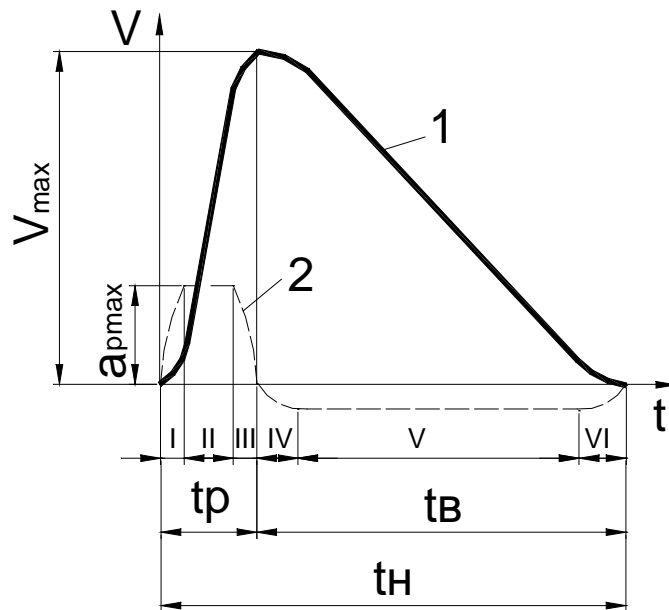


Рисунок 1 - График изменения скорости (кривая 1) и ускорения (кривая 2).

Подача заготовок шибром может осуществляться тремя способами: поштучно (рис. 2,а), дорожкой (рис. 2,б) и ступенчато (каскадом) (рис. 2,в). Рабочий ход $S_{ш}$ шибера определяют в зависимости от размера заготовки в направлении подачи l и способа перемещения:

при подаче поштучно

$$S_{ш} = l + S_{п} + L, \text{ мм}; \quad (6)$$

при подаче дорожкой и ступенчато

$$S_{ш} = l + z + S_{п}, \text{ мм}, \quad (7)$$

где $S_{п}$ - перебег шибера, устанавливаемый конструктивно;

L - расстояние от магазина до рабочей зоны;

z - зазор, равный 3-5 мм.

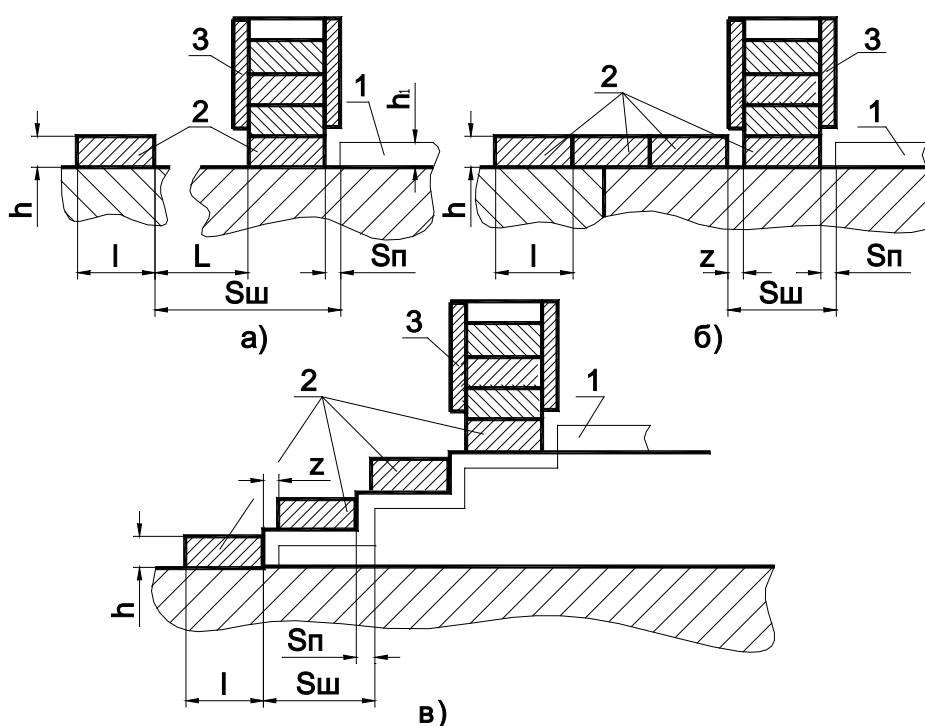


Рисунок 2 - Схемы способов подачи заготовок. 1 - шибера, 2 - заготовки, 3 - магазин

Толщина (h_1 в мм) шибера определяется по формуле

$$h_1 = (0,6 \div 0,8)h, \quad (8)$$

где h - толщина заготовки, мм.

На рис. 3 изображен шибераый питатель в виде скалки. Такой питатель часто называют толкателем, так как он выталкивает заготовку в форме втулки или колпачка из магазинного лотка в цангу или патрон станка. На конце такого питателя делают заточку по диаметру отверстия втулки, при этом

$$D = (0,5 \div 0,7) + d', \text{ или } d' = D - (0,5 \div 0,7) \text{ мм.} \quad (9)$$

Длину заточки берут равной не более диаметра отверстия заготовки, так как длинная заготовка излишне увеличивает ход питателя. Центр скалки расположен выше центра заготовки на величину a , чтобы при выталкивании не повредить лоток.

Расчетное усилие, необходимое для продвижения шибера при отсечении заготовки из магазина (рис. 3):

$$Q_{\text{ш}} = Q_1 + Q_2 = 2\beta T + \frac{G_{\text{ш}}}{g} a = 2\beta f G_N + G_{\text{ш}} \frac{a}{g}, \text{ Н,} \quad (10)$$

где Q_1 - усилие перемещения заготовки из магазина;

Q_2 - динамическое усилие, возникающее при разгоне шибера;

β - коэффициент запаса, учитывающий возможное сцепление, обычно принимают $\beta=1,4-1,6$;

T - сила трения, развиваемая при движении заготовки во время выталкивания из магазина;

$G_{ш}$ - сила тяжести шибера и жестко связанных с ним деталей, Н;

a - ускорение, развиваемое в период разгона и определяемое приводом, м/с² ;

g - ускорение силы тяжести, м/с² ;

f - коэффициент трения скольжения, равный для стали по стали со слабой смазкой $f=0,411$;

G_N - вес заготовок, находящихся в магазине, Н.

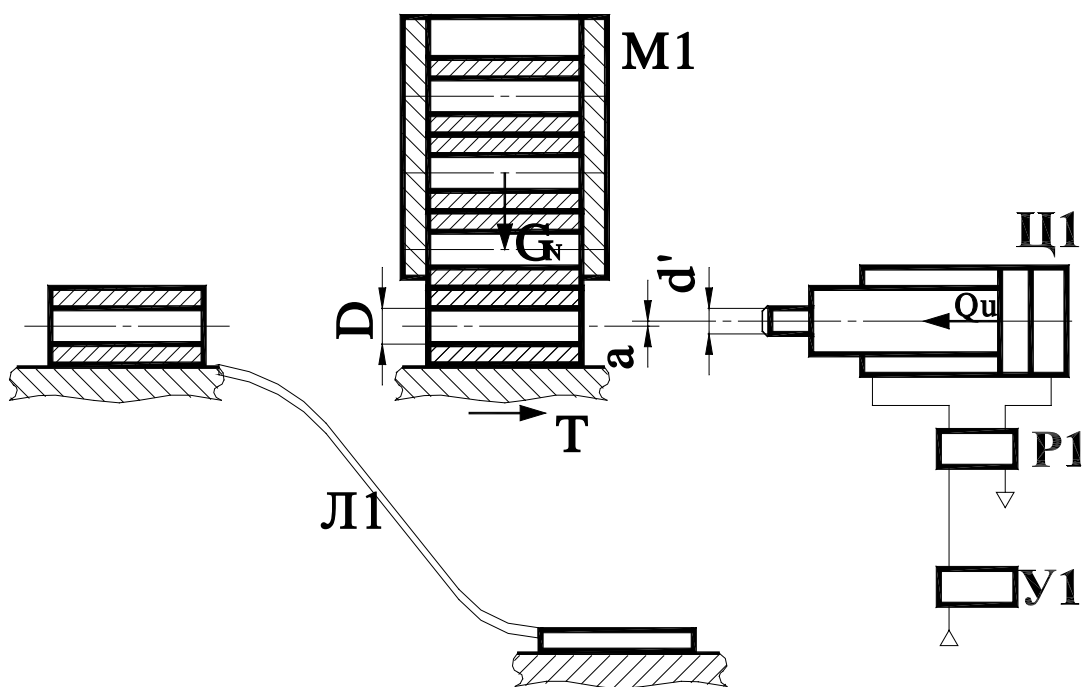


Рисунок 3 - Пневмокинематическая схема лабораторного стенда

При применении пневматических поршневых приводов загрузочно-разгрузочных устройств рассчитываются следующие величины.

Ускорение штока в период разгона, м/с²:

$$a = \frac{2F_1 N^2 p_m}{m}, \quad (11)$$

где N - постоянный коэффициент;

F_1 - площадь поршня, м²;

p_m - давление в магистрали, Па;

m - вес поршня и присоединенных к нему поступательно движущихся частей, Н.

При температуре $T=290^{\circ}\text{ К}$

$$N = \frac{352\mu_1 f_1 \sqrt{m}}{D^3 \sqrt{p_m S}}, \quad (12)$$

где S - рабочий ход поршня, м;

μ_1 - коэффициент расхода, значение которого всегда меньше единицы (на практике $\mu_1=0,25-0,8$; принимаем $\mu_1=0,4$);

f_1 - площадь входного отверстия, м^2 ;

D - диаметр поршня, м.

Сила на штоке в пневмоприводе одностороннего действия с одним поршнем в Н:

- для рабочей полости со стороны штока:

$$P = p \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4} \eta - q; \quad (13)$$

- для рабочей полости, противоположной штоку:

$$P = p \frac{\pi D^2}{4} \eta - q; \quad (14)$$

где p - давление сжатого воздуха в Па;

η - к.п.д. ($\eta = 0,85$);

q - сопротивление пружины при крайнем рабочем положении поршня в Н,

$$q = cS,$$

где c - жесткость пружины (для пневмоцилиндров стандартных размеров $D = 0,062; 0,066; 0,075$ м жесткость пружины соответственно равна $c = 500; 1250; 2500$ Н/м).

D - диаметр поршня пневмоцилиндра в м;

D_1 - диаметр штока пневмоцилиндра в м.

Диаметр шпилек (болтов) для крепления крышек цилиндра

$$d_1 = \sqrt{\frac{4\alpha p}{z\pi[\sigma_p]}} \text{ мм}, \quad (15)$$

где α - коэффициент затяжки ($\alpha \approx 2,25$);

z - число шпилек (болтов);

$[\sigma_p]$ - допускаемое напряжение материала шпилек (болтов) при растяжении в Па (для стали 35 $[\sigma_p]=950 \cdot 10^5$ Па).

Диаметр резьбы на штоке

$$d_2 = \sqrt{\frac{4\alpha p}{\pi[\sigma_p]}} \text{ мм.} \quad (16)$$

Диаметр воздухопровода

$$d_0 = 2\sqrt{\frac{V}{\pi v t}} \text{ м,} \quad (17)$$

где V - объем сжатого воздуха, проходящего по воздухопроводу за один рабочий ход, в м^3 .

Время срабатывания поршневого пневмопривода

$$t = \frac{D^2 S}{d_0^2 v} \text{ с,} \quad (18)$$

где S - длина хода поршня в м;

d_0 - диаметр воздухопровода в м;

v - скорость воздуха в цилиндре ($v = 15 - 20 \text{ м/с}$).

3 Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия

Для выполнения лабораторной работы используется пневмостенд, представляющий собой загрузочное устройство состоящее из пневматического цилиндра Ц1, распределителя Р1, узла подготовки воздуха У1, магазина с заготовками М1 и приемного лотка Л1 (рис. 3).

Загрузочное устройство работает следующим образом. Заготовки, например втулки, укладываются в магазин М1. При этом они получают определенную пространственную ориентацию. При подаче управляющего воздушного сигнала на правый вход распределителя Р1, его золотник переключается в левое положение и соединяет внештоковую полость цилиндра Ц1 с напорной магистралью. В результате этого шток цилиндра Ц1 начинает выдвигаться, захватывая из магазина очередную заготовку и отсекая оставшиеся. В случае подачи управляющего сигнала на противоположный управляющий вход пневмораспределителя, шток цилиндра Ц1 втягивается и заготовки в магазине под действием собственного веса смещаются вниз и следующая заготовка попадает в зону действия штока цилиндра Ц1.

Для измерения величины хода поршня пневмоцилиндра и длины детали необходима масштабная линейка, для измерения диаметральных размеров цилиндра и заготовки - штангенциркуль, а для измерения времени перемещения - секундомер. Для оформления работы необходим произвольный лист бумаги формата А4.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

- 1 Изучение теоретических сведений.
- 2 Подключить шиберное загрузочное устройство к пневмосети.
- 3 Замерить с помощью секундомера время срабатывания шиберного устройства при следующих значениях рабочего давления в сети, МПа: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6.
- 4 Построить график зависимости производительности загрузочного устройства от рабочего давления в сети.
- 5 Рассчитать величину рабочего хода и толщину (диаметр) шибера (формулы 6-9).
- 6 Рассчитать силы на штоке цилиндра Ц1 (формулы 13-14).
- 7 Рассчитать диаметры шпилек для крепления крышек цилиндра, резьбы на штоке, воздухопровода (формулы 15-17).
- 8 Рассчитать время срабатывания поршневого пневмопривода и сравнить его с измеренной величиной при давлении 0,5 МПа (формула 18).
- 9 Рассчитать среднюю скорость поршня $V_{\text{п}}$ и сравнить ее с максимально допустимой, определяемой по формуле (3).
- 10 Рассчитать ускорение штока цилиндра Ц1 (формулы 11-12) и сравнить его с максимально допустимым (формула 1).
- 11 Определить расчетное усилие, необходимое для продвижения шибера (формула 10) и сравнить его с силами на штоке.
- 12 Оформить отчет в соответствии с п.5.
- 13 Защитить отчет перед преподавателем.

5 УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет оформляется в тетради и содержит следующие материалы:

- 1) титульный лист;
- 2) эскиз лабораторного стенда;
- 3) расчеты параметров загрузочного устройства;
- 4) выводы по работе.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для достижения каких целей предназначаются питатели?
2. Для заготовок каких размеров целесообразно использование шиберных питателей?
3. Какими способами осуществляется подача заготовок шибером?
4. Какие сложности возникают при применении в шиберных питателях захватных органов с открытыми трафаретами?
5. Какие параметры рассчитываются при применении шиберных питателей с пневмоприводами?
6. Как определить величину рабочего хода шибера?
7. Как определяется требуемое усилие привода шибера?
8. Как рассчитать допустимые скорость и ускорение шибера с открытым захватом?
9. Какой закон движения шибера с открытым захватом следует признать оптимальным?

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЦИКЛА АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью работы является проведение анализа рабочего цикла металлорежущего автомата с загрузочно-разгрузочным устройством, составление его комбинированной принципиальной пневмокинематической схемы, обеспечивающей постоянный, строго определенный по времени и последовательности состав движений и построение циклограммы.

Задачи работы:

- изучить на конкретном примере методику построения принципиальной пневмокинематической схемы и циклограммы автоподъемника;
- применить изученную методику для построения принципиальной пневмокинематической схемы и линейной циклограммы макета металлорежущего автомата с загрузочно-разгрузочным устройством.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Состав пневматического привода

В систему пневматического привода, обеспечивающего автоматический цикл работы объекта, входят следующие элементы:

Узел подготовки воздуха: фильтры–влагоотделители (ВД), пневмоклапаны давления (КР), масло распылители (МР), манометры (МН).

Исполнительные устройства (ИУ): осуществляют перемещение столов, суппортов, кареток и других рабочих органов автоматического объекта. Наиболее распространенными ИУ являются пневмоцилиндры (Ц).

Распределительные устройства (РУ): предназначены для направления потоков воздуха из напорной пневмолинии в одни рабочие полости ИУ, а из других рабочих полостей - в атмосферу. К РУ относятся направляющие пневмораспределители (Р).

Датчики состояния (ДС): предназначены для преобразования механических командных сигналов в пневматические. Механические командные сигналы появляются в результате воздействия на датчики перемещаемых узлов автоматического объекта или кулачков штоков цилиндров, например, в конце их хода. Датчиками состояния, подающими при получении механической команды непрерывный пневматический сигнал, являются, в частности, двухпозиционные пневмокнопки (Р).

Система управления (СУ): служит для выдачи сигналов, переключающих пневмораспределители в соответствии с осуществляемым циклом работы привода.

2.2 Принцип построения схем

Для установленных ГОСТ 2.701-76 видов схем (пневматической, гидравлической, кинематической и комбинированной) кафедра "Автоматизированные станочные системы" ТулГУ рекомендует при наличии в объекте нескольких видов приводов выполнять принципиальную схему комбинированной. Поэтому для пневмофицированных объектов вычерчивается пневмокинематическая принципиальная схема, которая на одном чертеже объединяет кинематику и пневматическую схему объекта. Объединение указанных видов схем позволяет наиболее полно показать взаимосвязь между различными механизмами и работу объекта в целом.

Правила выполнения кинематических и пневматических схем приведены в ГОСТ 2.703-68, 2.704-76. Согласно этим правилам пневмокинематическая схема вычерчивается с показом контура объекта. Каждый элемент или устройство должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, состоящее из буквенного обозначения и порядкового номера, проставленного после буквенного обозначения.

Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать начиная с единиц, в пределах одинакового буквенного обозначения, например. Р1, Р2, Р3 и т.д., Ц1, Ц2, Ц3 и т.д. и проставить на схеме рядом с их условными графическими обозначениями с правой стороны или над ними.

Допускается элементу (устройству) присваивать только буквенное обозначение, если данный элемент на схеме имеется в единственном числе.

На схеме соединений изображают трубопроводы, элементы соединений трубопроводов и рабочие потоки сплошными линиями, а пунктиром все вспомогательные потоки.

Трубы нумеруются порядковыми номерами, причем, все концы труб, связывающих друг с другом ряд пневмоэлементов, обозначают одним и тем же номером. Линии, изображающие трубопроводы, доводятся только до контура графического обозначения пневмоэлемента, не показывая их присоединения.

В устройствах с автоматическим питанием штучными заготовками схему загрузочно-разгрузочного устройства вычерчивают в обязательном порядке.

Подвижные части, элементы кинематики и пневмопривода рекомендуется изображать на схеме в исходном состоянии.

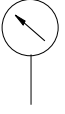
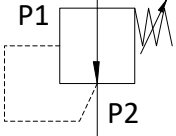
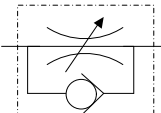
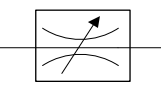
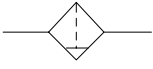
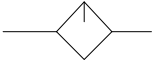
Исходным состоянием пневмораспределителей (Р) является их положение, предшествующее началу цикла. В исходной позиции к распределителям подводят линии связи. Положение системы корпус цилиндра - шток с поршнем, когда шток вошел в корпус до отказа, принимают за исходное. В цилиндре с двухсторонним то-

ком за исходное принимают такое положение, при котором узел, приводимый в действие данным цилиндром, находится в исходном положении. В исходное положение шток попадает при включении распределителя в положение 1, т.е. при этом сжатый воздух поступает в штоковую полость цилиндра, а поршневая полость соединяется с атмосферой.

Датчиками положения штока цилиндра являются двухпозиционные пневмокнопки Р, на которые воздействует кулачок штока в крайних его положениях. При воздействии кулачка на кнопку обеспечивается ее позиция 2, в которой выходной канал кнопки соединяется с напорной пневмолинией, и она выдаёт сигнал управления. При отсутствии воздействия кулачка на кнопку обеспечивается ее позиция 1, в которой выходной канал кнопки соединяется с атмосферой. Условные обозначений и изображения основных пневмоэлементов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обозначения условные графические (ГОСТ 2.781-68) и буквенные позиционные основных пневматических элементов СГОСТ 2.704-76)

Позиционные обозначения	Содержание обозначения	Графические обозначения
МН	Манометр	
КР	Клапан редукционный	
ДР	Дроссель с обратным клапаном	
ДР	Дроссель	
ВД	Фильтр (влагоотделитель)	
МР	Маслораспылитель	

Р	Распределитель 4/2 с управлением от давления	
(PI-I)	Золотник распределителя PI находится в положении I	
Р	Распределитель 3/2 с управлением от кулачка и пружинным возвратом	
Ц	Цилиндр	
ЦЦ	Поршень пневмоцилиндра ЦЦ перемещается вправо	

2.3 Цикл работы объекта

Для автоматизированных объектов, имеющих постоянный, строго определенный по времени и последовательности состав движений, определяется цикл работы объекта. В нем перечисляются этапы цикла в той последовательности, в которой осуществляется рабочий процесс на проектируемом объекте. Описание цикла работы иллюстрируется линейной циклограммой, построенной во времени (см. табл. 2).

Для построения циклограммы рассчитывается время каждого этапа цикла в следующем порядке:

- определяется величина хода исполнительного органа (суппорта, питателя, толкателя) или соответствующая ей величина хода элемента привода (поршня гидроцилиндра);
- рассчитывается или принимается (при холостом ходе) скорость движения исполнительного органа (или элемента привода);
- рассчитывается время данного этапа цикла по величине хода и скорости;
- общее время цикла определяется как сумма времени не совмещенных этапов.

3 Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия

Для выполнения лабораторной работы используется пневмостенд с макетом металлорежущего автомата с автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством. На макете имеются 4 пневмоцилиндра с двухсторонними распределителями для подачи детали, ее закрепления и раскрепления, перемещения шпиндельной головки и для сбрасывания детали.

Контроль исходного и конечного рабочих положений штока каждого цилиндра осуществляется пневмокнопками.

Для измерения величины хода поршня пневмоцилиндров необходима масштабная линейка, а для измерения времени перемещения - секундомер. Для оформления работы необходим произвольный лист бумаги формата А4.

4 ЗАДАНИЕ НА ИССЛЕДОВАНИЕ

1 Провести анализ рабочего цикла макета металлорежущего автомата с автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством.

2 Начертить на листе бумаги пневмокинематическую принципиальную схему макета, в которой должен осуществляться автоматический цикл взаимосвязанной работы четырех цилиндров в заданной последовательности, определенный по времени.

3. Построить на листе бумаги линейную циклограмму "во времени" в той последовательности, в которой осуществляется состав движений.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Методика анализа рабочего цикла представлена на примере автоматизации пневмоподъемника.

Оформление отчета ведется на листе бумаги параллельно с выполнением работы.

Выполнение работы в соответствии с заданием (разд. 4) ведется поэтапно после освоения параграфов данного раздела.

5.1 Составление условных обозначений

В подъемнике (рисунок) имеются два пневмоцилиндра. Цилиндр Ц1 предназначен для подъема очередной детали, а цилиндр Ц2 - для сталкивания ее вправо на горизонтальный лоток.

Переключение хода цилиндров осуществляется воздухораспределителями Р1 цилиндра Ц1 и Р2 цилиндра Ц2. Кулачок на штоке цилиндра Ц1 в конце хода вверх и

вниз воздействует на пневмокнопки $P1_1$ и $P1_2$, являющиеся конечными выключателями, а кулачок на штоке цилиндра Ц2 в конце хода его вправо и влево воздействует на конечные выключатели кнопки $P2_1$ $P2_2$. Кнопки при нажиме на них кулачков выдают пневматические команды управления.

5.2 Вычерчивание пневмокинематической схемы пневмоподъемника

Изображение пневмоэлементов и механизмов на схеме производится в пределах контуров узлов объекта, в произвольном масштабе, т.е. в том месте, где они размещены в действительности (рисунок).

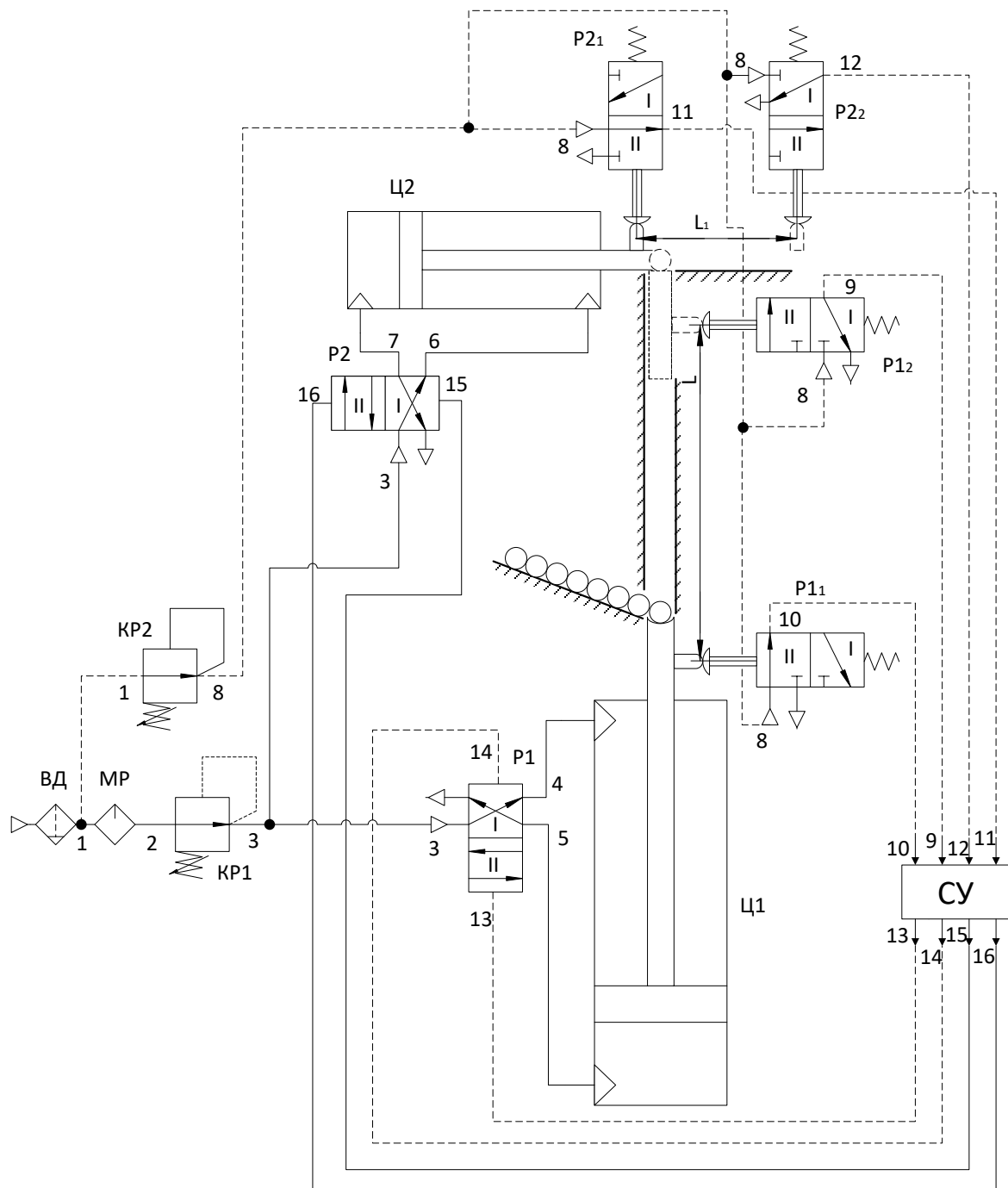
Допускаются отклонения от точных пропорций в размерах элементов схем. Мелкие детали можно укрупнять, габариты крупных уменьшать так, чтобы не очень сильно искажать пропорции и конструкции узла.

Вычерчивание схемы в исходном состоянии, предшествующее началу цикла производится при положении элементов: поршень цилиндра Ц1 - в нижнем положении, $P1_1$, $P1_1-2$, $P1_2-1$, поршень цилиндра Ц2 - в левом положении, $P2_1$, $P2_1-2$, $P2_2-1$. Нанесение пневмопроводов (линий связи) между пневмоэлементами и кулачков на штоке цилиндров относительно пневмокнопок должно обеспечить постоянный, строго определенный по времени и последовательности состав движений, в которых осуществляется рабочий процесс пневмоподъемника.

5.3 Построить линейную циклограмму "во времени" в той последовательности, в которой осуществляется состав движений

Цикл работы подъемника осуществляется в следующей последовательности (табл. 2).

1. Подъем детали. Цилиндр Ц1 поднимает очередную деталь (Ц1 ↑). Для этого воздухораспределитель P1 должен предварительно, под давлением воздуха, подаваемого в канал 13, занять позицию P1-2. Кулачок штока Ц1 перестает воздействовать на пневмокнопку $P1_1$ ($P1_1-1$), при дальнейшем подъеме штока оба конечных выключателя (обе кнопки) $P1_1$ и $P1_2$ остаются выключенными ($P1_2-1$). Лишь в конце хода штока вверх кулачок воздействует на кнопку $P1_2$ ($P2_2-2$), последняя выдает команду управления, поступающую в систему управления (СУ) работой подъемника.



Пневмокинематическая схема подъемника

2. Подача детали. Цилиндр Ц2 сталкивает поднятую деталь вправо на горизонтальный лоток. Элементы привода займут положения в последовательности: P1₂-2, СУ, P2-2, Ц2→, P2₁-1.

3. Возврат механизма подачи. Цилиндр Ц2 возвращается в исходное положение. Этому движению будет соответствовать положение элементов привода: P2₂-2, СУ, P2-1, Ц2←.

4. Одновременно с подп.5.3.3. возврат механизма подъема. Цилиндр Ц1 возвращается в исходное положение: P2₂-2, СУ, P1-1, Ц1↓.

Для построения циклограммы "во времени" в той последовательности, в которой осуществляется состав движений, необходимо с помощью масштабной линейки измерить величину хода (м) соответствующего штока цилиндра и секундомером время (с) его перемещения. Оформить табл. 2.

Таблица 2

Циклограмма "во времени"

№ п/п	Элементы цикла	Элементы привода	Величина хода порш- ня, М	Скорость переме- щения, м/мин	Вре- мя, с	Время						
						1	2	3	4	5	6	7
1	Загрузка детали	P1 ₁ -П СУ P1-П Ц1 ↑	0,3	6	3	■	■	■				
2	Разгрузка детали	P1 ₂ -П СУ P2-П Ц2 →	0,04	2,4	1				■			
3	Возврат механизма разгрузки	P2 ₂ -П СУ P2-П Ц2 ←	0,04	2,4	1					■		
4	Возврат механизма загрузки	P2 ₂ -П СУ P1-П Ц1 ↓	0,3	6	3					■	■	■
						T = 7с						

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы элементы кинематики в схеме?
2. Для чего составляется принципиальная пневмокинематическая схема?
3. В какой порядковой последовательности ведется простановка линий связи?
4. Как нумеруются позиции пневмоэлементов?
5. Какая позиция в пневмоэлементах принимается за исходную?
6. Где должны быть размещены элементы кинематики и пневматики на схеме?
7. В какой последовательности осуществляется цикл работы металлорежущего автомата представленного на макете?
8. Как осуществляется регулировка подачи перемещения сверлильной головки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕВЗАИМОЗА- МЕНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО КОМБИНАТОРНОМУ ПРИНЦИПУ

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: изучить комбинаторный принцип формирования сборочных объектов с заданным уровнем расположения выходного параметра и произвести настройку сборочного робота "Универсал 5.02" для соединения деталей в комплекты, используя данный метод сборки.

Задачи работы

1. Изучение комбинаторного принципа формирования сборочных объектов с заданным уровнем расположения выходного параметра.
2. Изучение компоновки, устройства и порядка программирования рабочих движений промышленного робота (ПР) "Универсал 5.02".
3. Разработка программы управления ПР для сборки изделия по данному методу.
4. Ознакомление с наладкой, набором программы и работой робототехнического комплекса.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМБИНАТОРНОМ СПОСОБЕ КОМПЛЕК- ТОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Из теории размерных цепей известно, что допуск замыкающего размера сборочной размерной цепи равен сумме допусков составляющих размеров. Если составлявшие размеры А, Б и С имеют допуски ТА, ТБ и ТС, то при произвольном соединении этих размеров допуск замыкающего размера Д должен быть равен:

$$ТД = ТА + ТБ + ТС. \quad (1)$$

Следовательно, замыкающий размер в зависимости от конкретного сочетания сборочных размеров будет изменяться в пределах его допуска ТД. Фактические отклонения замыкающего размера Д в пределах его допуска размещены по закону распределения, являющемуся композицией законов распределений размеров составляющих звеньев.

На рис. 1 показано образование сборочного размера и распределение его отклонений. Обычно распределение размеров описывается нормальным законом. Если замыкающий размер сборочного соединений должен иметь допуск $Т'Д < ТД$, то это условие обеспечивается компенсационными приемами, например, введением компенсаторов, плавным регулированием размеров одной из составляющих деталей и другими. Автоматическая сборка в этом случае становится невозможной, так как

робот-сборщик должен не только соединять детали, но и определять для каждого конкретного сочетания их величину компенсации и осуществлять ее.

Условие $T'D < TД$ может быть выполнено комбинаторным способом, исключая традиционные компенсационные способы. Составляющие детали А, Б и С могут при этом изготавливаться с экономически достижимыми допусками T_A , T_B и T_C .

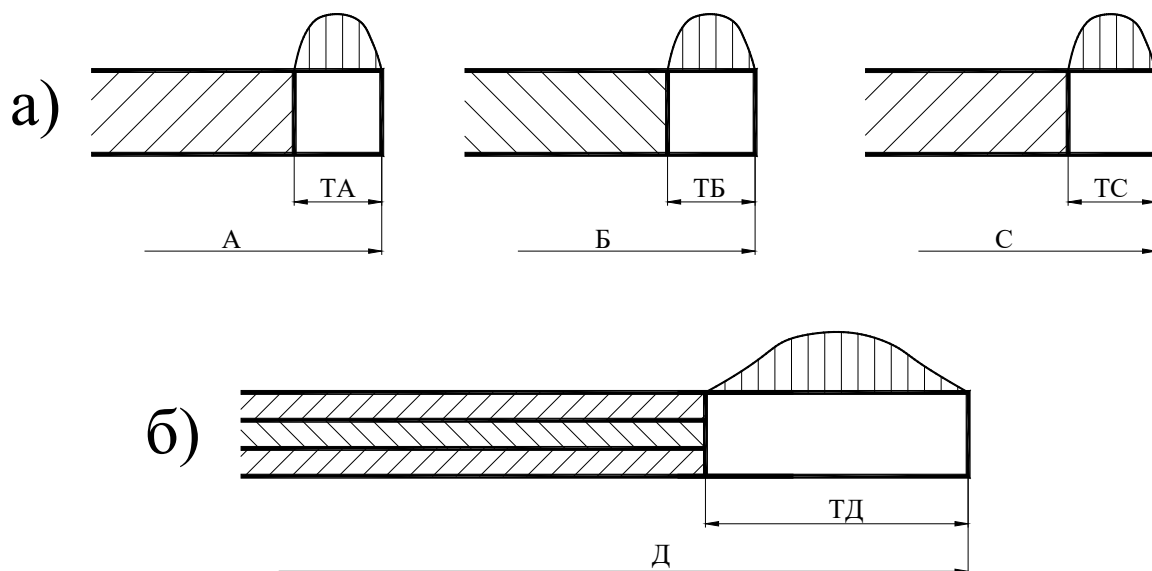


Рисунок 1 - Образование сборочного размера и распределение его отклонений:

а) - составляющие размеры; б) - сборочный размер

Сущность комбинаторного способа компенсации заключается в комплектовании сборочных соединений из деталей с такими размерами, сумма которых изменяется в более узком интервале, чем это может быть при произвольном комплектовании деталей. При этом допуски удобно выражать не в численных значениях, а в условных единицах длины. Например, допуск $T = 0,2$ мм можно выразить величиной в две единицы, принимая $0,1$ мм = 1 ед.

Тогда условие (1) будет иметь вид:

$$n_{TД} = n_{T_A} + n_{T_B} + n_{T_C}, \quad (2)$$

где $n_{TД}$, n_{T_A} , n_{T_B} , n_{T_C} - количество единиц длины каждого допуска.

Каждое конкретное отклонение составляющего размера от номинального значения, выраженное в единицах длины, имеет вид: A_0 , если фактическое отклонение размера не более 1 единицы, A_1 - от 1 до 2 единиц и так далее. Аналогичным образом будут выражены отклонения размеров Б и С, а также замыкающего размера Д. О величине составляющих размеров можно судить по номеру, равному числу единиц отклонения их нормальных значений. Так для размеров A_1 , B_0 и C_2 отклонение за-

мыкавшего размера от номинального значения равно

$$D_3 = A_1 + B_0 + C_2,$$

то есть индекс замыкающего размера равен сумме индексов составляющих размеров или, что тоже справедливо для отклонений этих размеров от номинальных значений. При исчислении отклонений размеров в единицах длины рис. 1 будет иметь вид, представленный на рис. 2.

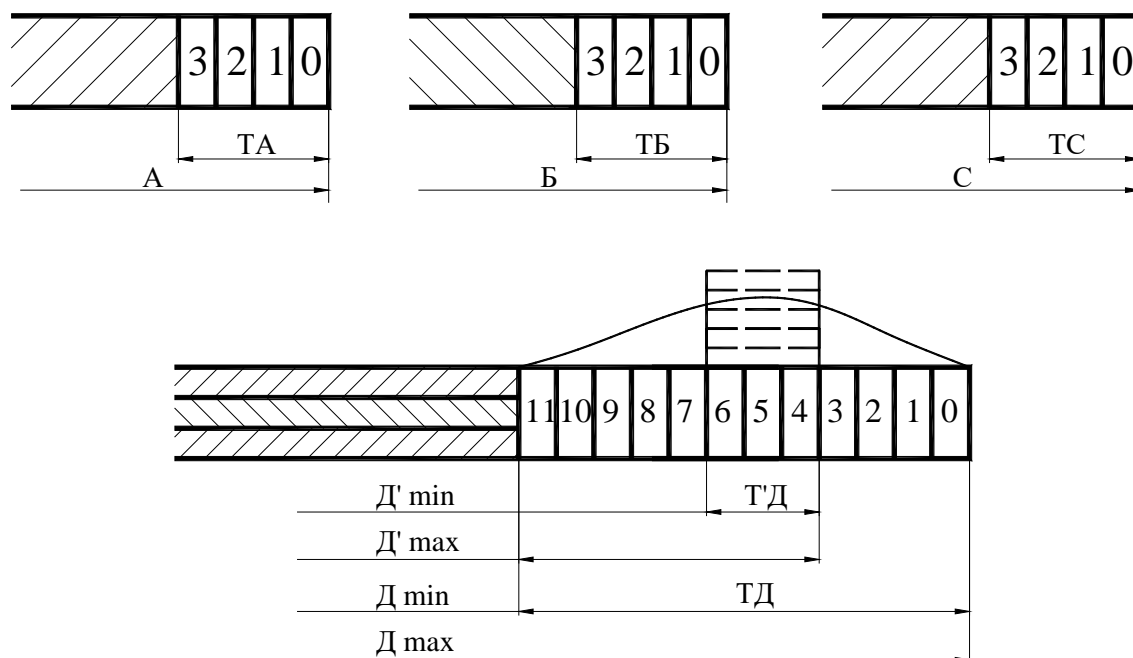


Рисунок 2 - Образование сборочного размера и распределения его отклонений при комбинаторном комплектовании

Комбинаторное комплектование сборочных соединений описывается специальным алгоритмом [3]. В данной лабораторной работе рассматривается случай соединения в сборочные комплекты трех деталей А, Б и С, одинаковые допуски размеров которых разбиты на четыре интервала единичной длины. При комбинаторном комплектовании допуск замыкающего размера равен количеству единичных интервалов по числу соединяемых деталей. В рассматриваемом случае допуск может быть равен трем единичным размерным интервалам вместо двенадцати возможных при произвольном комплектовании, т.е. возможно сужение допуска в четыре раза (рис.3).

Алгоритмы комплектования изделий с заданным уровнем точности выходных параметров определяется на основе закономерностей суммирования случайных чисел, распределение которых выражены гистограммами. Суммирование осуществляется попарно. Пусть гистограммы распределения размеров деталей А, Б и С в преде-

лах их допусков ТА, ТБ, ТС представлены следующим образом:

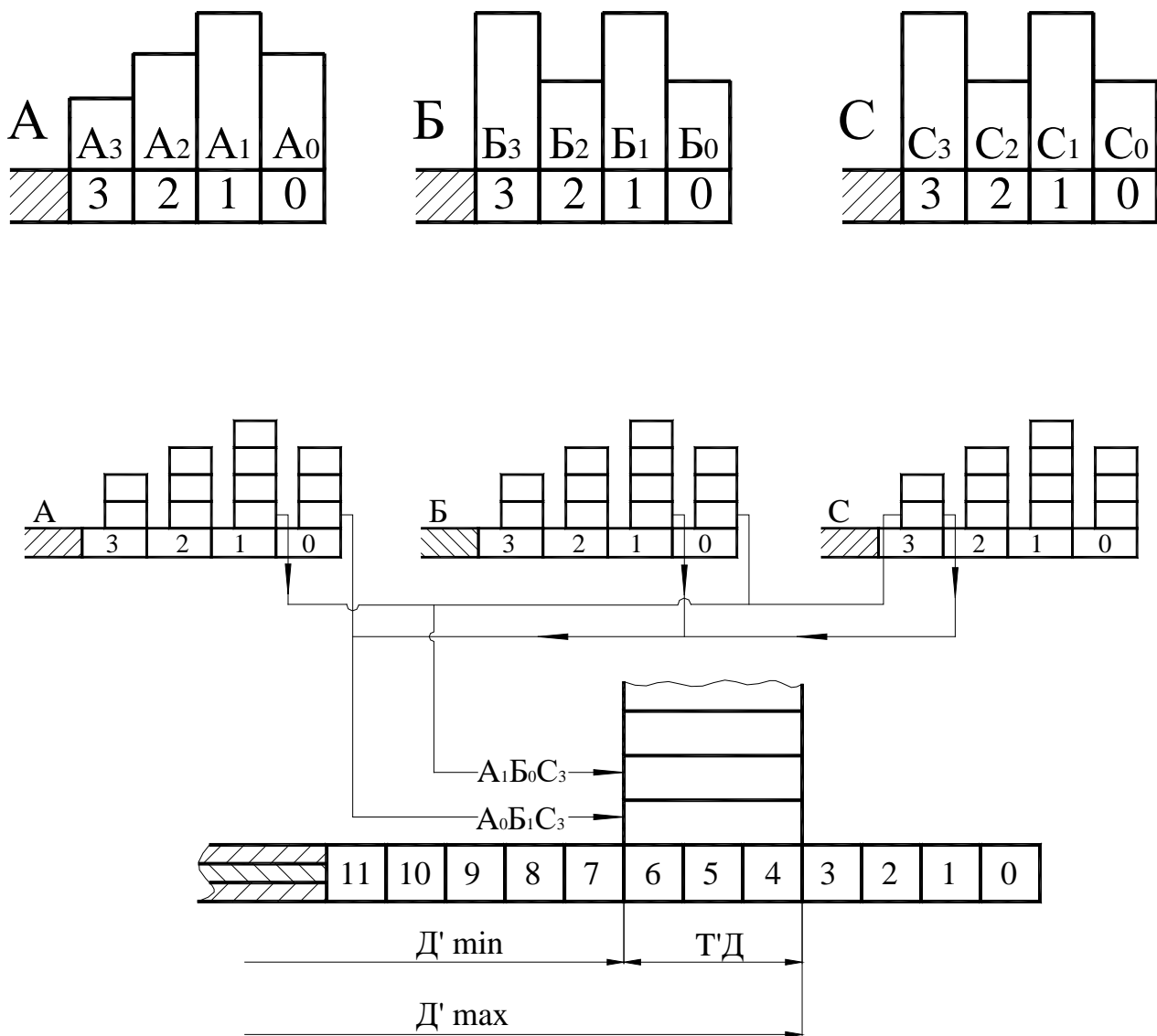


Рисунок 3 - Схема комбинаторного комплектования

Результирующее распределение при суммирования случайных величин А и Б определяется по следующей схеме:

		A_0	A_1	A_2	A_3
	B_0	A_0B_0	A_1B_0	A_2B_0	A_3B_0
	B_1	A_0B_1	A_1B_1	A_2B_1	A_3B_1
	B_2	A_0B_2	A_1B_2	A_2B_2	A_3B_2
	B_3	A_0B_3	A_1B_3	A_2B_3	A_3B_3

$\Sigma_{\text{инд}}=0$

$\Sigma_{\text{инд}}=1$

$\Sigma_{\text{инд}}=2$ $\Sigma_{\text{инд}}=3$ $\Sigma_{\text{инд}}=4$ $\Sigma_{\text{инд}}=5$ $\Sigma_{\text{инд}}=6$ 0

$\Sigma_{\text{инд}} = 0,$	$C'_0 = A_0B_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 1,$	$C'_1 = A_0B_1 + A_1B_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 2,$	$C'_2 = A_0B_2 + A_1B_1 + A_2B_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 4,$	$C'_3 = A_0B_3 + A_1B_2 + A_2B_1 + A_3B_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 3,$	$C'_4 = A_1B_3 + A_2B_2 + A_3B_1,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 5,$	$C'_5 = A_2B_3 + A_3B_2,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 6,$	$C'_6 = A_3B_3.$

Это интервальные вероятности гистограммы распределения суммы случайных величин А и В. Каждая интервальная вероятность характеризуется постоянством суммы и индексов.

Распределение суммы трех случайных величин А, В и С, где $A + B = C'$ определяется по следующей схеме:

		C'_0	C'_1	C'_2	C'_3	C'_4	C'_5	C'_6
0	C_0	C'_0C_0	C'_1C_0	C'_2C_0	C'_3C_0	C'_4C_0	C'_5C_0	C'_6C_0
	C_1	C'_0C_1	C'_1C_1	C'_2C_1	C'_3C_1	C'_4C_1	C'_5C_1	C'_6C_1
	C_2	C'_0C_2	C'_1C_2	C'_2C_2	C'_3C_2	C'_4C_2	C'_5C_2	C'_6C_2
	C_3	C'_0C_3	C'_1C_3	C'_2C_3	C'_3C_3	C'_4C_3	C'_5C_3	C'_6C_3

$\Sigma_{\text{инд}}=0$
 $\Sigma_{\text{инд}}=1$

$\Sigma_{\text{инд}}=2$ $\Sigma_{\text{инд}}=3$ $\Sigma_{\text{инд}}=4$ $\Sigma_{\text{инд}}=5$ $\Sigma_{\text{инд}}=6$ $\Sigma_{\text{инд}}=7$ $\Sigma_{\text{инд}}=8$ $\Sigma_{\text{инд}}=9$ 0

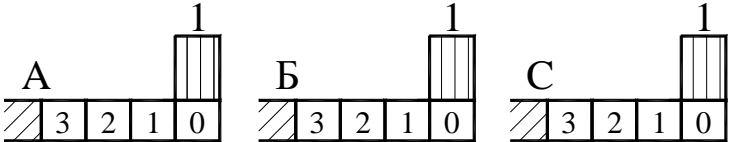
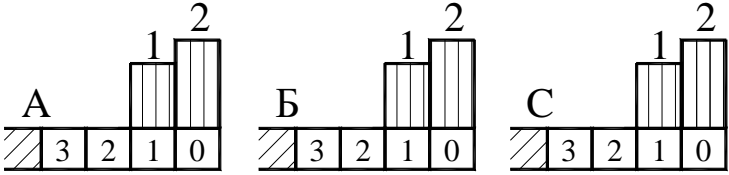
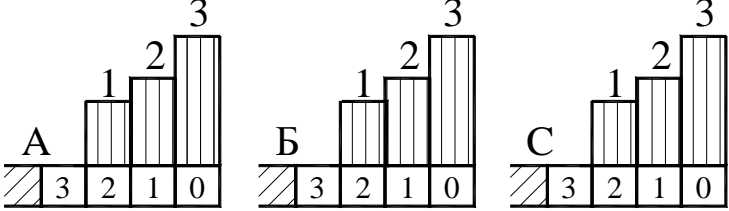
$\Sigma_{\text{инд}} = 0,$	$D_0 = C'_0 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 1,$	$D_1 = C'_0 C_1 + C'_1 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 2,$	$D_2 = C'_0 C_2 + C'_1 C_1 + C'_2 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 3,$	$D_3 = C'_0 C_3 + C'_1 C_2 + C'_2 C_1 + C'_3 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 4,$	$D_4 = C'_1 C_3 + C'_2 C_2 + C'_3 C_1 + C'_4 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 5,$	$D_5 = C'_2 C_3 + C'_3 C_2 + C'_4 C_1 + C'_5 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 6,$	$D_6 = C'_3 C_3 + C'_4 C_2 + C'_5 C_1 + C'_6 C_0,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 7,$	$D_7 = C'_4 C_3 + C'_5 C_2 + C'_6 C_1,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 8,$	$D_8 = C'_5 C_3 + C'_6 C_2,$
$\Sigma_{\text{инд}} = 9,$	$D_9 = C'_6 C_3.$

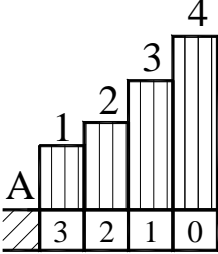
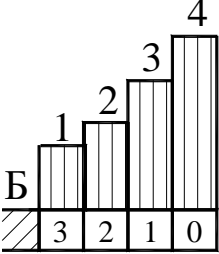
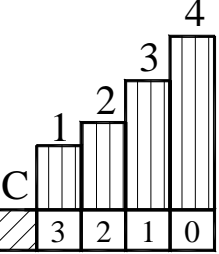
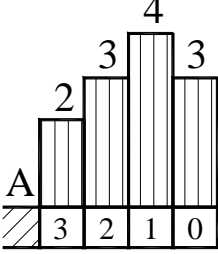
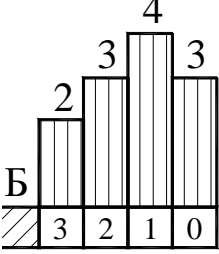
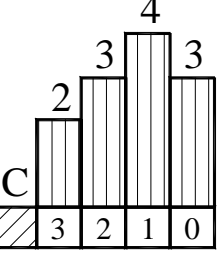
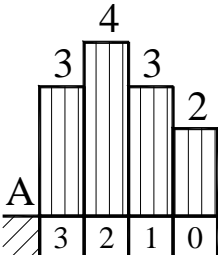
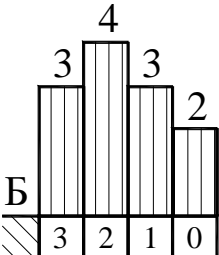
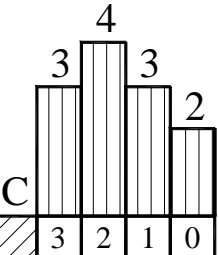
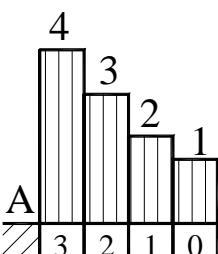
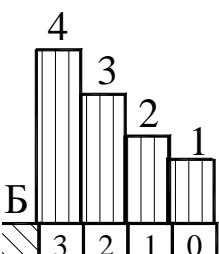
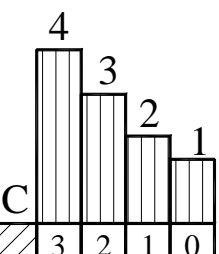
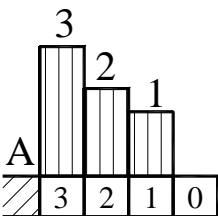
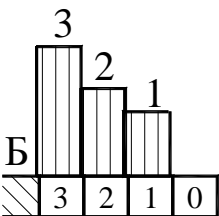
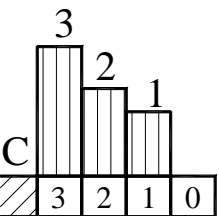
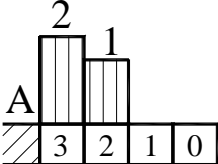
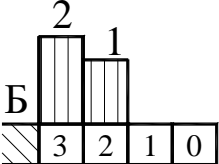
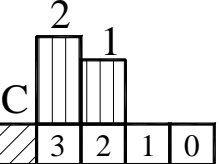
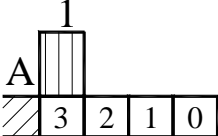
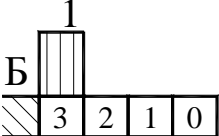
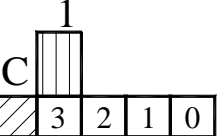
После подстановки развернутых значений C' подучим алгоритмы комплектования сборочных соединений вида: $D = A + B + C$, которые сведем в табл. 1. При соблюдении условий, оговоренных в табл. 1, все сборочные комплексы соберутся с заданным уровнем расположения допуска ТД замыкающего размера D .

$\Sigma_{\text{инд}} = 0, D_0 = A_0 B_0 C_0; \Sigma_{\text{инд}} = 1, D_1 = A_0 B_0 C_1 + A_0 B_1 C_0 + A_1 B_0 C_0$ и т.д.

Таблица 1

Комбинаторное комплектование замыкающего размера $D = A + B + C$ для $T'D = 3$ ед.

Начало отсчета положения ТД	Алгоритм комплектования	Размерные распределения составляющих деталей
1	2	3
0	$A_0 B_0 C_0$	
1	$A_0 B_0 C_1 + A_0 B_1 C_0 + A_1 B_0 C_0$	
2	$A_0 B_0 C_2 + A_0 B_1 C_1 + A_1 B_0 C_1 + A_0 B_2 C_0 + A_1 B_1 C_0 + A_2 B_0 C_0$	

1	2	3		
3	$A_0B_0C_3 + A_0B_1C_2 +$ $+ A_1B_0C_2 + A_0B_2C_1 +$ $+ A_1B_1C_1 + A_2B_0C_1 +$ $+ A_0B_3C_0 + A_1B_2C_0 +$ $+ A_2B_1C_0 + A_3B_0C_0$			
4	$A_0B_1C_3 + A_1B_0C_3 +$ $+ A_0B_2C_2 + A_1B_1C_2 +$ $+ A_2B_0C_2 + A_0B_3C_3 +$ $+ A_1B_2C_1 + A_2B_1C_1 +$ $+ A_3B_0C_1 + A_1B_1C_0 +$ $+ A_2B_2C_0 + A_3B_1C_0$			
5	$A_0B_2C_3 + A_1B_1C_3 +$ $+ A_3B_2C_0 + A_2B_0C_3 +$ $+ A_0B_2C_2 + A_1B_0C_0 +$ $+ A_2B_1C_2 + A_2B_3C_0 +$ $+ A_3B_0C_2 + A_1B_3C_1 +$ $+ A_2B_2C_1 + A_3B_1C_1$			
6	$A_0B_3C_3 + A_1B_2C_3 +$ $+ A_2B_1C_2 + A_3B_0C_3 +$ $+ A_1B_3C_2 + A_2B_2C_2 +$ $+ A_3B_1C_2 + A_2B_3C_1 +$ $+ A_3B_2C_1 + A_3B_3C_0$			
7	$A_1B_3C_3 + A_2B_2C_3 +$ $+ A_3B_1C_3 + A_2B_2C_2 +$ $+ A_3B_2C_2 + A_3B_3C_1$			
8	$A_2B_3C_3 + A_3B_2C_3 +$ $+ A_3B_3C_3$			
9	$A_3B_3C_3$			

3 Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия

3.1 Объект исследования

Объектом исследования является сборочная размерная цепь вида

$$D = A + B + C.$$

Замыкающий размер ТД, исходя из служебного назначения сборочного соединения, не может иметь диапазон изменений значений больше трех единиц длины. Для обеспечения условий взаимозаменяемости допуски составляющих деталей должны быть не более 1 единицы длины, но по технологическим возможностям оборудования могут быть только не менее четырех единиц длины.

Для исключения трудоемких компенсационных способов достижения требуемой точности сборка производится комбинаторным комплектованием. В этом случае возможно использование универсальных сборочных роботов, например, ПР "Универсал 5.02".

3.2 Назначение робота "Универсал 5.02"

Как показывает практика, достаточно большой объем работ приходится на сборку несложных узлов, состоящих из нескольких деталей. Такую работу могут взять на себя простые по устройству ПР с жесткой программой.

К таким роботам относится "Универсал 5.02", который может быть использован для обслуживания станков и т.д., для автоматизации сборки, где требуется осуществлять взятие, перенос и установку детали в собираемый узел.

3.3 Техническая характеристика промышленного робота "Универсал 5.02"

Грузоподъемность	50 Н
Погрешность позиционирования	±0,05 мм
Транспортирующие перемещения (максимальный ход)	
- вертикальное	400 мм
- горизонтальное	640 мм
- поворот	640 мм
Тип привода	тиристорный
Тип системы управления	аналогопозиционный
Рабочее давление воздуха	0,3 ... 0,5 МПа
Максимальное число переходов в цикле	60
Число технологических команд	14
Масса:	
- робота	610 кг
- устройства управления	120 кг

- тиристорного электропривода 185 кг
- пневмоблока 9 кг

Габариты:

- работа 1480 x 990 x 1240, мм
- устройства управления 535x650 x 1205, мм
- тиристорного электропривода 670 x 625 x 1105, мм
- пневмоблока 230 x 335 x 302, мм

3.4 Описание конструкции робота

Промышленный робот "Универсал 5.02" относится к роботам первого поколения, поскольку он работает по жесткой программе, задаваемой аналогопозиционной системой программного управления. Однако возможна установка на схват робота датчика обратной связи, дающего информацию о наличии заготовки в схвате, что несколько приближает робот к роботам второго поколения.

Промышленный робот "Универсал 5.02" состоит из трех отдельных узлов: непосредственно робота, устройства управления АПС-1 и узла подготовки воздуха.

Манипулятор "Универсал 5.02" (рис. 4) является исполнительным механизмом ПР "Универсал 5.02". Манипулятор обеспечивает ориентацию в пространстве рабочей зоны операционного механизма схвата, в котором фиксируется предмет. Заданные положения предмета в рабочей зоне достигаются тем, что механизмы манипулятора реализуют весть независимых степеней подвижности операционного механизма - схвата, расположенного на конце руки манипулятора.

Основными элементами непосредственно робота являются: рука (1), которая обеспечивает фиксацию предмета в схвате и осуществляет ориентацию схвата по упорам, вращение вокруг оси III - III и сгибание вокруг оси качания; механизм выдвижения руки (2), обеспечивающий перемещение руки вдоль оси III - III; механизм поворота руки (3), обеспечивающий вращение руки в горизонтальной плоскости вокруг оси II - II; механизм подъема (4), обеспечивающий вертикальное перемещение руки; механизм поворота (5), который осуществляет вращение руки вокруг оси I - I; пневмопанель (6), обеспечивающая распределение и подачу сжатого воздуха к пневмоцилиндрам руки по командам с ПУ.

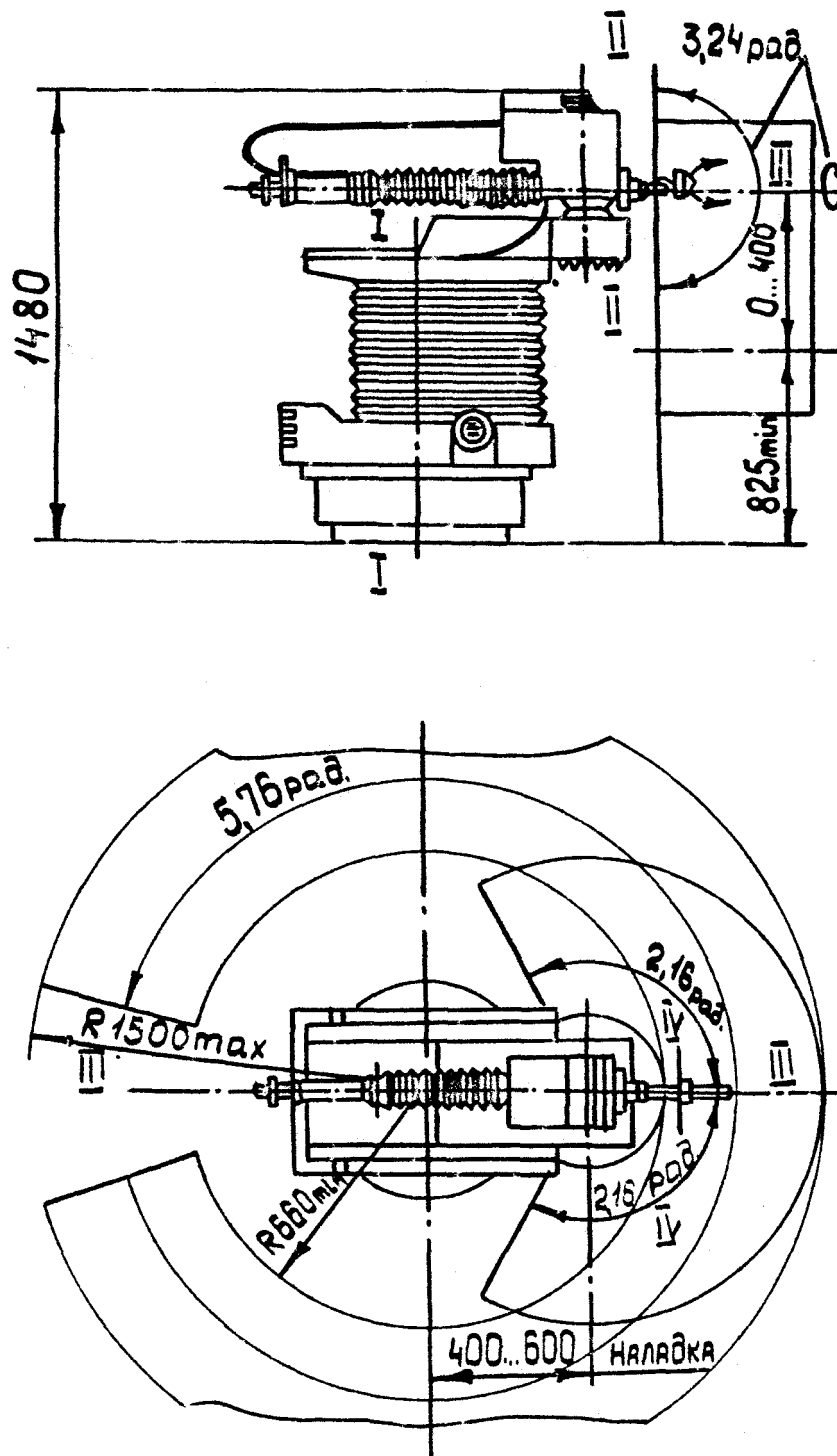


Рисунок 4 - Общий вид промышленного робота "Универсал 5.02"

3.5 Программирование робота

Управление движениями робота осуществляется с помощью аналогопозиционного программного устройства. Программа набирается на штекерном барабане с помощью штифтов, помещенных в отверстия барабана. На барабане имеется 60 рядов отверстий; т.е. программа может содержать не более 60 кадров (развертка барабана с примером программы см. в приложении).

Регулирование величины перемещения элементов робота осуществляется с

помощью потенциометров. Каждая из четырех программируемых координат может принимать 7 или 14 значений, каждое из которых устанавливается своим потенциометром. Номер координаты набирается в двоичном коде с помощью штифтов. Например, чтобы установить II-ю координату, необходимо установить штифты в колонки, соответствующие I, 2 и 8.

Программируются следующие координаты:

- 1 - поворот корпуса робота; (14 координат);
- 2 - подъем или опускание руки робота; (14 координат);
- 3 - выдвижение или втягивание руки робота; (14 координат);
- 4 - поворот головы робота. (7 координат).

В данной конструкции робота 5-я и 6-я координаты не используются. При установке штифта в колонку "Скорость" движение осуществляется ускоренно. В том случае, когда требуется перемещение с повышенной точностью, штифт устанавливается в колонку "Точность" при этом в конце хода соответствующий элемент робота переходит на пониженную (ползучую) скорость. Колонки: "Команды на манипулятор" и "Сброс команды" предназначены для программирования движений зажима, ротации и поперечного вращения кисти робота. Выполнение этих движений осуществляется при следующем расположении штифтов (табл. 2).

Таблица 2

Наименование движения	Команды на манипулятор			Сброс команды
	1	2	3	
Разжим	●			
Зажим	●			●
Поперечное вращение кисти вниз		●		
Поперечное вращение кисти вверх		●		●
Ротация кисти по часовой стрелке	●	●		
Ротация кисти против часовой стрелки	●	●		●

Для работы с технологическим оборудованием используются технологические команды. Они нумеруются и кодируются в двоичном коде аналогично программи-

руемым координатам. По этой команде либо выдается сигнал на соответствующее оборудование, либо робот останавливается до поступления сигнала для задания пауз и выполнения программы различной длительности. Величины пауз устанавливаются с помощью потенциометров. Всего могут быть установлены три различные величины задержки времени.

При установке штифта в колонку "Ускоренный перевод барабана" барабан ускоренно проворачивается на следующий кадр программы. Эта колонка заполняется в том случае, когда программа имеет менее 60 кадров.

4 ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

После изучения комбинаторного принципа формирования сборочных объектов с заданным уровнем расположения выходного параметра, компоновки, устройства и порядка программирования рабочих движений ПР "Универсал 5.02" необходимо для одного из вариантов алгоритма комплектования разработать программу управления ПР.

Программа набирается на штекерном барабане. Затем для разработанной программы произвести настройку робота, разместив штекеры на барабане.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется в следующем порядке:

1. Изучить комбинаторный принцип формирования сборочных объектов с заданным уровнем расположения выходного параметра.
2. Изучить компоновку, устройство и порядок программирования рабочих движений ПР "Универсал 5.02".
3. Освоить один из вариантов алгоритма комплектования сборки изделия (табл. 2).
4. Разработать программу рабочих движений промышленного робота для реализации заданного алгоритма комплектования.

Программирование начинаем с выбора исходного положения робота. В качестве исходного выбираем положение, представленное на рис. 5. Затем установим номера значения программируемых координат.

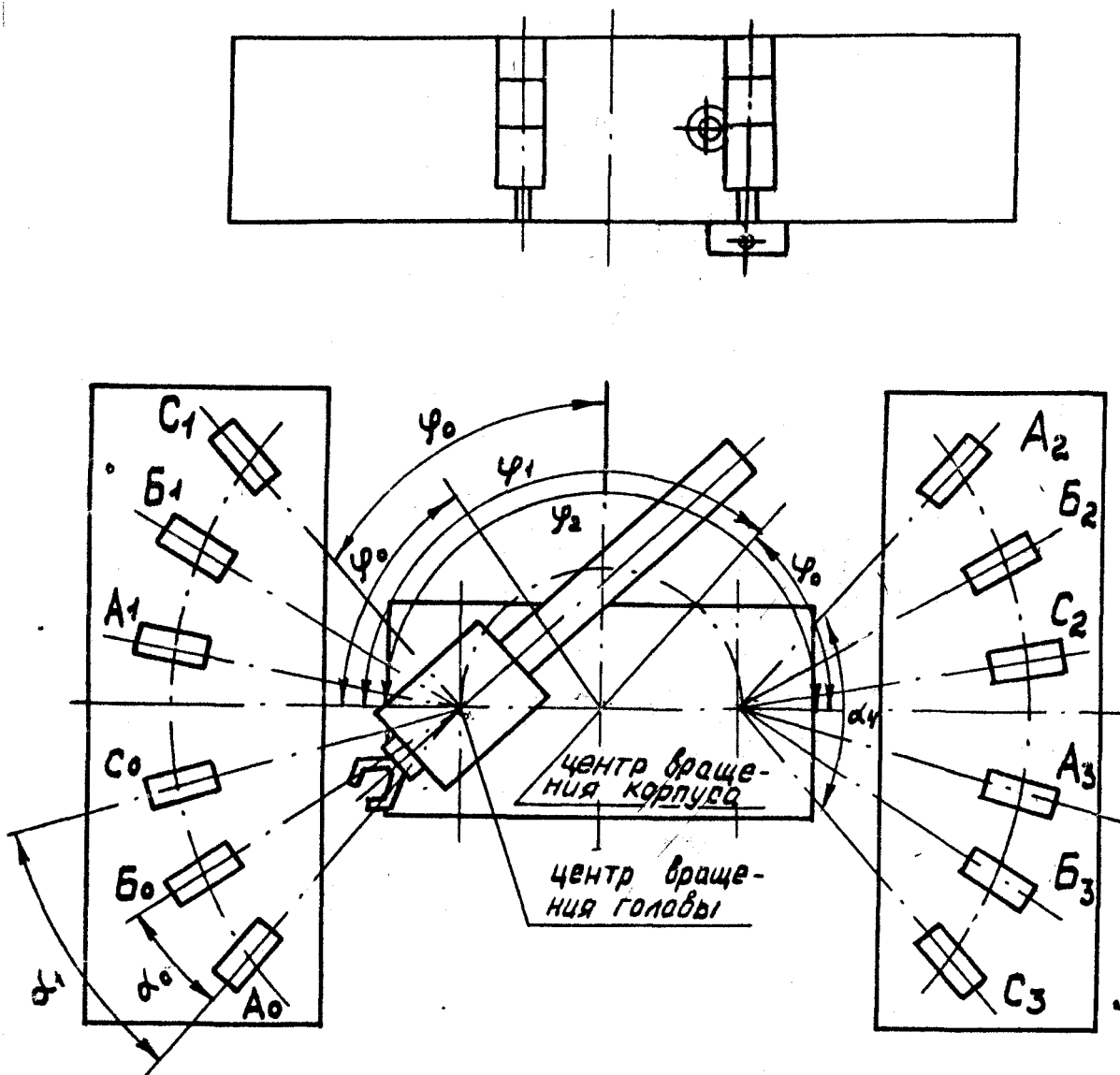


Рисунок 5 - Планировка роботизированного комплекса

1. Вращение корпуса робота:

- исходное положение для обслуживания накопителей $A_0, B_0, \dots, C_1 - 1$;
- поворот на $\varphi_0 - 2$ - для обслуживания сборочного приспособления и фиксатора;
- поворот на $\varphi_1 - 3$ - для перемещения сборочного приспособления в рабочую позицию;
- поворот на $\varphi_2 - 4$ - для обслуживания накопителей A_2, B_2, \dots, C_3 .

2. Подъем и опускание руки робота:

- высота для обслуживания сборочного приспособления – $H_1 - 1$;
- высота для обслуживания накопителей – $H_2 - 2$;
- высота для обслуживания фиксатора ползуна – $H_3 - 3$;
- высота при поворотах робота – $H_4 - 4$;
- высота для обслуживания перемещения сборочного приспособления в рабочую позицию – $H_5 - 5$.

3. Выдвижение и втягивание руки робота:

- рука втягивается полностью- L_0 - 1;
- рука выдвигается для обслуживания накопителей – L_1 - 2;
- рука выдвигается для обслуживания сборочного приспособления при укладке первой детали – L_2 - 3;
- рука выдвигается для обслуживания сборочного приспособления при укладке второй детали – L_3 - 4;
- рука выдвигается для обслуживания сборочного приспособления для укладки третьей детали – L_4 - 5;
- рука выдвигается для обслуживания ползуна – L_5 - 6;
- рука выдвигается для обслуживания перемещения сборочного приспособления в рабочую позицию – L_6 - 7.

4. Вращение головы робота:

- исходное положение для обслуживания накопителей с деталями A_0 , A_2 и перемещения в сборочную позицию - 1;
- поворот на α_0 для обслуживания накопителей с деталями B_0 , B_2 - 2;
- поворот на α_1 для обслуживания накопителей с деталями C_0 , C_2 - 3;
- поворот на α_2 для обслуживания накопителей с деталями A_1 , A_3 - 4;
- поворот на α_3 для обслуживания накопителей с деталями B_1 , B_3 - 5;
- поворот на α_4 для обслуживания накопителей с деталями C_1 , C_3 , сборочного приспособления и фиксатора ползуна - 6.

Распределение технологических команд.

Технологических команд не требуется, так как обслуживаемое оборудование работает без электрической автоматики.

Для реализации алгоритма комплектования вида: $A_0B_0C_0$ можно выбрать следующую последовательность переходов:

1. Взять заготовку из накопителя A_0 .
2. Перенести заготовку в сборочное приспособление.
3. Установить заготовку в сборочное приспособление.
4. Взять заготовку из накопителя B_0 .
5. Перенести заготовку в сборочное приспособление.
6. Установить заготовку в сборочное приспособление.
7. Взять заготовку из накопителя C_0 .
8. Перенести заготовку в сборочное приспособление.
9. Установить заготовку в сборочное приспособление.
10. Снять фиксатор и прижать детали к исходной базе.
11. Снять фиксатор для перемещения сборочного приспособления в рабочую

позицию.

12. Возвратиться в исходное положение.

Пример программы, реализующей заданную последовательность движений, и развертка барабана со штифтами представлены в приложении. При расстановке штифтов следует помнить, что для программируемых координат необходимо установить штифты в каждой строке, а для движения кисти можно помещать штифты только в тех строках, где требуется изменение его положения.

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается сущность комбинаторного принципа сборки изделий?
2. Какими достоинствами характеризуется комбинаторный принцип сборки изделий?
3. Как осуществляется программирование работы робота "Универсал 5.02"?
4. Какими параметрами характеризуется рабочая зона робота?

Приложение

	Название команд	Считывание	Набор ↓	Координаты																Скорость	Точность	Команды на манипулятор			Технологические команды				Выдержка времени		Сброс команд	Ускоренный перевод бара-
				1				2				3				4																
				1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	Выдвижение руки на L ₁			●					●				●			●					●	●										
2	Зажим схвата			●					●				●			●						●									●	
3	Втягивание руки на L ₀			●					●				●			●																
4	Поворот корпуса и головы на α и φ ₀				●				●				●	●				●	●		●	●										
5	Опускание руки на H ₁				●				●				●	●				●	●			●										
6	Разжим схвата				●				●				●	●				●	●				●									
7	Втягивание руки на L ₀				●				●				●					●	●													
8	Поворот в исходное, голова α ₀ , подъем H ₂			●					●				●					●			●	●										
9	Выдвижение руки на L ₁			●					●					●				●				●										
10	Разжим схвата			●					●					●				●					●								●	
11	Втягивание руки на L ₀			●					●				●					●														
12	Поворот: корп. φ ₀ , голова α _n , выдвижение L ₃				●				●					●				●	●		●	●										
13	Опускание руки на H ₁				●				●					●				●	●			●										
14	Разжим схвата				●				●					●				●	●				●									
15	Втягивание руки на L ₀				●				●				●					●	●													
16	Поворот в исходное, голова α ₁ , подъем H ₂			●					●				●				●	●			●	●										
17	Выдвижение руки на L ₁			●					●					●				●	●			●										
18	Зажим схвата			●					●					●				●	●				●								●	
19	Втягивание руки на L ₀			●					●				●				●	●														
20	Поворот: корп. φ ₀ , голова α _n , выдвижение L ₃				●				●				●					●	●		●	●										
21	Опускание руки на H ₁				●				●				●					●	●			●										
22	Разжим схвата				●				●				●					●	●				●									
23	Подъем руки на H ₂				●				●				●					●	●													●
24	Втягивание руки на L ₆				●				●					●	●			●	●													
25	Опускание руки на H ₃			●					●	●				●	●			●	●													
26	Зажим схвата				●				●	●				●	●			●	●				●								●	
27	Подъем руки на H ₂				●				●					●	●			●	●													
28	Разжим схвата				●				●					●	●			●	●				●									
29	Втягивание руки на L ₀				●				●				●					●	●													
30	Поворот на φ ₁ , голова – исх., L ₆			●	●				●				●	●	●		●															
31	Опускание руки на H ₃			●	●				●		●		●	●	●		●															
32	Зажим схвата			●	●				●		●		●	●	●		●						●								●	
33	Подъем руки на H ₂			●	●				●				●	●	●		●						●									
34	Разжим схвата			●	●				●				●	●	●		●						●									
35	Втягивание руки на L ₀			●	●				●				●				●															
36	Возврат в исходное			●					●				●				●															