

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных  
производственных систем

Составитель  
А. Н. Трусов

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ Часть 1**

**Методические указания к лабораторным работам**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления  
подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии,  
профиль 02 Цифровые автоматизированные производственные  
системы, в качестве электронного издания  
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Сыркин И. С. – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Чичерин И. В. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии

**Трусов Александр Николаевич**

**Автоматизация технологических процессов и производств.**

**Часть 1** : методические указания для лабораторных работ : для бакалавров направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии, профиль 02 Цифровые автоматизированные производственные системы, всех форм обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Кафедра информационных и автоматизированных производственных систем ; составитель А. Н. Трусов. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (3,11 МБ). – Текст : электронный.

В данных методических указаниях изложено содержание лабораторных работ, порядок их выполнения и контрольные вопросы к ним.

© Кузбасский государственный  
технический университет имени  
Т. Ф. Горбачева, 2025

© Трусов А. Н., составление, 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ИЗДЕЛИЯ К АВТОМАТИЧЕСКОМУ ПРОИЗВОДСТВУ .....	3
1.1.Цель работы.....	5
1.2.Теоретические положения .....	5
1.3.Пример выполнения работы.....	12
1.3.1.Исходные данные .....	12
1.3.2.Мероприятия по улучшению конструкции детали.....	13
1.4.Порядок выполнения работы .....	14
1.5.Содержание отчета .....	15
1.6.Контрольные вопросы.....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1 .....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.2.....	19
Лабораторная работа № 2. РАЗРАБОТКА ЦИКЛОГРАММ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЯЧЕЕК.....	20
2.1.Цель работы.....	20
2.2.Теоретические положения .....	20
2.3.Пример выполнения работы.....	22
2.4.Порядок выполнения работы .....	24
2.5.Содержание отчета .....	24
2.6.Контрольные вопросы.....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1. ....	26
Лабораторная работа № 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА .....	32
3.1.Общая характеристика автоматических загрузочных устройств .....	33
3.2.Лабораторная работа № 3. Часть 1. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	35
3.2.1.Цель работы .....	35
3.2.2.Основные теоретические положения .....	35
3.2.3.Порядок выполнения работы .....	37
3.2.4.Содержание отчета .....	38
3.2.5.Контрольные вопросы.....	39

3.3.Лабораторная работа № 3. Часть 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЗУ .....	40
3.3.1.Цель работы .....	40
3.3.2.Основные теоретические положения .....	40
3.3.3.Порядок выполнения работы .....	44
3.3.4.Содержание отчета .....	44
3.3.5.Контрольные вопросы.....	44
3.4.Лабораторная работа № 3. Часть 3. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВБЗУ .....	46
3.4.1.Цель работы .....	46
3.4.2.Основные теоретические положения .....	46
3.4.3.Порядок выполнения работы .....	55
3.4.4.Содержание отчета .....	55
3.4.5.Контрольные вопросы.....	55
3.5.Пример проектирования и расчета АЗУ.....	56
3.5.1.Исходные данные .....	56
3.5.2.Обеспечение автоматической ориентации детали.....	56
3.5.3.Расчет МЗУ и определение общего состава АЗУ .....	58
3.5.4.Расчет ВБЗУ .....	61
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	69

## Лабораторная работа № 1.

# ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ИЗДЕЛИЯ К АВТОМАТИЧЕСКОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

### *1.1. Цель работы*

Целью работы является практическое освоение студентами методики оценки подготовленности изделий к автоматизации производства, овладение навыками отработки конструкции изделий на технологичность с учетом требований автоматического технологического процесса (ТП).

### *1.2 Теоретические положения*

Оценка степени подготовленности изделия к автоматическому производству позволяет на ранних этапах оценить сложность и целесообразность проектно-конструкторских работ, автоматизировать производство с наименьшими трудовыми затратами.

В основу рассматриваемой методики положен принцип элементарного анализа конструкции изделия, его деталей, сборочных единиц, материалов с точки зрения возможности и технической целесообразности автоматического выполнения дискретных операций ориентации деталей в пространстве и во времени, подачи их в рабочие органы, базирования в рабочей позиции, съема, транспортировки. Предполагается, что выполнение основных технологических операций обосновано.

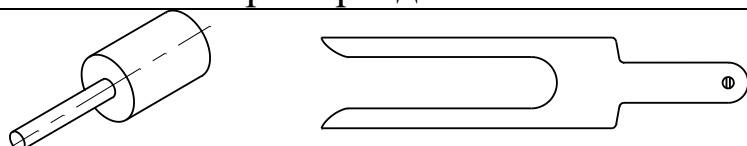
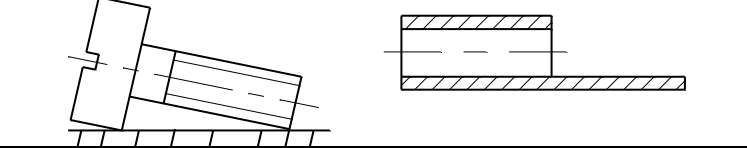
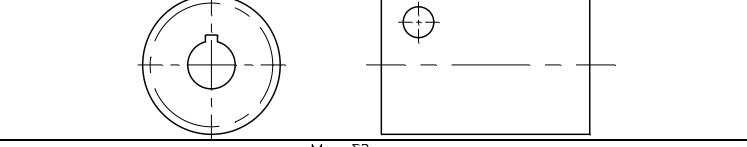
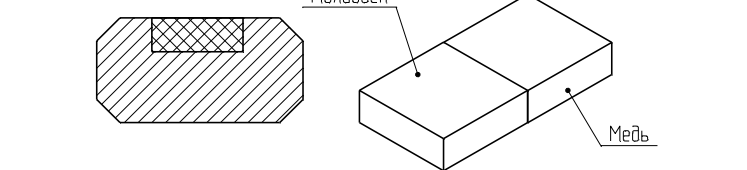
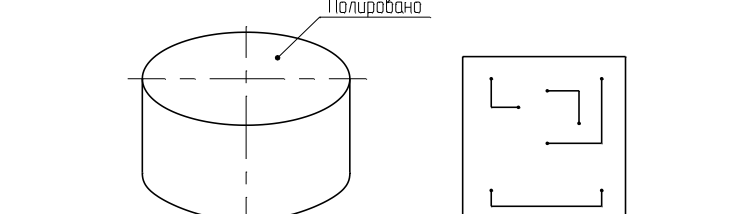
Параметрами дифференцированной схемы оценки (см. прил. 1.1) являются: конфигурация, физико-механические свойства материала и поверхности, сцепляемость, абсолютные размеры и их соотношения, показатели симметрии, специфические свойства детали и т. д. Определены семь ступеней, каждая из которых характеризует качественно определенную совокупность свойств конкретной детали.

**Ступень 1** определяет основной ключ ориентации, используемый для обеспечения положения детали на рассматриваемой операции (табл. 1.1).

**Ступень 2** характеризует свойство сцепляемости дискретных деталей. В зависимости от вида сцепляемости применяют различные способы поштучного отделения деталей. Наиболее просто разделяются детали *сопрягаемые* (здесь – сопрягаемые по элементам контура), сложнее разделить детали, *сопрягаемые механически* (например, пружины, скрепки).

Таблица 1.1

Детали с характерными признаками первичной ориентации

Признаки ориентации	Примеры деталей
Асимметрия наружной конфигурации	
Асимметрия центра тяжести	
Асимметрия внутренней конфигурации	
Асимметрия физических свойств	
Асимметрия свойств поверхности	

Мелкие детали из ферромагнитных материалов могут намагничиваться, а детали из диэлектриков – подвергаться действию электростатического поля. Эти детали попадают в разряд «сцепляемые полем».

Под *саморазбирающимися* понимаются изделия, которые могут легко разъединиться на составные части и требуют специальных способов их защиты при транспортировке, загрузке и пр.

**Ступени 3 и 4** характеризуют свойства формы деталей и подразделяют детали на стержневые, пластинчатые толстые и

тонкие, равноразмерные, миниатюрные, которые в свою очередь могут быть круглые, некруглые, непостоянной формы и размеров.

К *стержневым* относятся детали с соотношением размеров: для круглых деталей  $l_d/d > 1$ ; для некруглых  $l_d/b > 1$  и  $h/b \approx 1$  (обозначения представлены на рис. 1.1 и имеют следующий смысл:  $l_d$  – длина детали в направлении оси **X**;  $d$  – диаметр детали;  $h$  и  $b$  – размеры в направлении осей **Z** и **Y**).

*Равноразмерными* являются детали с соотношением размеров  $l_d/d \approx 1$ ;  $l_d/b \approx 1$ ;  $l_d/h \approx 1$ .

*Толстыми пластинами*, которые могут быть круглыми и некруглыми считаются детали с соотношением размеров:  $l_d/d < 1$ ;  $l_d/b < 1$  и при  $b > h$ . Различие между толстыми и тонкими пластинами условно. Принято считать, что для *тонких пластин* характерны соотношения  $l_d/d \leq 0,01$ ;  $h/l_d \leq 0,01$  и при  $b > h$ .

К *миниатюрным* относятся дискретные детали элементов микроэлектроники. Раздел «*непостоянная форма, количество, размеры*» описывает изделия, где в качестве метода достижения точности замыкающего звена сборочной размерной цепи заложены различные методы регулировки.

**Ступень 5** определяет свойства симметрии деталей. Считается, что деталь имеет (с точки зрения выполнения рассматриваемой операции) ось симметрии, если она может на данной операции устанавливаться в любое угловое положение относительно какой-либо оси, плоскость симметрии – если при повороте детали относительно какой-либо плоскости деталь занимает также удовлетворительное положение. Чем больше у детали осей и плоскостей симметрии, тем больше положений детали на данной операции удовлетворительны, то есть операция при этих положениях детали может быть успешно выполнена.

**Ступень 6** описывает еще ряд конструктивных характеристик детали, причем центральное место здесь занимает центральное отверстие. Центральным считается отверстие, ось **X** которого параллельна длинной стороне детали и является осью вращения или симметрии детали.

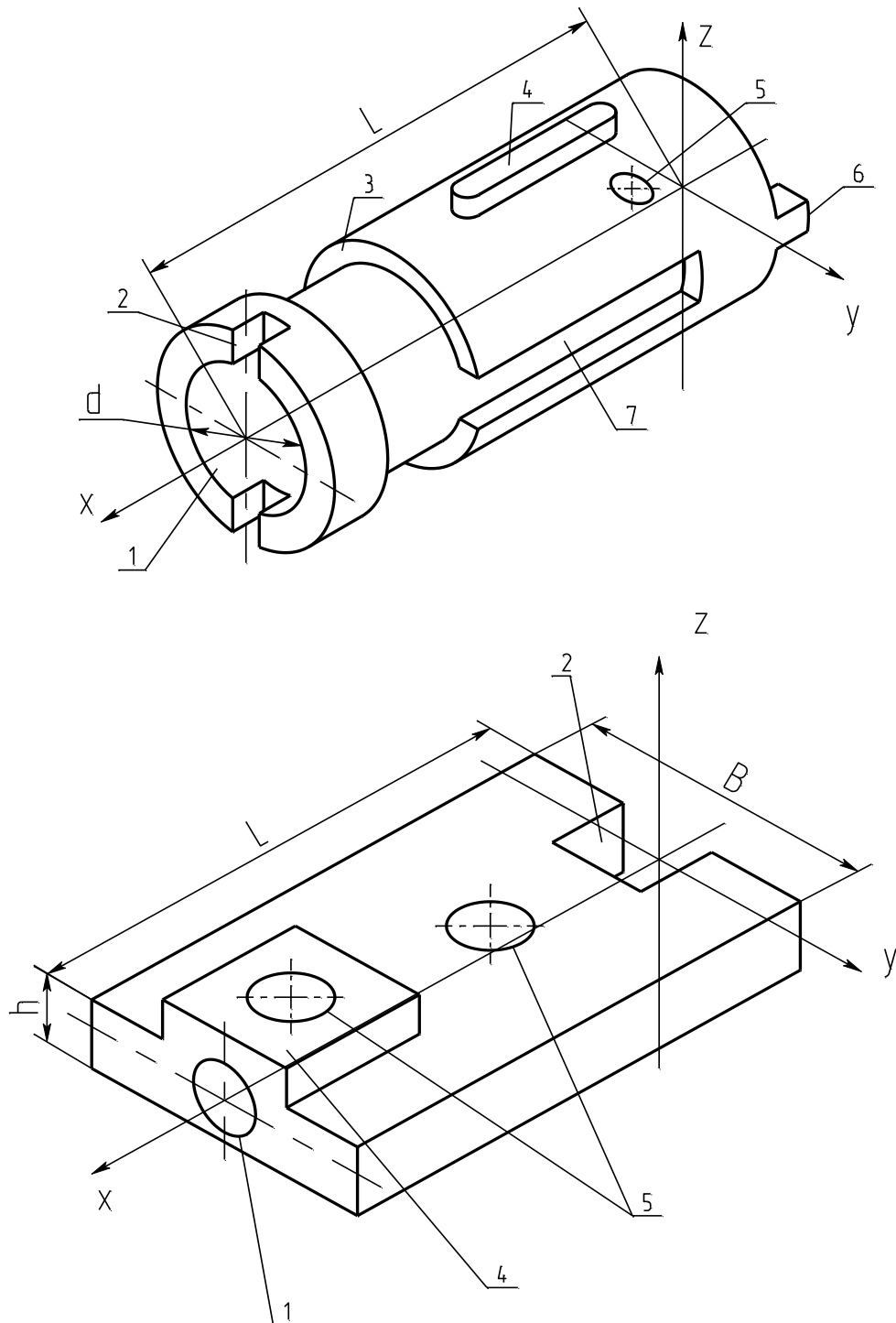


Рис. 1.1. Элементы конфигурации детали:

1 – центральное отверстие; 2 – паз на торце – центральный;  
 3 – паз на образующей – поперечный сквозной; 4 – выступ  
 на образующей; 5 – отверстие на образующей; 6 – выступ  
 на торце – центральный; 7 – паз на образующей – глухой

**Ступень 7** характеризует дополнительные признаки конструкции детали, влияющие на сложность выполнения автомати-



ческой операции. Если конструктивный элемент не оказывает влияния на выполнение операции, то он не учитывается. Некоторые из этих признаков показаны на рис. 1.1.

Для удобства каждой ступени и разряду присвоены коды. Значение кода возрастает пропорционально сложности автоматизации по данному признаку. Высокий балл соответствует недостаточной подготовленности детали к автоматическому производству. Если балл равен **6** и выше, то при анализе детали на данный признак следует обратить особое внимание. Однако более полную характеристику деталей дают не единичные коды, а общая сумма баллов. В зависимости от полученной суммы баллов установлены четыре категории сложности автоматизации (табл. 1.2).

Таблица 1.2

## Характеристика категорий сложности автоматизации

Сумма баллов, $B_i (B_{cp})$	Категория сложности $K_i (K_{cp})$	Характеристика категории сложности
До 10	1	Наименьшая сложность автоматизации. Модернизация изделий не требуется. Известны аналоги технических решений.
10–20	2	Автоматизация средней сложности. При отсутствии аналогов целесообразна экспериментальная проверка применяемых технических решений.
20–25	3	Высокая сложность автоматизации. Необходимо экономическое обоснование оптимального уровня механизации и автоматизации.
Свыше 25	4	Весьма высокая сложность автоматизации. Целесообразна только для исключения вредных условий труда, невозможности выполнения операций вручную, при комплексной автоматизации процесса.

Если в кодовом номере по какому-либо разряду есть балл **8** или **9**, то степень сложности детали повышается на одну категорию. На кодовый номер влияют конкретные условия реализации ТП. Например, если цилиндрический электрический конденсатор, имеющий гибкие выводы, подается на сборку из магазина, то его

код будет **2022130**, сумма баллов – **10**, категория сложности – **2**. Если этот же конденсатор подавать из вибробункера, то в связи с появлением опасности сцепляемости и деформации гибких выводов код будет – **2626130**, сумма баллов – **20**, категория сложности – **3**, то есть такое решение затруднено.

Покажем еще на одном примере, что анализ сложности детали можно проводить только во взаимосвязи с условиями ТП.

Рассмотрим деталь типа валик ступенчатый (рис. 1.2). Рассмотрим коды этой детали для автоматизации операций:

- шлифование ступени большего диаметра напроход на бесцентрово-шлифовальном станке;
- сборка валика со шпонкой.



Рис. 1.2. Эскиз кодируемой детали

### Бесцентровое шлифование

1. Асимметрия наружной конфигурации, металлическая.....	1000000
2. Несцепляемая.....	000000
3. Стержневая, ферромагнитная .....	10000
4. Круглая, прямая.....	2000
5. Одна ось вращения, одна плоскость симметрии.....	100
6. Нет центрального отверстия, гладкая.....	10
7. Дополнительные признаки отсутствуют.....	0
	1012110

Сумма баллов.....6

Категория сложности.....1

### Автоматическая сборка

1. Асимметрия внутренней конфигурации, металлическая.....	4000000
2. Несцепляемая.....	000000
3. Стержневая, ферромагнитная .....	10000
4. Круглая, прямая.....	2000
5. Асимметрия.....	900

6. Ступенчатая, с несимметричной формой концов.....	60
7. Паз на образующей, глухой.....	3
	4012963
Сумма баллов.....	25
Категория сложности (с учетом наличия оценки 9).....	4

Сложность автоматизации изделия оценивается обычно средним значением суммы баллов и категорий сложности деталей, входящих в изделие:

$$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot z_i}{z}, \quad (1.1)$$

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot z_i}{z}, \quad (1.2)$$

где  $B_i$  – сумма баллов  $i$ -той детали;  $K_i$  – категория сложности  $i$ -той детали;  $z_i$  – количество  $i$ -тых деталей в изделии;  $n$  – число наименований деталей в изделии;  $z$  – общее число деталей, входящих в изделие.

Используя табл. 1.2, по значению  $K_{cp}$  определяется сложность изделия в целом для автоматизации производства. Представляется возможным количественно сравнивать различные варианты конструкций деталей и изделий.

Приведенная методика количественной оценки степени подготовленности деталей и изделий позволяет целенаправленно проводить отработку конструкций деталей и изделий на технологичность. Дифференциация общей оценки позволяет обращать особое внимание на разряды с большим значением кода. Отработка заключается в предложении мероприятий, позволяющих снизить эти значения кодов.

### 1.3.Пример выполнения работы

#### 1.3.1. Исходные данные

Эскиз детали приведен на рис. 1.3. Материал детали – сталь.

Автоматизируемые операции:

- сборка пластины со штифтом по отверстию **А**. Схема базирования детали на сборочной операции показана на рис. 1.4;
- шлифование поверхности **Б** на плоскошлифовальном станке с использованием магнитного стола.

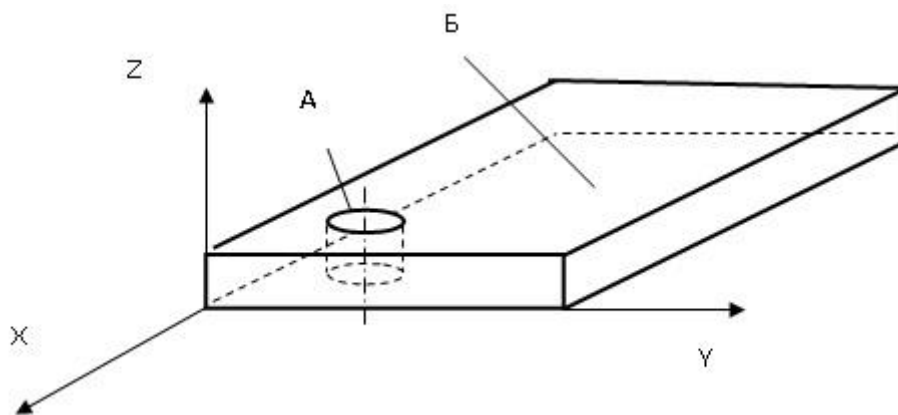


Рис. 1.3. Эскиз детали (пластина)

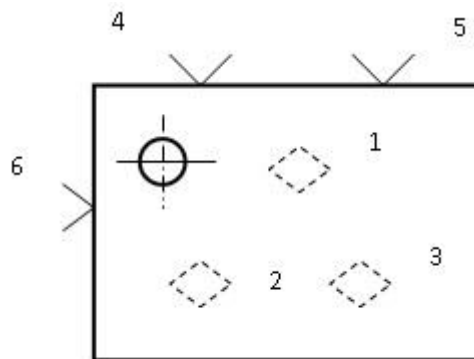


Рис. 1.4. Схема базирования

### *Кодирование детали по каждой операции*

#### **Сборка**

1.	Асимметрия внутреннего контура, металлическая.....	4000000
2.	Несцепляемая.....	000000
3.	Пластинчатая, толстая, ферромагнитная.....	20000
4.	Некруглая, прямая.....	3000
5.	Асимметрия.....	900
6.	Центрального отверстия нет, гладкая.....	10
7.	Отверстие на образующей, сквозное.....	5
		4023915
	Сумма баллов.....	24
	Категория сложности.....	4

#### **Плоское шлифование**

1.	Асимметрия наружного контура, металлическая.....	1000000
2.	Несцепляемая.....	000000
3.	Пластинчатая, толстая, ферромагнитная.....	20000
4.	Некруглая, прямая.....	3000
5.	Одна ось вращения ( <b>Z</b> ), одна плоскость симметрии ( <b>XY</b> ).....	100
6.	Центрального отверстия нет, гладкая.....	10
7.	Дополнительные признаки отсутствуют.....	0
		1023110
	Сумма баллов.....	8
	Категория сложности.....	1

#### 1.3.2. Мероприятия по улучшению конструкции детали

Операция плоского шлифования не требует совершенствования конструкции детали, автоматизация достигается достаточно просто.

Операция сборки требует изменения конструкции. Из анализа кода данной операции видно, что на общее увеличение сложности значительное влияние оказали ступень 5 и, частично, ступень 1. Если увеличить симметричность детали, то деталь сможет поступать на сборку не в одном положении, а в нескольких, что упростит конструкцию ориентирующих устройств. Возможно, будет также перейти к ориентации детали по наружному

контуру. Рассмотрим часто используемый прием – добавление фальшэлементов (считаем, что это допустимо по служебному назначению детали).

В данном случае целесообразно добавить дополнительные отверстия (рис. 1.5, а, б). Нетрудно убедиться, что для детали с двумя отверстиями (рис. 5, а), код будет – **4023615**, категория сложности – **3**, а для детали с четырьмя отверстиями (рис. 1.5, б) код будет – **1023410**, категория сложности – **2**.

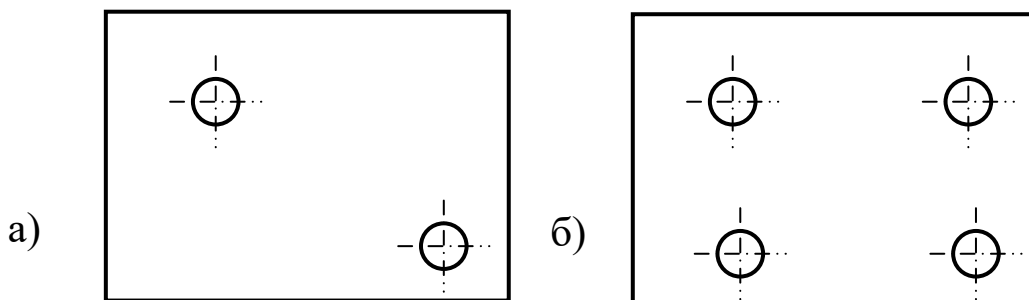


Рис. 1.5. Варианты изменения конструкции детали

#### ***1.4. Порядок выполнения работы***

Рекомендуется следующая последовательность выполнения работы:

1. Используя прил. 1.1 или по указанию преподавателя выбираются 2-3 детали для последующей оценки.

2. Для каждой детали формулируются конкретные операции, подлежащие автоматизации (механическая обработка, сборка, контроль, транспортировка и т. д.) с указанием необходимых конкретных условий (оборудование, режимы работы, требуемое положение детали, дополнительные условия, влияющие на сложность автоматизации и т. д.).

3. Используя предложенную систему оценки (прил. 1.2), проводят кодировку деталей для выбранных операций. Определяются категории сложности.

4. Для операции, получившей наибольшую сумму баллов, предлагаются мероприятия по улучшению конструкции либо ТП для повышения степени подготовленности, то есть уменьшению величины суммы баллов **В** и, следовательно, и категории **К**. Все предложения оформляются в виде необходимых эскизов, текстового описания, новых значений кодового обозначения.

5. Делаются выводы по работе.

## Содержание отчета

1. Эскизы деталей.
2. Необходимые исходные данные по операциям, подлежащим автоматизации.
3. Схема кодирования деталей с указанием конкретных кодов и необходимыми комментариями по выбору кодов.
4. Категории сложности. Выводы о необходимости улучшения конструкции деталей.
5. Предложения по совершенствованию конструкций деталей (в эскизном варианте) и соответствующий скорректированный код детали.
6. Выводы по работе.

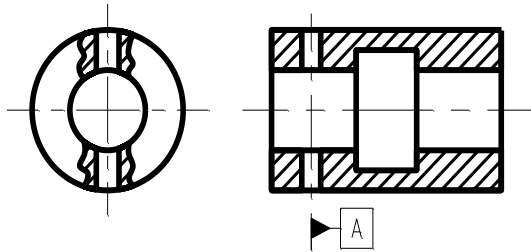
### ***1.6. Контрольные вопросы***

1. Почему возникает необходимость отработки на технологичность конструкции детали при автоматизации производства?
2. Как осуществляется оценка подготовленности изделия к автоматизации?
3. Поясните правила применения кодов по ступеням 1–7.
4. Как определяются категории сложности детали и изделия?
5. Как использовать данную методику для совершенствования конструкции детали? Привести примеры.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

## Вариант 1



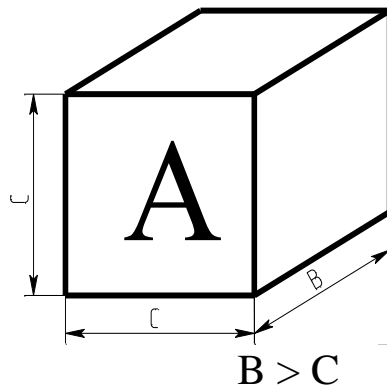
Операции:

а) круглое наружное шлифование;

б) сборка со штифтом по отверстию А

Материал: сталь

## Вариант 2



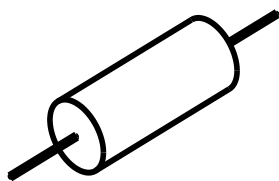
Операции:

а) счет деталей;

б) нанесение покрытия на предварительно вырезанный профиль буквы «А»

Материал: сталь

## Вариант 3



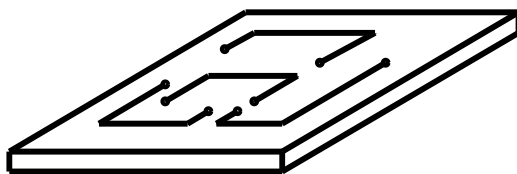
(электрическое сопротивление)

Операции:

а) счет деталей;

б) пайка в какую-либо схему

## Вариант 4



Операции:

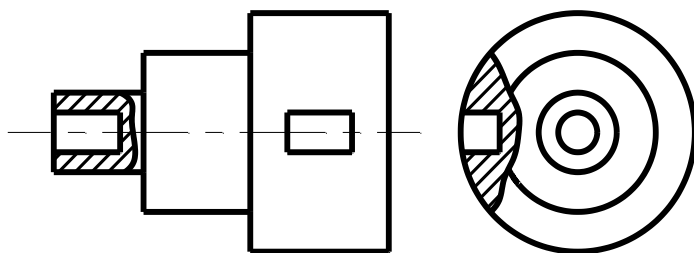
а) транспортировка между операциями;

б) сборка с радиоэлементами

Материал: текстолит



## Вариант 5



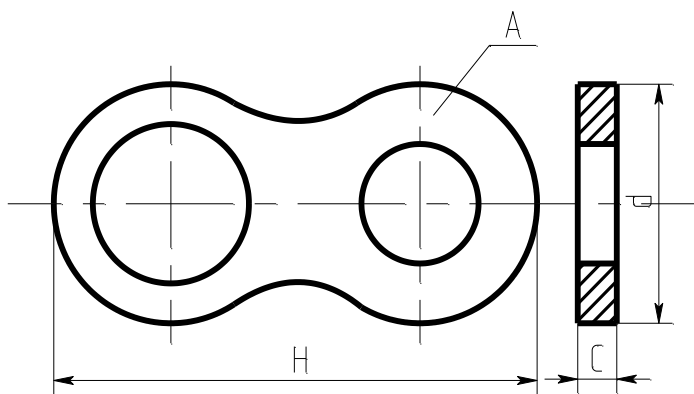
Операции:

а) сверление центрального отверстия;

б) сборка со шпонкой

Материал: сталь

## Вариант 6



$$H/C < 10; d/C < 10$$

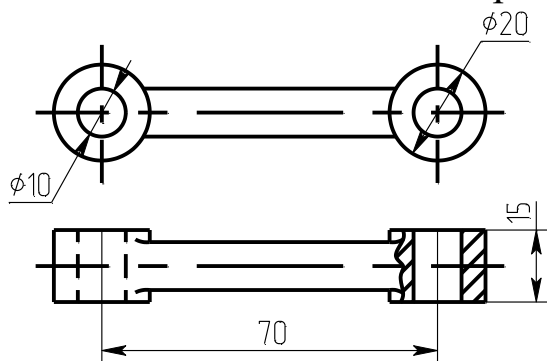
Операции:

а) плоское шлифование поверхности «А»;

б) сборка

Материал: сталь

## Вариант 7



Деталь – рычаг

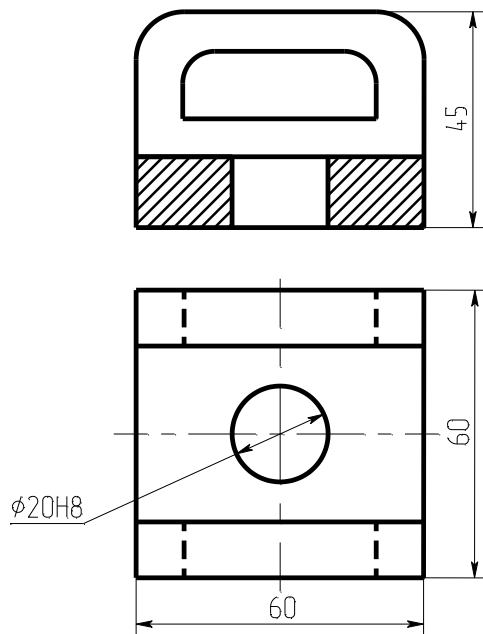
Операции:

а) установка на ось (сборка);

б) установка на плоскошлифовальный станок для обработки торцов

Материал: сталь

## Вариант 8



Деталь – каркас

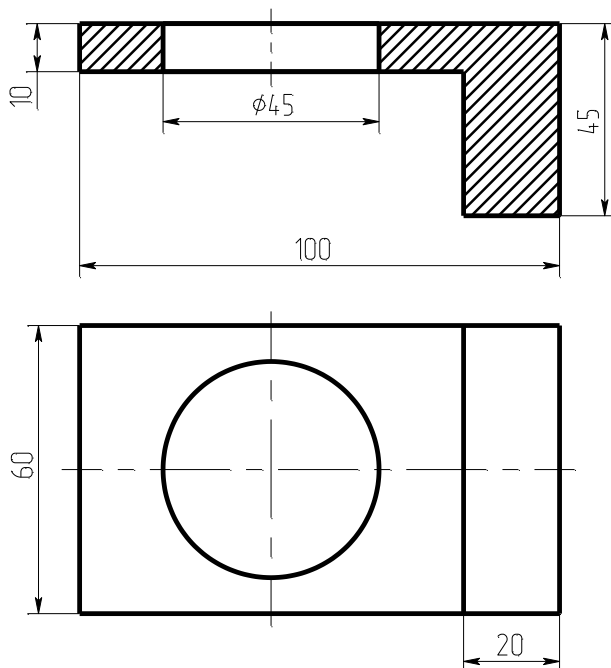
Операции:

а) установка для фрезерования окон на горизонтальном ОЦ с поворотным столом;

б) предложить самим

Материал: сталь

## Вариант 9



Деталь – кронштейн

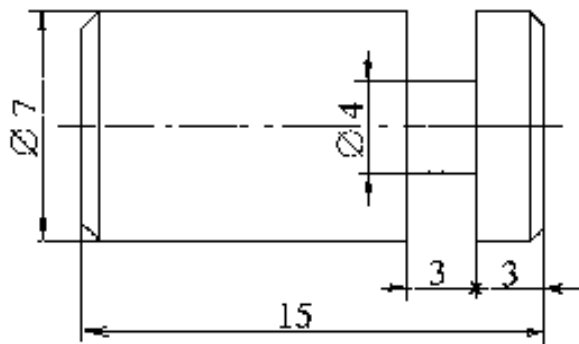
Операции:

а) установка на вертикально-сверлильном станке для обработки отверстия  $\varnothing 45$ ;

б) предложить самим

Материал: сталь

## Вариант 10



Деталь – валик

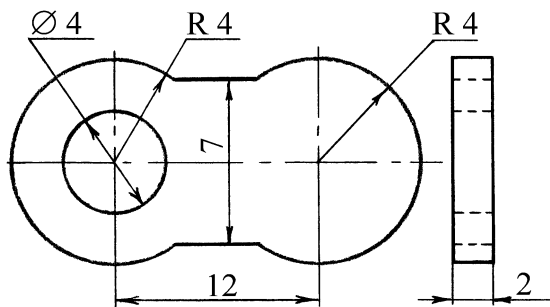
Операции:

а) счет деталей;

б) сборка с манжетой

Материал: сталь

## Вариант 11



Деталь – пластина

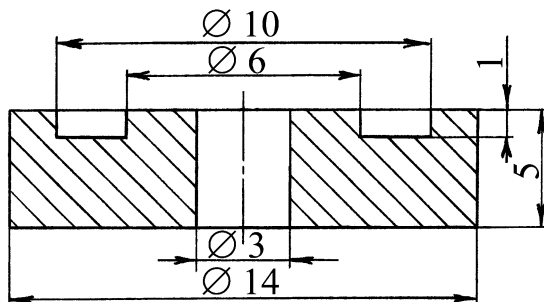
Операции:

а) сверление отверстия;

б) шлифование торца на плоскошлифовальном станке

Материал: сталь

## Вариант 12



Деталь – шайба

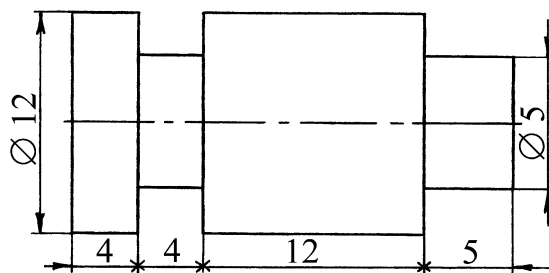
Операции:

а) сверление отверстия;

б) установка уплотнения в канавку

Материал: бронза

## Вариант 13



Деталь – ось

Операции:

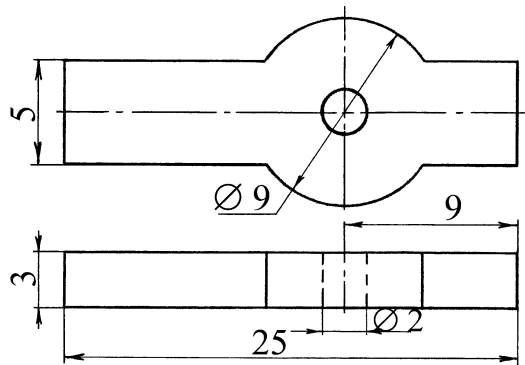
а) шлифование цилиндра

$\varnothing 12$  мм;

б) установка манжеты в канавку

Материал: сталь

## Вариант 14



Деталь – рычаг

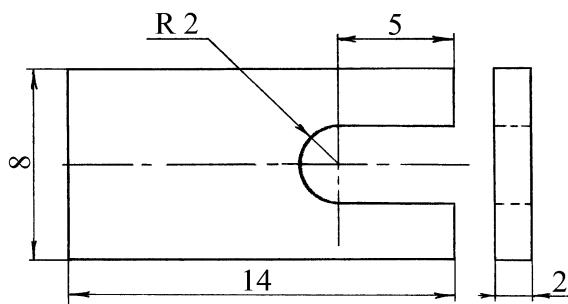
Операции:

а) сверление отверстия;

б) шлифование торца

Материал: сталь

## Вариант 15



Деталь – пластина

Операции:

а) фрезерование паза на вертикально-фрезерном станке;

б) шлифование торца

Материал: сталь

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.2

### Схема оценки степени подготовленности изделия для автоматизированного производства

#### Ступень 1

Не требует ориентации		Асимметрия наружной конфигурации		Асимметрия центра тяжести		Асимметрия внутренней конфигурации		Асимметрия физических свойств		Асимметрия свойств поверхности	
металлические	0000000	металлические	1000000	металлические	2000000	металлические	4000000	металлические	6000000	металлические	8000000
неметаллические	1000000	неметаллические	2000000	неметаллические	3000000	неметаллические	5000000	неметаллические	7000000	неметаллические	9000000

#### Ступень 2

Несцепляемые	Сопрягаемые	Сцепляемые механически	Сцепляемые полем	Саморазбирающиеся	Сцепляемые
000000	500000	600000	700000	800000	900000

#### Ступень 3

Свойства формы не учитываются	Стержневые		Пластинчатые				Миниатюрные и микроминиатюрные		Равноразмерные	
			Тонкие		Толстые					
00000	ферромагнит- ные	10000	ферромагнит- ные	20000	ферромагнит- ные	40000	ферромагнит- ные	60000	ферромагнит- ные	80000
	неферромаг- нитные	20000	неферромаг- нитные	30000	неферромаг- нитные	50000	неферромаг- нитные	70000	неферромаг- нитные	90000

#### Ступень 4

Свойства формы не учитывают		Круглые		Некруглые		С нежесткими элементами		Непостоянная форма (размеры, количество)	
шаровые	0000								
прямые	1000	прямые	2000	прямые	3000	прямые	6000	прямые	8000
изогнутые	1000	изогнутые	4000	изогнутые	5000	изогнутые	7000	изогнутые	9000

### Ступень 5

Множество осей вращения	Одна ось вращения, одна плоскость симметрии	Одна ось вращения	Три и более плоскостей симметрии	Две плоскости симметрии	Одна плоскость симметрии	Осесимметрия	Асимметрия
000	100	200	400	500	600	700	900

### Ступень 6

Центральное отверстие отсутствует		Центральное отверстие сквозное		Центральное отверстие глухое	
шаровые	00				
гладкие	10	Гладкие	20	гладкие	50
ступенчатые с симметричной формой концов	30	ступенчатые с симметричной формой концов	40	ступенчатые с симметричной формой концов	80
ступенчатые с несимметричной формой концов	60	ступенчатые с несимметричной формой концов	70	ступенчатые с несимметричной формой концов	90

### Ступень 7

Дополнительные признаки отсутствуют	Паз или выступ на образующей		Паз или выступ на торце центральный		Отверстие на образующей поперечное		Паз, выступ, отверстие на торце не центральные		Отверстие в детали шаровой формы
0	сквозной	1	с двух сторон	2	сквозное	5	с двух сторон	6	9
	глухой	3	с одной стороны	4	глухое	7	с одной стороны	8	

## Лабораторная работа № 2.

### РАЗРАБОТКА ЦИКЛОГРАММ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЯЧЕЕК

#### *2.1. Цель работы*

Цель – ознакомление студентов с правилами построения и анализа циклограмм работы автоматических обрабатывающих ячеек (АОЯ).

#### *2.2. Теоретические положения*

При разработке циклограмм работы автоматических машин (систем машин) обычно решаются следующие задачи:

- проектируется четкая последовательность действий и необходимых команд управления для всех исполнительных механизмов машины, на основании которой затем составляется управляющая программа (УП). Для РТК, например, по циклограмме его работы составляется УП для промышленного робота (ПР), который координирует работу остального оборудования;

- разработанная последовательность действий оптимизируется с целью сокращения общей длительности цикла и отсутствия простаивания основного технологического оборудования РТК.

Если при разработке циклограммы определяются времена выполнения отдельных действий (тактов цикла), то такие циклограммы используются для расчета длительности всего цикла и отдельных его фрагментов, расчета производительности РТК.

Известны различные формы представления циклограмм: табличные, круговые и пр. Наибольшее распространение получили циклограммы в форме таблицы.

Перед построением циклограммы определяется состав оборудования АОЯ и уточняется перечень исполнительных механизмов по каждому оборудованию. Также определяются возможные состояния каждого исполнительного механизма. В данной работе следует учитывать только то оборудование и исполнительные механизмы, которые совершают механические действия (пульта управления, электрошкафы, гидростанции и пр. не учитывать). Для станка сле-

дует выбирать те исполнительные механизмы, которые непосредственно участвуют в процессе загрузки-разгрузки детали. Собственно процесс обработки детали по управляющей программе будем считать проходящим между включением и выключением шпинделя и подробно в циклограмме не рассматриваем.

Тогда циклограмма будет включать в себя следующие столбцы:

- оборудование;
- исполнительные механизмы, выполняющие отдельные элементы цикла;
- возможные состояния исполнительных механизмов в цикле;
- необходимое число тактов цикла.

Число строк определяется числом состояний всех исполнительных механизмов.

Первоначально выбирается какое-либо состояние всех исполнительных механизмов в качестве исходного. Для выбора **исходного состояния** можно выбрать любой момент цикла загрузки-разгрузки (например, момент начала загрузки детали). Циклограмму необходимо составить так, чтобы в конце цикла все исполнительные механизмы вернулись в исходное состояние.

Далее следует в **текстовом виде** описать планируемую последовательность срабатывания всех необходимых исполнительных механизмов. При этом необходимо стремиться к максимальному сокращению времени цикла за счет объединения движений в одном такте (одновременное выполнение движений). Однако такое объединение следует осуществлять технически грамотно. Например, нельзя объединять в один такт зажим приспособления станка и разжим схвата ПР (схват может начать срабатывать раньше приспособления и деталь потеряет ориентацию).

Затем начинается собственно **заполнение табличной циклограммы**. Как правило большинство исполнительных механизмов имеет два состояния (*открыто – закрыто, выдвинуто – задвинуто, включено – выключено*). В этом случае должны выполняться правила последовательности переключения состояний и четности (количество нахождения исполнительного механизма в одном состоянии должно равняться количеству нахождения его во втором состоянии, т. е. сумма должна делиться на два, иначе исполнительный механизм за цикл не вернется в исходное состояние).



### 2.3. Пример выполнения работы

Схема АОЯ приведена на рис. 2.1. В состав ячейки входят:

- токарный станок с ЧПУ 16K20Ф3Р132;
- промышленный робот М10П.62.01;
- тактовый стол.

Обрабатываются детали типа валов, запас которых находится на тактовом столе. Ось детали на столе – вертикально. Готовая деталь должна быть возвращена на тактовый стол в эту же позицию. Состав необходимых для загрузки-разгрузки исполнительных механизмов и их состояний приведен в таблице 2.1.

Определим **исходное состояние** исполнительных механизмов:

- ограждение - открыто;
- охлаждение – выключено;
- приспособление – открыто;
- шпиндель – выключен;
- механизм поворота вокруг оси А – к тактовому столу ( $0^\circ$ );
- механизм поворота вокруг оси В – от станка;
- рука – задвинута;
- схват – открыт;
- дополнительный сдвиг – к 0 мм (влево относительно оси руки ПР);
- тактовый стол – заготовка на позиции загрузки.

Примем следующий **цикл** загрузки – разгрузки станка.

Рука выдвигается. Схват закрывается. Рука поднимается вверх, вынимая заготовку из кассеты. Поворот на  $90^\circ$  вокруг оси А. Поворот вокруг оси В (заготовка попадает на ось центров станка). Рука сдвигается к шпинделю, вставляя заготовку в патрон. Патрон закрывается. Схват открывается. Рука задвигается и поворачивается вокруг оси В вертикально. Ограждение закрывается, включается охлаждение и начинается обработка по УП. Обработка заканчивается, шпиндель выключается, выключается охлаждение и открывается ограждение. Поворот руки вокруг оси В к станку, выдвижение руки и зажим детали. Приспособление открывается, и рука сдвигается от шпинделя. Поворот вокруг оси В в вертикальное положение и задвижение руки. Поворот вокруг оси А в положение  $0^\circ$  (к тактовому столу). Рука выдвигается и опускается вниз, вставляя деталь в кас-

сету. Схват открывается и рука задвигается. Тактовый стол поворачивается на одну позицию. Цикл закончен.

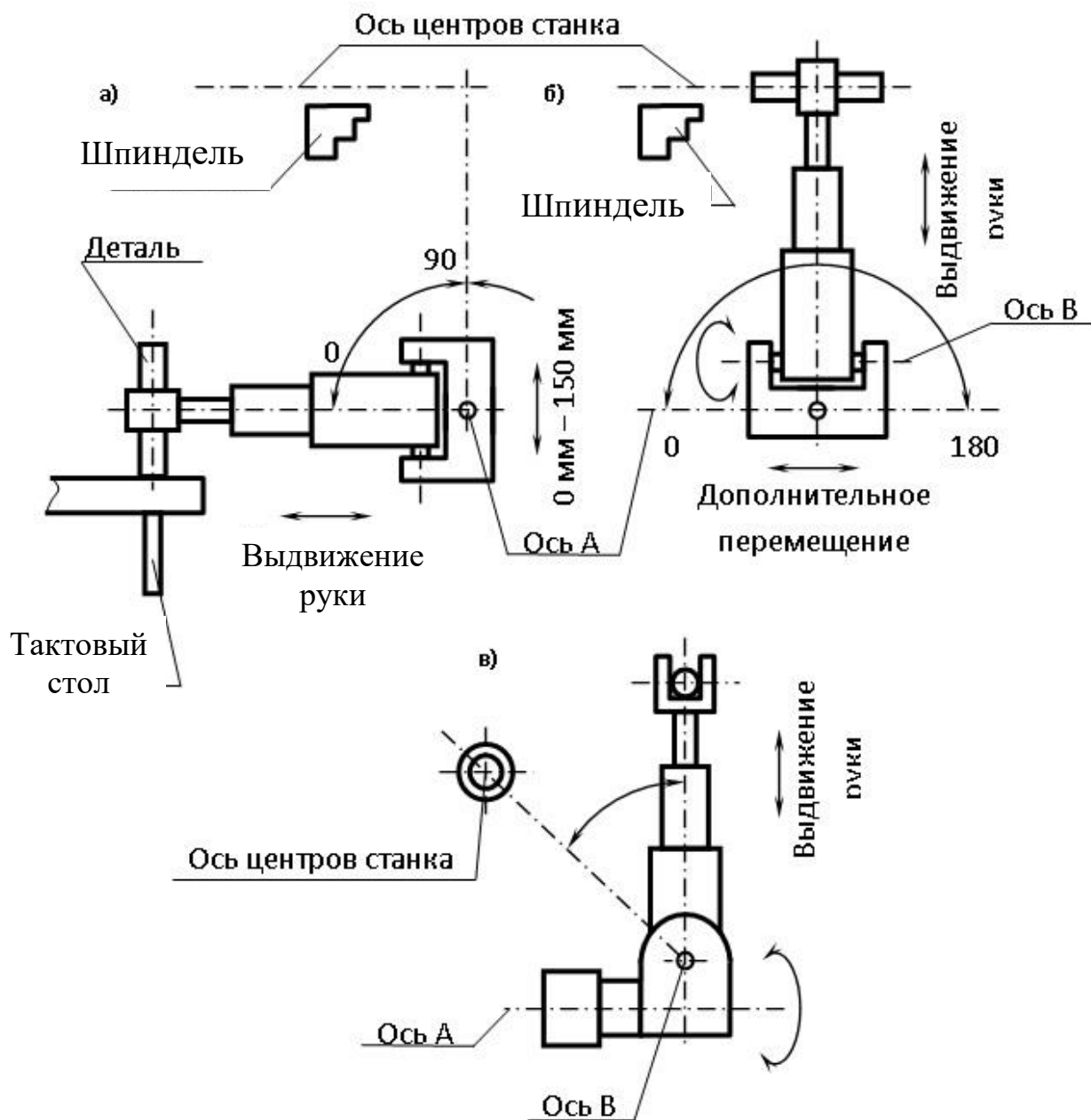


Рис. 2.1. Схема автоматической обрабатывающей ячейки:  
а) вид спереди (захват заготовки); б) вид спереди (загрузка на станок);  
в) вид сбоку

Таблица 2.1.

## Фрагмент циклограммы АОЯ

Оборудование	Исполнительный механизм	Состояние	Такты												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
Станок	ограждение	закрыто										+			
		открыто													+
	охлаждение	включено										+			
		выключено													+
	приспособление	открыто													
		закрыто							+						
	шпиндель	включен											+		
		выключен												+	
Промышленный робот	поворот вокруг оси А	к такт. столу													
		от такт. стола				+									
	поворот вокруг оси В	к станку					+								
		от станка									+				
	рука	выдвинута	+												
		задвинута									+				
	схват	закрыт		+											
		открыт								+					
	дополнительный сдвиг	к патрону						+							
		от патрона			+										
Тактовый стол		поворот на 1 шаг													

**2.4. Порядок выполнения работы**

1. Получить у преподавателя вариант задания (прил. 2.1).
2. Проанализировать состав ячейки, определить необходимый состав исполнительных механизмов по каждому виду оборудования и их функции.
3. Определить исходное положение заготовки и всех исполнительных механизмов.
4. Спроектировать автоматический цикл работы АОЯ.
5. Разработать в табличной форме циклограмму работы ячейки, стремясь максимально сократить время загрузки-разгрузки деталей.

**2.5. Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Схема АОЯ с указанием состава ячейки и степеней свободы ПР.
3. Исходное положение исполнительных механизмов.

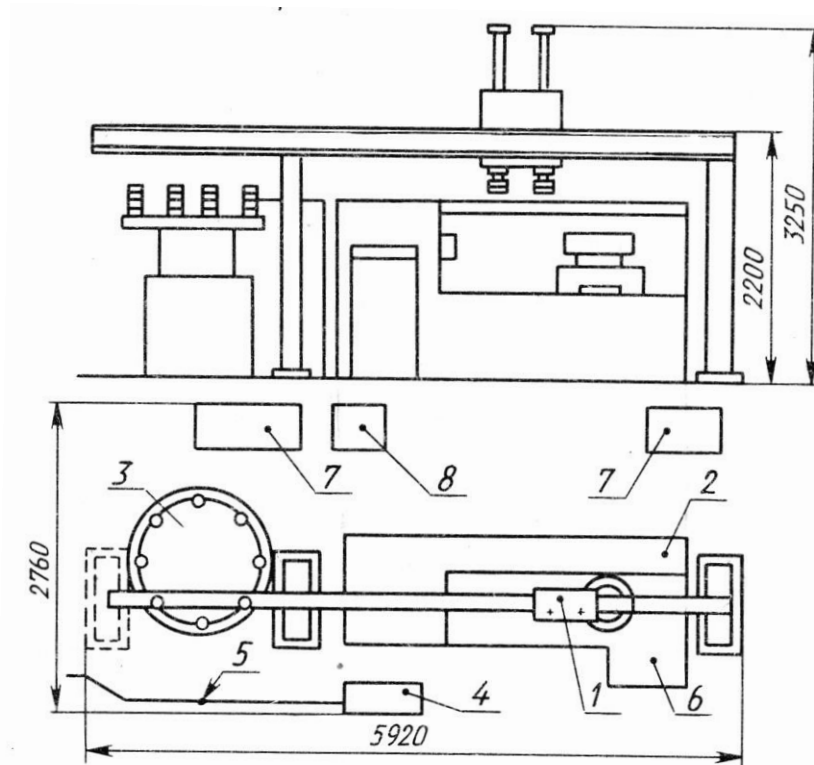
4. Текстовое описание автоматического цикла АОЯ.
5. Циклограмма работы АОЯ.
6. Выводы по работе.

### ***2.6. Контрольные вопросы***

1. Основные задачи, решаемые при разработке циклограмм.
2. Поясните структуру табличной циклограммы.
3. Приведите примеры случаев, когда можно объединять работу отдельных механизмов в одном такте, когда нельзя.
4. В чем заключается правило четности при разработке циклограмм?

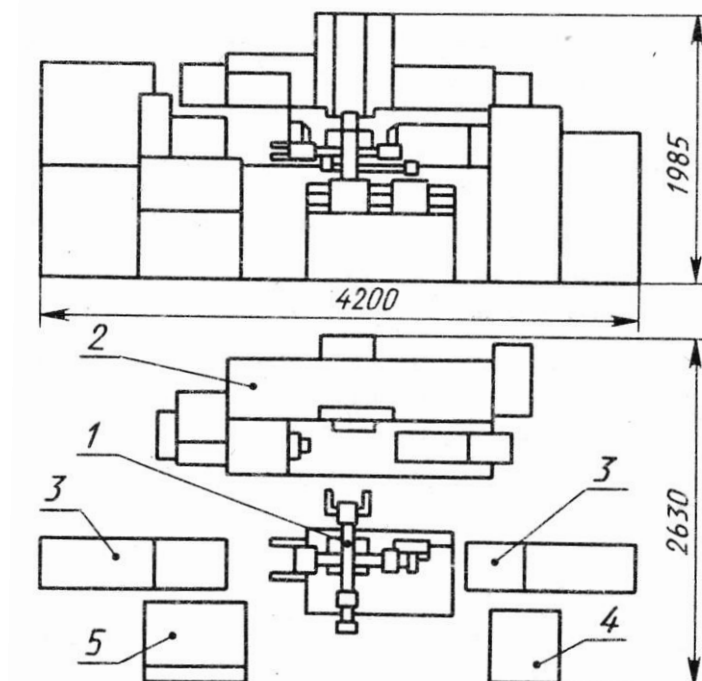
## Варианты заданий

## Вариант 1



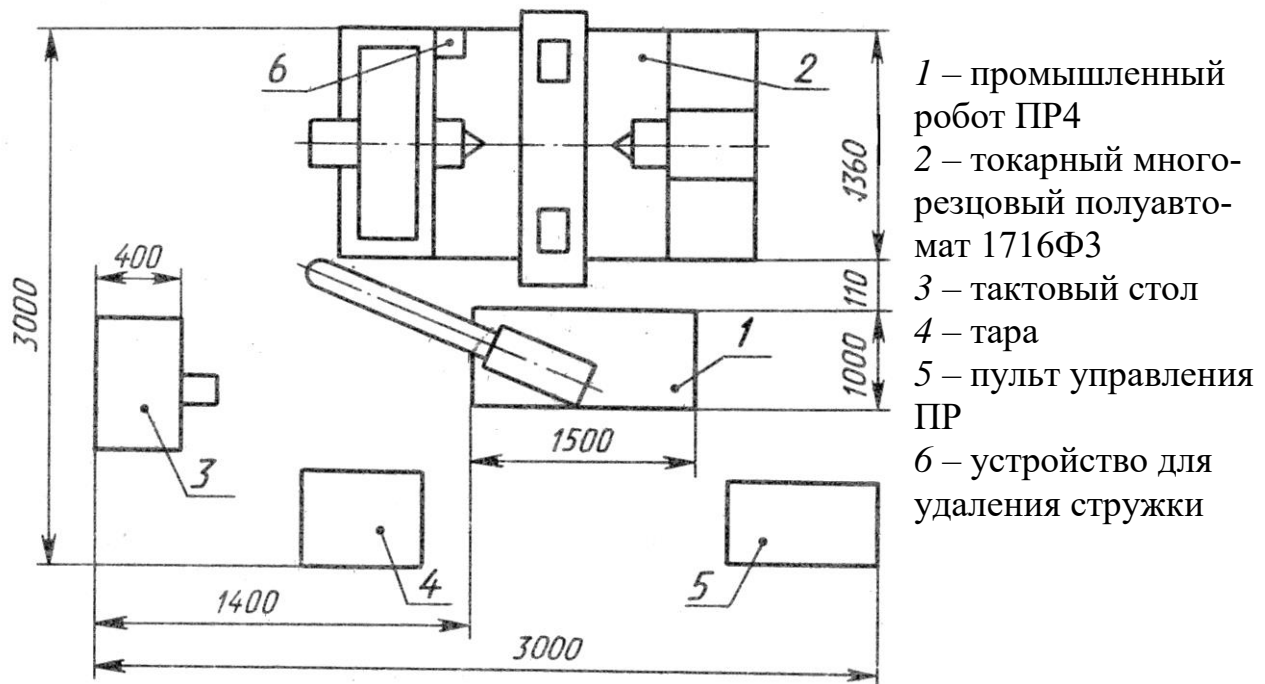
- 1 – промышленный робот М20Ц.40.01
- 2 – токарно-револьверный станок с ЧПУ 1В340Ф30
- 3 – магазин-накопитель
- 4 – устройство управления ПР
- 5 – ограждение
- 6 – устройство ЧПУ станка
- 7 – электрошкаф
- 8 – гидростанция

## Вариант 2

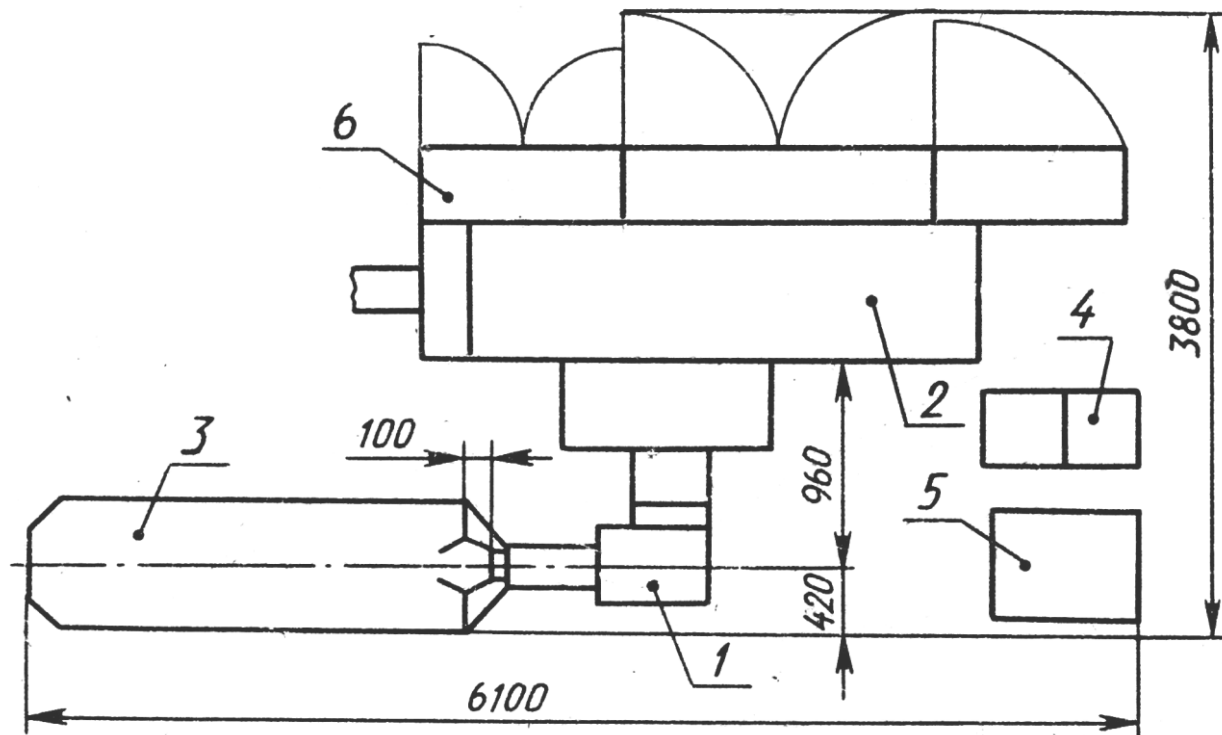


- 1 – промышленный робот 2М4Ц.20ГП-3
- 2 – токарный многорезцовый станок 1Н713
- 3 – тара (кассетного типа)
- 4 – устройство управления ПР
- 5 – гидростанция

## Вариант 3



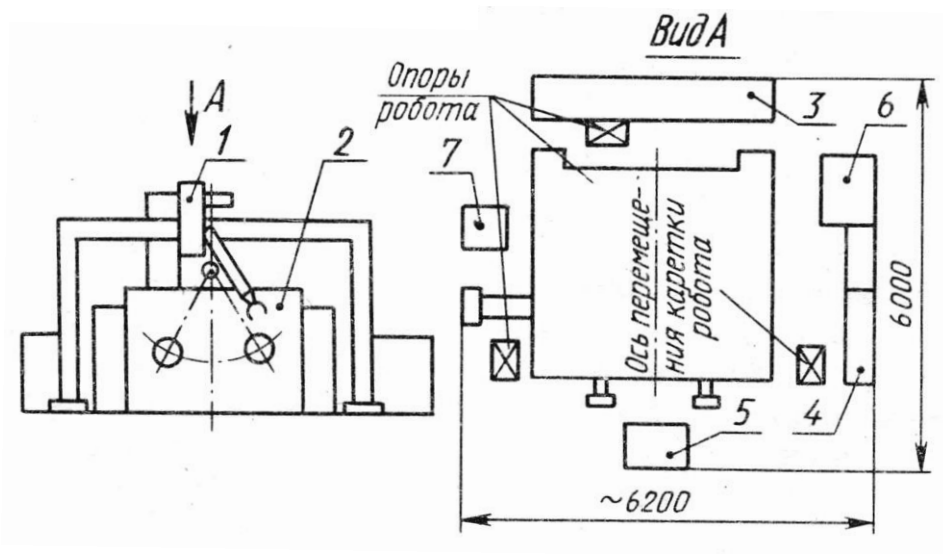
## Вариант 4



1 – промышленный робот  
М10П62.01  
2 – токарный станок с ЧПУ  
16K20Ф3  
3 – тактовый стол

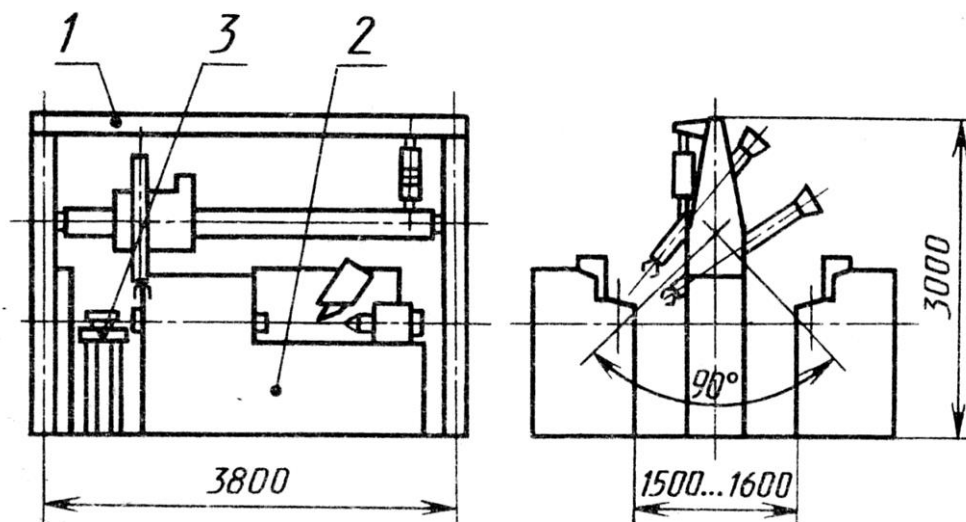
4 – устройство ЧПУ ПР  
5 – устройство ЧПУ станка  
6 – электрошкаф

## Вариант 5



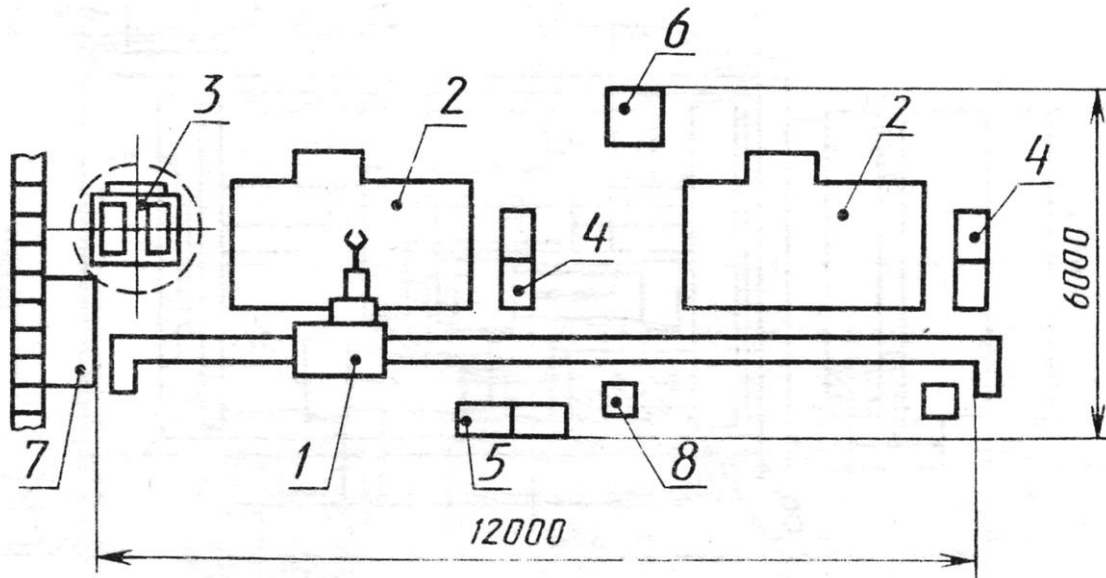
- 1 – промышленный робот М40П.05.01
- 2 – двухшпиндельный токарный станок МР-315
- 3 – роликовый конвейер
- 4 – устройство ЧПУ ПР
- 5 – устройство переориентации детали
- 6 – электрошкаф
- 7 – гидростанция

## Вариант 6



- 1 – промышленный робот МП
- 2 – токарный полуавтомат 1713
- 3 – тактовый стол

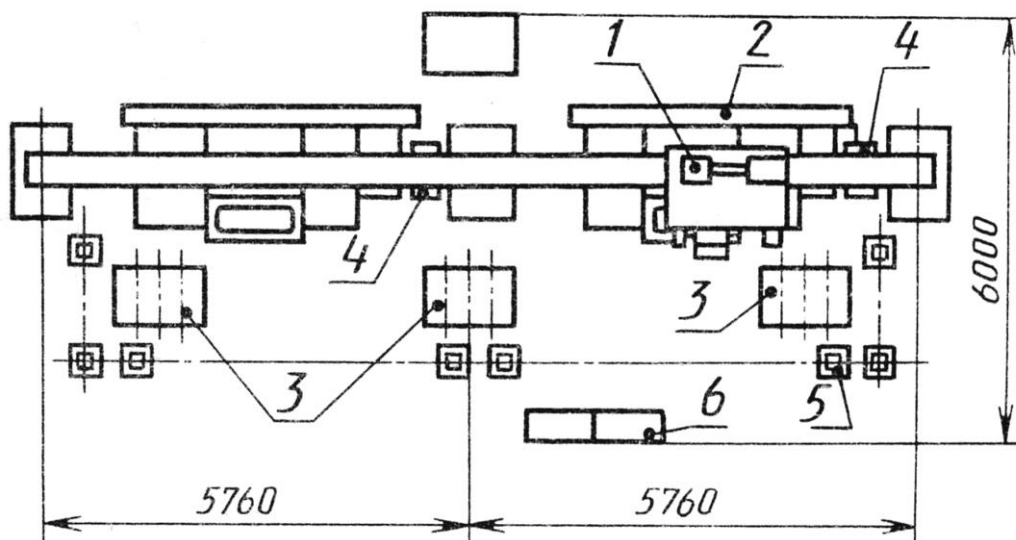
## Вариант 7



- 1 – промышленный робот  
УМ160Ф2.81.02  
2 – токарный станок с ЧПУ  
1П752МФ3  
3 – поворотное устройство  
4 – устройство ЧПУ станка

- 5 – устройство ЧПУ ПР  
6 – тара для стружки  
7 – загрузочная позиция  
склада  
8 – гидростанция

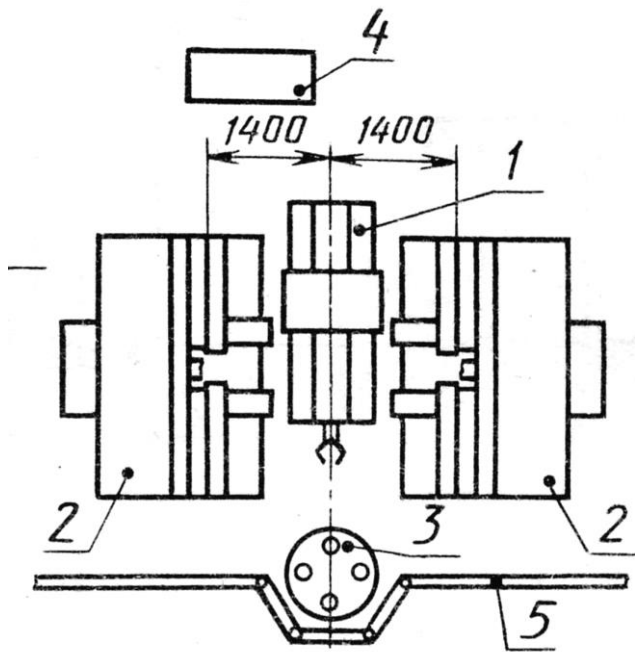
## Вариант 8



- 1 – промышленный робот СН40Ф2.80.81  
2 – токарный станок с ЧПУ 16K20Ф3  
3 – накопитель  
4 – промежуточная позиция  
5 – ограждение с системой светозащиты  
6 – устройство ЧПУ ПР

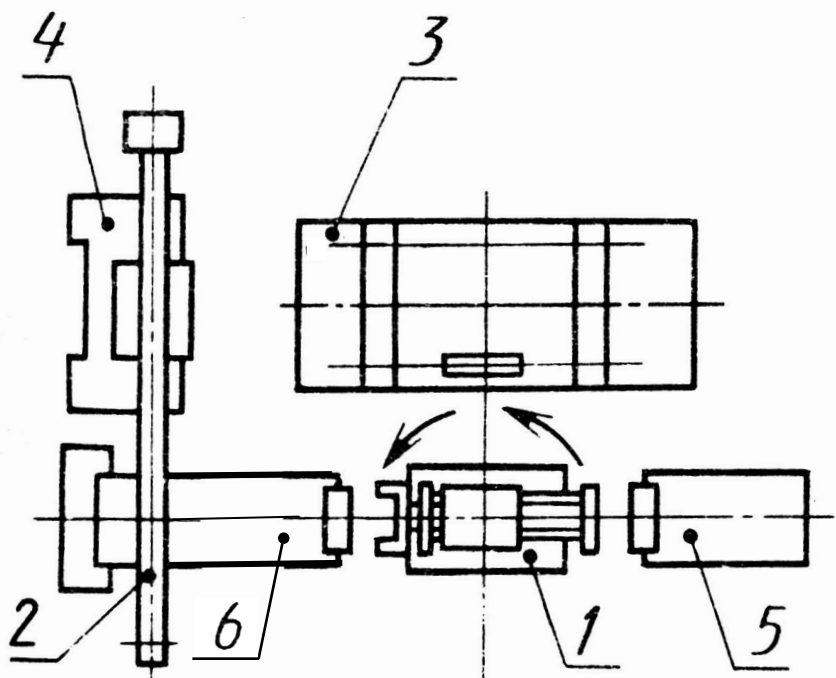


## Вариант 9



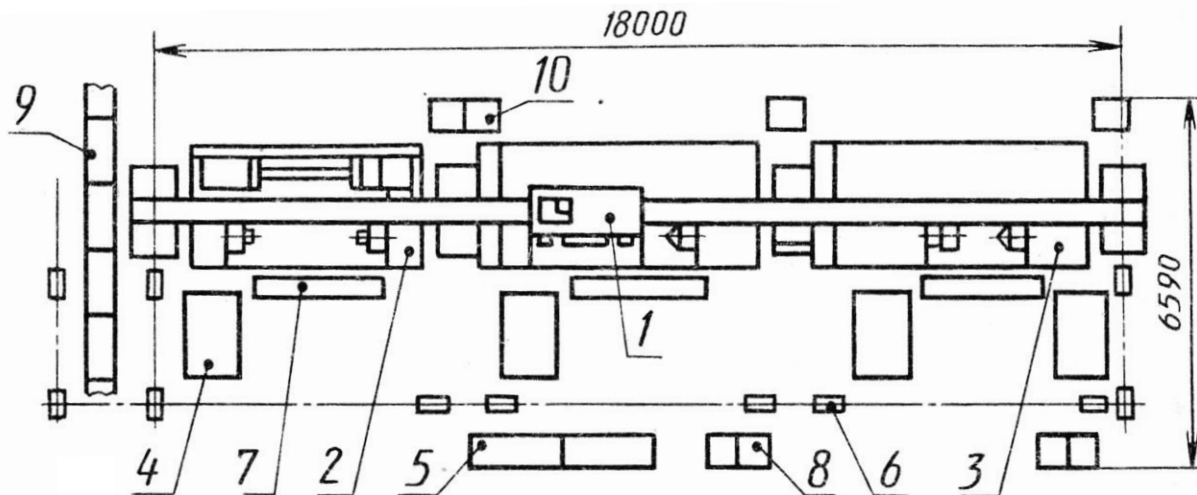
- 1 – промышленный робот УМ1
- 2 – токарный полуавтомат агрегатного типа АТ250П
- 3 – магазин периодического действия
- 4 – пульт управления
- 5 – ограждение

## Вариант 10



- 1 – промышленный робот СМ40Ц.40.11
- 2 – промышленный робот МР80
- 3 – агрегатно-расточной станок 10А803
- 4 – токарный станок 16К20
- 5 – устройство загрузочное
- 6 – конвейер шаговый

## Вариант 11



1 – промышленный робот

УМ160Ф2.81.01

2 – фрезерно-центровальный станок МР179

3 – токарный станок с ЧПУ 1Б732Ф3

4 – магазин с тарой

5 – устройство ЧПУ ПР

6 – система светозащиты

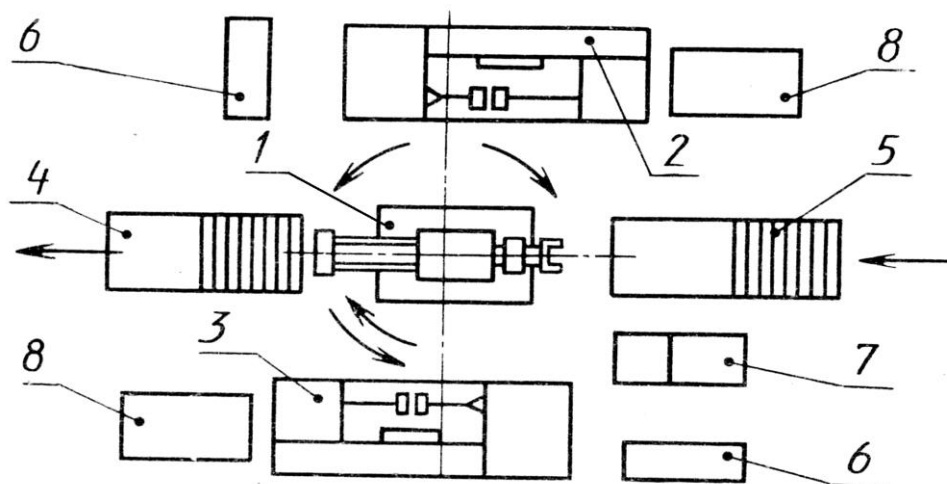
7 – накопитель промежуточный

8 – устройство ЧПУ станка

9 – конвейер подающий

10 – гидрооборудование

## Вариант 12



1 – промышленный робот

СМ40Ц.40.11

2 – фрезерно-центровальный станок МР71

3 – токарный станок 16К20Ф3

4 – накопитель деталей периодического действия

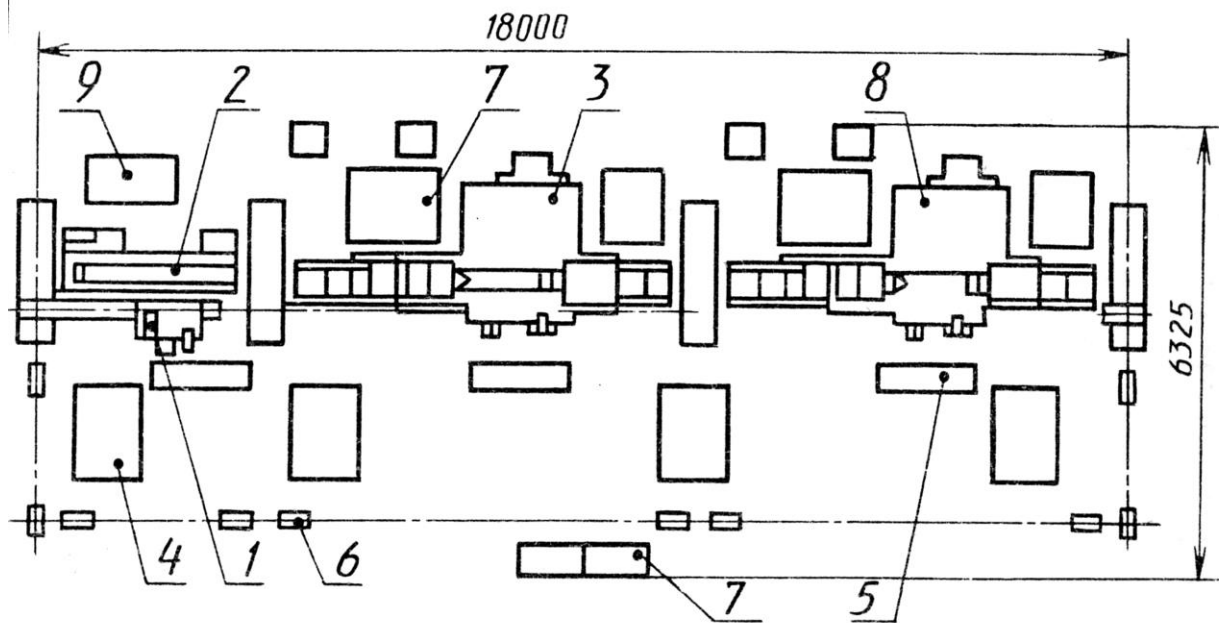
5 – накопитель заготовок периодического действия

6 – устройство ЧПУ станка

7 – устройство ЧПУ ПР

8 – электрошкаф

## Вариант 13



- 1 – промышленный робот УМ160Ф2.81.01
- 2 – центродоводочный станок МА3926
- 3 – шлифовальный станок м163Ф2
- 4 – магазин
- 5 – позиция контроля промежуточная
- 6 – система светозащиты
- 7 – устройство ЧПУ ПР
- 8 – станция СОЖ
- 9 – гидростанция

## Лабораторная работа № 3.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА*3.1. Общая характеристика автоматических загрузочных устройств*

Автоматическое загрузочное устройство (АЗУ) в общем случае представляет собой целый комплекс специализированных механизмов и устройств, каждый из которых выполняет свою функцию. Обобщенная схема АЗУ представлена на рис. 3.1.

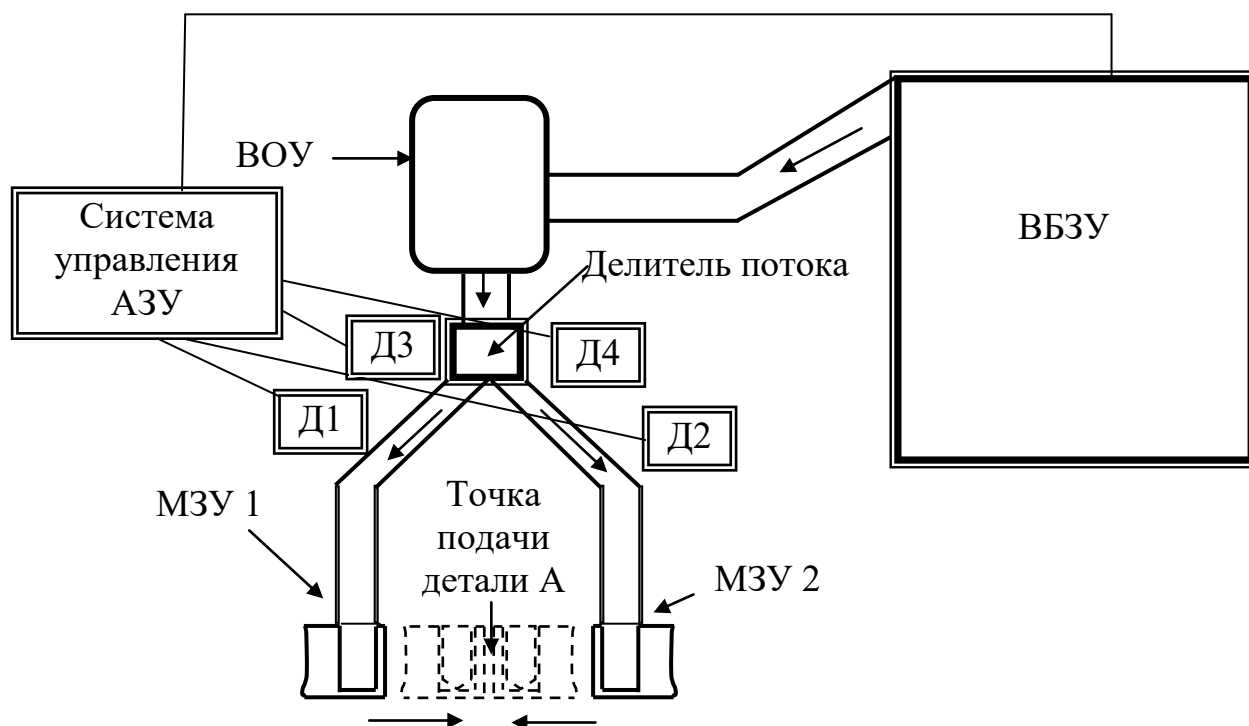


Рис. 3.1. Обобщенная схема АЗУ (пояснения в тексте)

Вибрационное бункерное загрузочное устройство (**ВБЗУ**) обеспечивает ориентацию деталей в пространстве и во времени (выдача деталей с определенной производительностью).

ВБЗУ не всегда может обеспечить однозначную ориентацию деталей в пространстве и на выходе детали могут занимать два неразличимых для ВБЗУ положения. В этом случае может понадобиться вторичное ориентирующее устройство (**ВОУ**), которое обеспечивает окончательное положение детали в пространстве.

ВБЗУ обеспечивает не точную, а статистическую производительность. Для выдачи деталей в строго определенные моменты времени в АЗУ используется магазинное загрузочное устройство (**МЗУ 1** и **МЗУ 2**).

Если при расчете МЗУ на производительность выясняется, что один магазин не может обеспечить требуемую для рабочей машины (в точке **А** схемы) производительность, то приходится применять несколько МЗУ и, соответственно, **делители потока**.

Лотки определенной формы соединяют вышеперечисленные механизмы. **Система управления АЗУ** с помощью датчиков наличия деталей **Д1 – Д4** следит за переполнением соответствующих участков схемы и при необходимости выдает команду на временное отключение ВБЗУ для предотвращения аварии.

При проектировании АЗУ приходится решать следующие основные задачи:

- выбор способов автоматической ориентации деталей, т. к. при пассивном способе ориентации часть деталей удаляется из потока и ВБЗУ должен обеспечивать производительность значительно больше заданной для точки **А**;
- определение конструкции МЗУ и его расчет на производительность с целью определения необходимого числа МЗУ, потоков деталей и делителей потоков. Здесь также выполняется расчет на надежность работы МЗУ (отсутствие заклинивания);
- расчет основных конструктивных и эксплуатационных параметров ВБЗУ для обеспечения требуемой производительности, времени автоматической работы и ориентации деталей;
- окончательное формирование конструктивного решения АЗУ для заданных исходных данных.

Научить студентов практически решать эти задачи и является целью нижеприведенного цикла лабораторных работ. Работы объединены единым заданием (приложение, табл. ПЗ.1, ПЗ.2). Перед началом выполнения лабораторной работы № 3 рекомендуется провести оценку степени подготовленности заданной детали к автоматизированному производству по лабораторной работе № 1.

### 3.2. Лабораторная работа № 3. Часть 1. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

#### 3.2.1. Цель работы

Цель работы – закрепить полученные теоретические знания и практически ознакомить студентов со способами автоматической ориентации деталей: первичной – в ВБЗУ и вторичной – в ВОУ.

#### 3.2.2. Основные теоретические положения

Перед началом выполнения работы следует ознакомиться с разделами 2.3.4 и 2.3.5 учебного пособия [1].

Для правильной ориентации необходимо систематизировать поток деталей, т. е. получить однорядный и одноярусный поток. На рис. 3.2 показаны различные способы получения однорядного потока, а на рис. 3.3 – способы получения одноярусного потока.

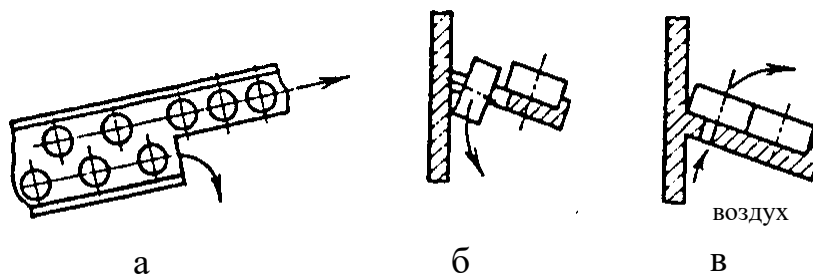


Рис. 3.2. Схемы сбрасывания лишних рядов деталей:  
а – уменьшением ширины лотка; б – с помощью прорези;  
в – воздухом

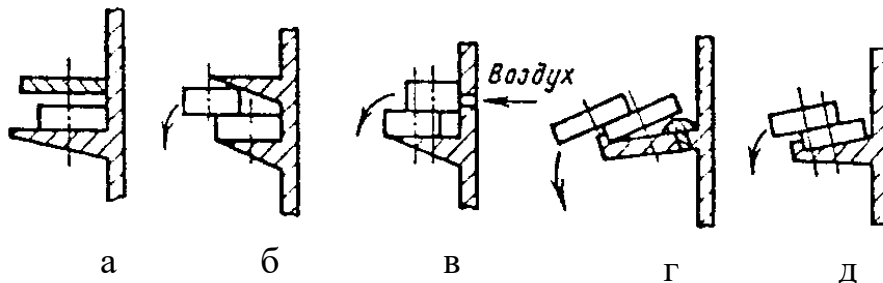


Рис. 3.3. Схемы сбрасывания лишних ярусов деталей:  
а, б – упорами; в – воздухом; г, д – за счет гравитации

Ориентация деталей в ВБЗУ идет на базовых плоскостях:

- вибродорожка – основная ориентирующая плоскость;
- обечайка – направляющая ориентирующая плоскость.

Для обеспечения ориентации детали в пространстве необходимо определить все возможные различные устойчивые положения детали на лотке (*различимое положение* – положение, при котором проекции детали на ориентирующие плоскости неповторимы при других положениях детали) и выбрать одно – требуемое. Ориентация детали в ВБЗУ происходит постепенно. Каждое устройство ориентации практически переводит деталь из двух возможных устойчивых положений в одно. Проходя через цепочку ориентаторов, деталь занимает требуемое положение. В приложении (табл. ПЗ.6) приведены примеры активных и пассивных ориентаторов, использующих различные способы ориентации. Желательно максимально использовать активный метод ориентации, т. к. при нем не требуется увеличивать производительность АЗУ. Если в ВБЗУ невозможно или нерационально обеспечение полной ориентации детали, то используются ВОУ. Схемы некоторых ВОУ приведены на рис. 3.4.

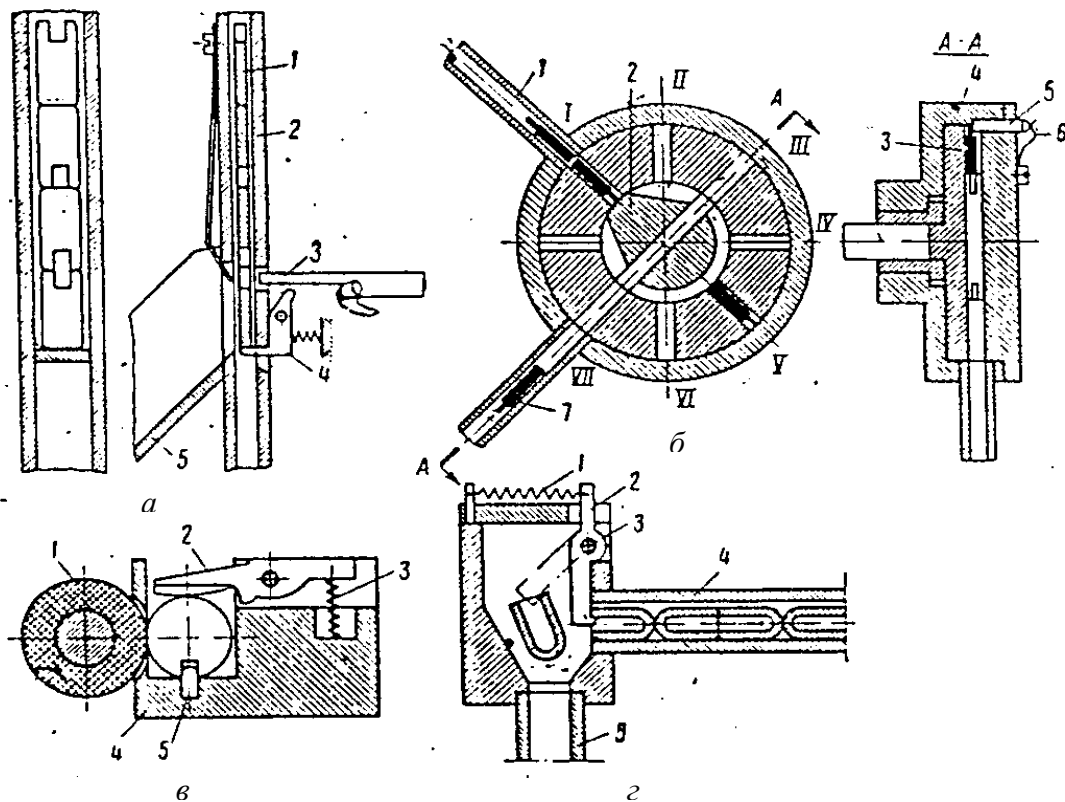


Рис. 3.4. Схемы ВОУ (пояснения в тексте)

На рис. 3.4, *а* – показано пассивное ВОУ, сбрасывающее неправильно расположенные детали. Отсекатель 4 удерживает поток деталей 1, толкатель 3 периодически проходит вперед и отжимает отсекающий. Правильно расположенная деталь (вырезом вверх) падает вниз. Если перед толкателем оказывается деталь с вырезом вниз, то она сталкивается в отводящий канал.

На рис. 3.4, *б* – показано ВОУ для ступенчатых валиков. В корпусе 4 периодически поворачивается диск 3. В диске имеется восемь пазов, в которые поступают заготовки. В цилиндрическую расточку диска 3 входит цилиндрический выступ крышки 2, в котором на части окружности выполнена кольцевая канавка и по направлению вдоль оси приемного лотка 7 с торца прорезан паз. Ширина кольцевой канавки сделана немного больше меньшего диаметра валика, а паз по ширине соответствует лотку. Поступающие заготовки упираются в цилиндрический выступ, в позиции **II** заготовки, идущие тонким концом вперед, опускаются в канавку и в позиции **III** беспрепятственно попадают в приемный лоток. Валики, идущие толстым концом вперед, не попадают на позиции **II** в канавку и в позиции **III** удерживаются прижимом 5. Они покидают диск только в позиции **VII**.

На рис. 3.4, *в* – показано ВОУ, предназначенное для ориентирования детали по шпоночной канавке. Фрикционной диск 1 поворачивает деталь до тех пор, пока она не попадет пазом на шпонку. Прижим 2 опустит деталь на шпонку, и далее она перемещается вдоль лотка по шпонке.

На рис. 4.4, *г* – показано устройство для ориентирования деталей типа колпачок. Колпачки, идущие доньшком назад, удерживаются рычагом 2 до тех пор, пока не перевернутся в правильное положение. Правильно идущие детали, отжимая рычаг, сразу проходят в отводящий канал 5.

### 3.2.3. Порядок выполнения работы

Пример выполнения работы рассмотрен в п. 3.5.2. Общий порядок выполнения работы следующий:

1. Выберите из приложения в соответствии с заданным вариантом чертеж детали (табл. ПЗ.2) и параметры для расчета АЗУ (табл. ПЗ.1).



2. При необходимости по указанию преподавателя проведите оценку подготовленности конструкции детали к автоматическому производству, используя оценочные таблицы из приложения к лабораторной работе № 1.

3. Определите все возможные устойчивые различимые положения детали на лотке ВБЗУ и выберите наиболее удобное окончательное требуемое положение детали в точке А.

4. Рассмотрите необходимость и конструкцию устройств для систематизации потока.

5. Используя типовые решения (приложение, табл. ПЗ.4) предложите конструктивные решения ориентаторов для обеспечения требуемого положения детали. При невозможности полного завершения ориентации в ВБЗУ покажите, какие два (не более) устойчивых различимых положения детали обеспечиваются на выходе. Предложите конструктивное решение ВОУ.

6. Оформите отчет по работе.

### 3.2.4. Содержание отчета

Отчеты по лабораторным работам № 3.1, 3.2, 3.3 можно оформлять отдельно, можно в виде общего отчета по данному комплексу работ.

Содержание отчета по лабораторной работе № 3.1:

- название и цель работы;
- чертеж детали и исходные данные для расчета АЗУ;
- оценка подготовленности детали к автоматическому производству (при проведении оценки);
- эскиз с возможными устойчивыми положениями детали на лотке ВБЗУ и выбранное требуемое положение;
- эскизы устройств систематизации потока (при их наличии);
- эскизы используемых ориентаторов с достаточной степенью детализации, достаточной для понимания принципа их действия;
- схема действия ВОУ (при его наличии).

### 3.2.5. Контрольные вопросы

1. Что включает в себя понятие «способ ориентации»?
2. Что такое ключ ориентации, какие ключи ориентации вы знаете?
3. Дайте характеристику активного и пассивного методов ориентации.
4. Что такое систематизация потока деталей?
5. Как используется понятие «различимое положение детали» при ее ориентации?
6. Поясните, используя рис. 3.4, принципы действия ВОУ.

### 3.3. Лабораторная работа № 3. Часть 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЗУ

#### 3.3.1. Цель работы

Цель работы – ознакомиться с основными конструкциями МЗУ и методами их расчета на производительность и отсутствие заклинивания.

#### 3.3.2. Основные теоретические положения

Перед выполнением работы необходимо изучить основные теоретические положения [1, п. 2.3.2].

Магазин – емкость для размещения однородных штучных заготовок и выдачи их с требуемой производительностью.

Состав магазина: накопитель, отсекающий, питатель.

Основные типы конструкций МЗУ приведены на рис. 3.5.

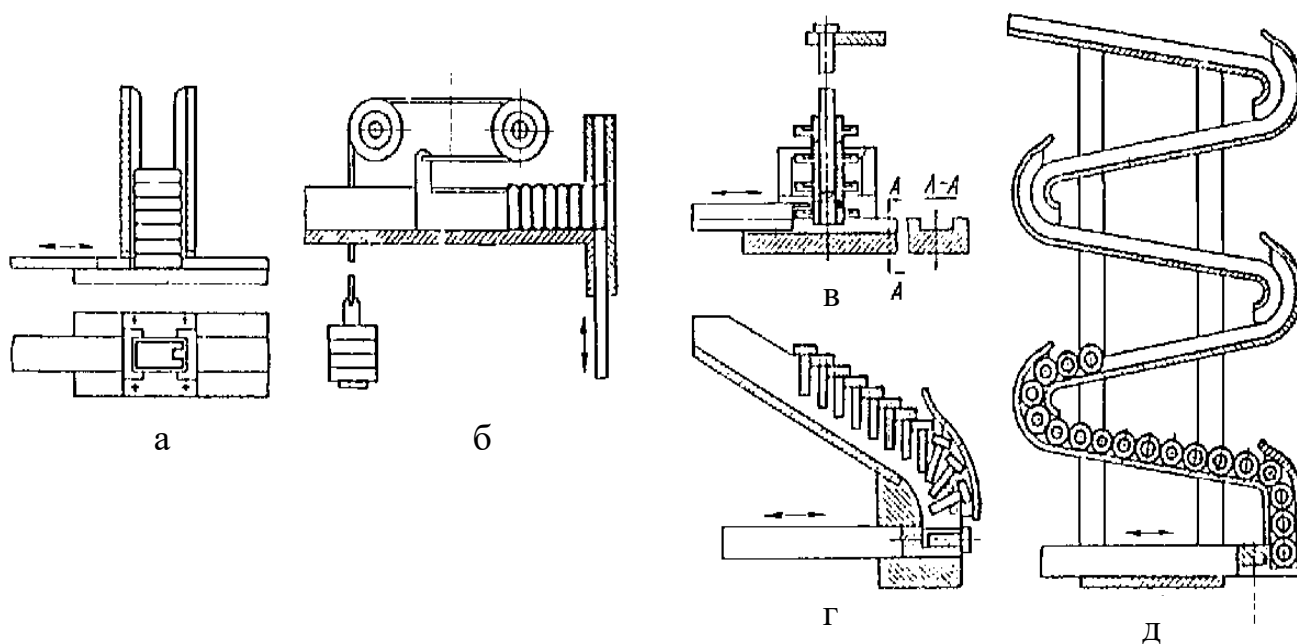


Рис. 3.5. Магазины загрузочные устройства для заготовок, закладываемых штабелем в один ряд

МЗУ рассчитываются на производительность и отсутствие заклинивания.

### Расчет МЗУ на производительность

Производительность любого загрузочного устройства определяется производительностью обслуживаемого им станка:

$$Q_{АЗУ} = K_{п} \cdot Q_a, \quad (3.1)$$

где  $Q_{АЗУ}$  – требуемая производительность автоматического загрузочного устройства (АЗУ);  $K_{п}$  – коэффициент переполнения,  $K_{п} = 1,1 \dots 1,3$ ;  $Q_a$  – производительность станка-автомата (задана).

Производительность МЗУ зависит от времени цикла, то есть времени между выдачей двух деталей (примем, что МЗУ выдает детали по одной, иначе в числителе должно стоять число одновременно выдаваемых деталей)

$$Q_{МЗУ} = \frac{1}{T_{ц}}, \quad (3.2)$$

где  $T_{ц}$  – время цикла МЗУ.

Время цикла в общем случае содержит в себе ряд составляющих

$$T_{ц} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (3.3)$$

где  $T_1$  – время на заполнение питателя очередной заготовкой;  $T_2$  – время на перемещение питателя в позицию разгрузки;  $T_3$  – время на разгрузку питателя;  $T_4$  – время на возвращение питателя в исходное положение.

Составляющие времени  $T_2$ ,  $T_4$  определяются средней скоростью питателя (рекомендуется не более  $0,3 \dots 0,5$  м/с) и путем, проходимым питателем (определяется конструктивно). Составляющая  $T_3$  зависит от способа разгрузки питателя. Составляющую  $T_1$  для случая вертикального перемещения детали (рис. 3.6, а) определяют по формуле

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}, \text{ с}, \quad (3.4)$$

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}, \text{ с} \quad (3.4)$$

где  $H$  – высота перемещения (часто размер детали), м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $K$  – коэффициент запаса, учитывающий трение о стенки лотка,  $K = 1,5 \dots 2$ .

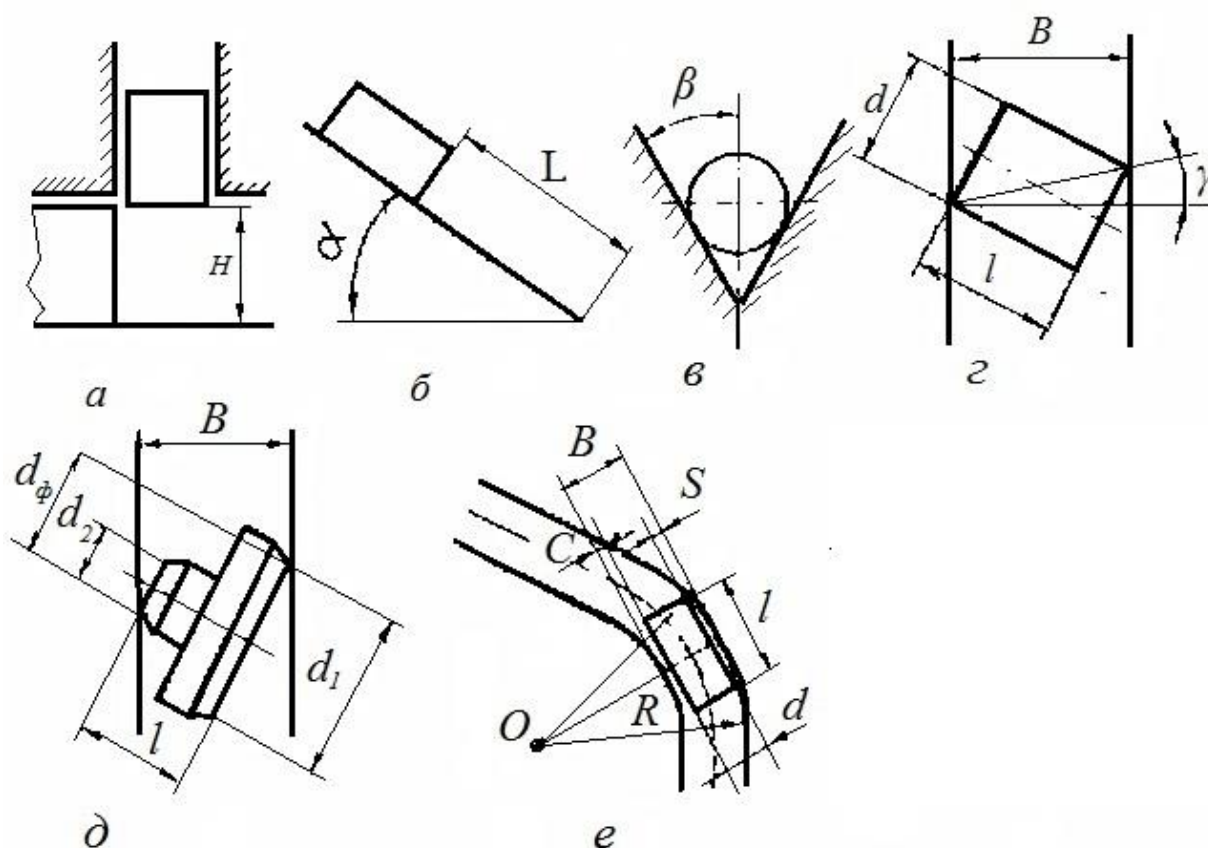


Рис. 3.6. Схемы для расчета МЗУ  
на производительность и отсутствие заклинивания

Для случая наклонного лотка (рис. 3.6, б) формула для расчета  $T_1$  меняется

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot L}{g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}}, \text{ с}, \quad (3.5)$$

где  $L$  – длина перемещения детали вдоль лотка, м;  $f$  – коэффициент трения,  $f = 0,1 \dots 0,2$  – для скольжения,  $f = 0,02 \dots 0,05$  – для качения;  $\alpha$  – угол наклона лотка, для скольжения  $\alpha \geq 25 \dots 35^\circ$ , для качения  $\alpha \geq 7 \dots 10^\circ$ .

В некоторых случаях значение  $f$  может меняться, например, для случая углового лотка (рис. 3.6, в) надо использовать значение  $f = f / \sin \beta$ .

### Расчет МЗУ на отсутствие заклинивание

При малой длине направляющей заготовка может заклиниваться в лотках. Необходима проверка на отсутствие заклинивания. Схема расчета ясна из рис. 3.6, г. Между деталью и стенками лотка существует зазор  $C = B - l$ . Деталь может повернуться и начнет касаться стенок двумя точками, через которые можно провести прямую. Эта прямая образует с прямой, перпендикулярной направлению движения, угол  $\gamma$ . Если угол  $\gamma$  становится меньше или равен углу трения  $\rho$ , то произойдет заклинивание. Тогда условие начала заклинивания:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \rho = f. \quad (3.6)$$

Отсюда условие отсутствия заклинивания:

$$l_{\max} + C_{\min} < B \sqrt{\frac{d^2 + l^2}{1 + f^2}}, \quad (3.7)$$

где  $f$  – коэффициент трения между стенкой и заготовкой,  $f = 0,1 \dots 0,4$ ;  $l_{\max}$  – максимальная длина детали;  $C_{\min}$  – минимальный зазор, равный 0,5...1 мм.

При изменении формы детали, может меняться смысл составляющих в формуле (3.8). Например, для детали (рис. 3.6, д)  $d = (d_1 + d_2)/2$ .

Длинные детали могут заклиниваться на поворотах лотка, поэтому на поворотах следует увеличивать ширину лотка. Расчетная схема представлена на рис. 3.6, е. Ширина лотка рассчитывается по формуле

$$B = R - \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}} + d + C. \quad (3.8)$$

Радиус закругления принимают  $R \geq 3 \cdot l$ .

### 3.3.3. Порядок выполнения работы

Пример выполнения работы приведен в п. 3.5.3. Общий порядок выполнения следующий:

1. Выберите конструкцию МЗУ и положение детали в нем.
2. По формуле (3.1) определите требуемую производительность МЗУ.
3. По формуле (3.3) с учетом формул (3.4) и (3.5) определите время цикла МЗУ  $T_{\text{ц}}$ .
4. По формуле (3.2) определите максимально возможную производительность МЗУ и сравните ее с требуемой производительностью. Определите требуемое количество МЗУ и необходимый состав элементов АЗУ.
5. По формуле (3.7) определите диапазон возможного изменения ширины лотка МЗУ и выберите целесообразную ширину лотка  $B$ .
6. При наличии закруглений лотка по формуле (3.8) определите минимально необходимую ширину лотка.
7. Оформите отчет по работе.

### 3.3.4. Содержание отчета

Содержание отчета по лабораторной работе № 3.2:

- название и цель работы;
- эскиз МЗУ;
- расчет МЗУ на производительность и необходимые расчетные схемы;
- расчет МЗУ на отсутствие заклинивания и необходимые расчетные схемы;
- расчет ширины лотка МЗУ при наличии закруглений и необходимые расчетные схемы (при необходимости).

### 3.3.5. Контрольные вопросы

1. Какие механизмы питания относятся к автоматическим, какие – к полуавтоматическим? Чем они отличаются?

2. Типовой состав МЗУ.
3. Как связаны между собой производительность загрузочного устройства и производительность обслуживаемого им станка-автомата?
4. Как рассчитывается производительность МЗУ?
5. Сформулируйте условие отсутствия заклинивания деталей в МЗУ.
6. Поясните правила построения угла  $\gamma$ .
7. Как рассчитывается ширина лотка для длинных деталей в местах его закругления?



### **3.4. Лабораторная работа № 3. Часть 3. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВБЗУ**

#### 3.4.1. Цель работы

Цель работы – практически ознакомить студентов с методикой расчета ВБЗУ.

#### 3.4.2. Основные теоретические положения

Конструкция, принцип действия, преимущества ВБЗУ рассмотрены в лекциях [1, п. 2.3.3.3]. Методика проектирования ВБЗУ [2, с. 229-241; 3, с. 221-225; 4, с. 426-430] включает в себя расчеты режима работы, конструктивных размеров чаши, основных параметров движения изделий, амплитуды колебаний лотка, колебательной системы, движущей силы вибратора.

**Расчет режима работы ВБЗУ** подразумевает определение средней производительности  $Q_{CP}$ , средней скорости движения изделия по лотку  $V_{CP}$ , коэффициента заполнения лотка  $k_3$ .

Средняя производительность ВБЗУ

$$Q_{CP} = Q_{АЗУ} / (1 - k_H), \quad (3.9)$$

где  $Q_{АЗУ}$  – требуемая производительность АЗУ, определяется по формуле (3.1);  $k_H$  – коэффициент, учитывающий нестабильность подачи изделий ВБЗУ (из-за изменения степени заполнения бункера, изменения напряжения сети, непостоянства коэффициента трения, загрязнения лотков),  $k_H = 0,2 \dots 0,3$ .

Средняя скорость движения изделия по лотку (мм/с)

$$v_{CP} = \frac{Q_{CP} \cdot l_H}{60 \cdot k_3}, \quad (3.10)$$

где  $l_H$  – длина изделия (размер в направлении движения), мм;  $k_3$  – коэффициент заполнения лотка изделиями в требуемом ориентированном положении, он зависит от типа ориентирующих устройств

(устройства пассивной ориентации разряжают поток, активные – не разряжают, т. е. не снижают производительности).

Коэффициент заполнения лотка изделиями определяется по формуле

$$k_3 = P(l_0) \cdot C_{\Pi}, \quad (3.11)$$

где  $P(l_0)$  – коэффициент вероятности правильно ориентированных изделий;  $C_{\Pi}$  – коэффициент плотности потока изделий.

Коэффициент плотности потока изделий рассчитывается как

$$C_{\Pi} = l_{\Pi} / (l_{\Pi} + S), \quad (3.12)$$

где  $S$  – среднее значение зазора между изделиями на лотке (при  $S = 0$ ,  $C_{\Pi} = 1$ ).

При пассивном ориентировании симметричных валиков и втулок по цилиндрической поверхности (при  $l_{\Pi} > d$ )

$$P(l_0) \approx 1 / \sqrt{1 + (d / l_{\Pi})^2}, \quad (3.13)$$

для несимметричных деталей

$$P(l_0) = 0,5 / \sqrt{1 + (d / l_{\Pi})^2}. \quad (3.14)$$

Для тонких симметричных пластин ( $b < l_{\Pi} \gg \delta$ ) и длинных цилиндрических деталей  $l_{\Pi} > 10d$ , коэффициент  $P(l_0) \approx 1$ .

При использовании в приводе ВБЗУ электромагнитного вибратора любую скорость, меньшую предельной, можно легко получить за счет изменения амплитуды колебания лотка.

**Расчет конструктивных размеров** чаши включает определение диаметра  $D$ , высоты  $H$ , шага лотка  $t$ , объема  $V_{\text{д}}$  загружаемой партии. Различают чаши цилиндрические и конические (рис. 3.7).

Для цилиндрической чаши наружный диаметр определяют по формуле

$$D = D_B + 2 \cdot \Delta, \quad (3.15)$$

где  $D_B$  – внутренний диаметр чаши, мм,  $D_B > (5 \dots 8) \cdot l_H$ ;  $\Delta$  – толщина стенки бункера, мм.

Толщину  $\Delta$  обечайки чаши выбирают в зависимости от технологии изготовления: для точеных чаш  $\Delta = (2 \div 3)$  мм; для сварных чаш  $\Delta = (1 \div 1,5)$  мм.

Внутренний диаметр чаши определяется из выражения

$$D_B = 3 \cdot \sqrt{\frac{V_D \cdot Q_{CP} \cdot T \cdot n \cdot z}{\pi \cdot H_P}}, \quad (3.16)$$

где  $V_D$  – наружный объем одного загружаемого изделия, мм<sup>3</sup>;  $T$  – период времени между заполнениями чаши, с;  $n$  – число заходов вибродорожек;  $z$  – число каналов на каждой вибродорожке;  $H_P$  – высота заполнения чаши изделиями, мм.

Для конической чаши наружный диаметр определяют по формуле

$$D = D_B \cdot \left[ \frac{H}{H_P} \cdot \left( \sqrt{\frac{24 \cdot V_D \cdot Q_{CP} \cdot T \cdot n \cdot z}{\pi \cdot D_B^2 \cdot H_P}} - 0,75 - 1,5 \right) + 1 \right] + 2 \cdot \Delta, \quad (3.17)$$

где  $D_B$  – внутренний диаметр конической чаши, мм,  $D_B = (5 \dots 8) \cdot l_H$ ;  $H$  – полная высота чаши, мм.

Полученное значение диаметра чаши  $D$  округляют до ближайшего большего стандартного значения из ряда 63, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630...1000 мм.

Высота заполнения чаши изделиями находится из выражения

$$H_P \approx 2,5 \cdot (t + \delta), \quad (3.18)$$

где  $t$  – шаг подъема спирального лотка, мм;  $\delta$  – толщина лотка, мм.

Полная высота чаши определяется как

$$H = H_P + (1,0 \div 1,5) \cdot t. \quad (3.19)$$

Остальные параметры конической чаши рассчитываются так же, как и для цилиндрической чаши.

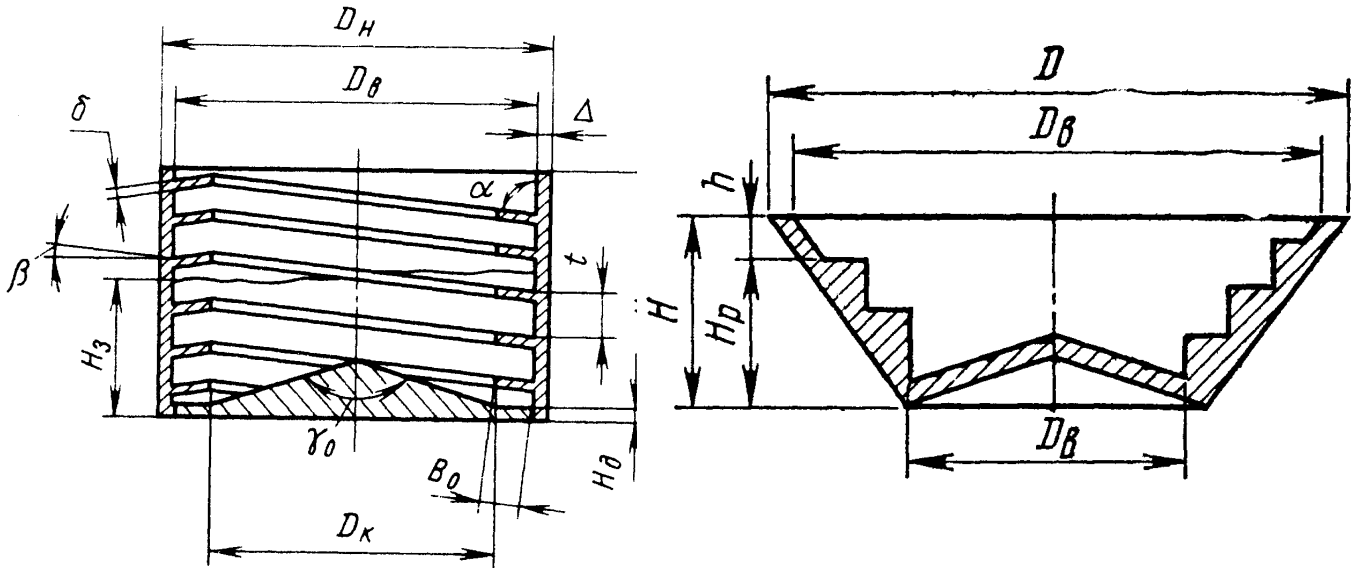


Рис. 3.7. Цилиндрические и конические чаши ВБЗУ

Шаг  $t$  спирали вибродорожки определяют из условия

$$t = k \cdot d + \delta, \quad (3.20)$$

где  $t$  – шаг подъема спирального лотка, мм;  $d$  – диаметр изделия, лежащего на лотке (для тел вращения); для призматических  $d = h$ , где  $h$  – высота изделия; для плоских  $d = b$ , где  $b$  – ширина изделия, мм;  $\delta$  – толщина лотка, определяется технологией изготовления в пределах  $\delta = (1 \div 3)$  мм.

При  $l_H/d = 1 \dots 1,5$  коэффициент  $k$  рассчитывается по формуле

$$k = \frac{\sqrt{l_H^2 / d^2 + 1}}{\sqrt{f^2 + 1}}. \quad (3.21)$$

При  $l_H/d > 1,5$  коэффициент принимается равным  $k = 1,5$ .

Если чаша многозаходная, то шаг спирали при  $n$  заходах

$$t = (k \cdot d + \delta) \cdot n \quad (3.22)$$

Шаг нарезки округляют до ближайшего большего числа из ряда: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 32, 36, 38 мм.

Угол подъема спирали лотка  $\beta$

$$\beta = \arctg(t/(\pi \cdot D_B)) \quad (3.23)$$

Диапазон изменения угла  $\beta = 0,2 \div 5^\circ$ , но при увеличении угла подъема лотка до  $2^\circ$  скорость перемещения заготовок снижается примерно на 10–15 %. Угол наклона  $a$  вибродорожки к обечайке чаши выбирают, исходя из способа ориентирования изделия и конфигурации его. Для того, чтобы заготовки перемещались в один слой, лоток выполнен с углом  $\alpha = 94^\circ$ .

В случае многозаходной чаши внутренний диаметр ее должен удовлетворять выражению

$$D_B \geq \frac{t_n}{\pi \cdot \tg \beta}, \quad (3.24)$$

где  $t_n$  – шаг многозаходной спирали, мм;  $\beta$  – угол подъема спирали лотка.

Ширина вибродорожки

$$B = b + a - 0,5 \cdot \sqrt{D_B^2 - l_H^2} + D_B/2, \quad (3.25)$$

где  $a$  – зазор между изделием и направляющим буртиком,  $a = (0,5 \div 2,0)$  мм, при отсутствии буртика  $a = 0$ ;  $b$  – ширина детали, мм.

Ширина лотка с буртиком

$$B_O = B + 3. \quad (3.26)$$

В зависимости от типоразмера чаши толщину дна принимают

$$H_D \approx 2 \dots 3 \text{ мм.} \quad (3.27)$$

Угол конуса чаши выбирают в диапазоне  $\gamma_O = 150 \div 170^\circ$ .

Диаметр конуса

$$D_K = D_B - 2 \cdot B_O. \quad (3.28)$$

Максимальное число каналов вибродорожки

$$z_{max} = \frac{0,25 \cdot D_B}{b + c}, \quad (3.29)$$

где  $c$  – ширина перемычки между каналами,  $c = 0,5 \div 1,5$  мм.

Максимальное число вибродорожек  $n_{max}$  (заходов) в чаше определяется по формуле с дальнейшим округлением до целого числа в меньшую сторону

$$n_{max} = \frac{\pi \cdot D_B \cdot \operatorname{tg} \beta}{l_{II} \cdot \operatorname{tg} \beta + h}, \quad (3.30)$$

где  $h$  – высота изделия, мм.

**Расчет параметров движения изделия и колебательной системы** включает определение частоты вынужденных колебаний лотка; амплитуды; приведенной массы; жесткости пружинных стержней; размеров пружинных стержней (длины  $l$ , диаметра  $d$  или сечения  $bh$ ).

Определяем требуемый угол наклона подвесок  $\alpha$ , исходя из обеспечения необходимой скорости перемещения заготовок по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{206}{f_L \cdot V_{TP}}, \quad (3.31)$$

где  $V_{TP}$  – требуемая скорость перемещения заготовок, м/мин;  $f_L$  – частота колебаний лотка, 1/с.

Угол наклона подвесок  $\alpha$  должен находиться в пределах  $5\text{--}45^\circ$ .

Определяем амплитуду колебания лотка  $X_H$  (см), при которой обеспечивается скорость  $V_{TP}$ , по формуле

$$X_H = \frac{3,32 \cdot g}{\omega^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.32)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \cdot 10^2$  см/с<sup>2</sup>;  $\omega$  – круговая частота колебаний лотка, 1/с.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_L. \quad (3.33)$$

Конструктивно подвески можно выполнять круглыми или плоскими (набранными из пластин). При использовании плоских пружин необходимо определить их длину, ширину и толщину; при круглых – длину и диаметр.

Параметры пружин определяем из условия, что подвеска представляет собой балку, закрепленную жестко с двух сторон. В качестве расчетной схемы пружин используется схема, приведенная на рис. 3.8.

При плоских пружинах длину  $l$  и ширину  $b$  задают конструктивно, а толщину  $a$  (см), можно определить по формуле

$$a = \frac{l}{372} \cdot \sqrt[3]{\frac{G \cdot \varphi^2}{n \cdot i \cdot b}}, \quad (3.34)$$

где  $a$  – толщина пружин подвески, см;  $l$  – длина пружины, см;  $b$  – ширина пружины, см;  $n$  – число подвесок;  $i$  – число пружин в подвеске;  $G$  – вес колеблющихся частей и загруженных в бункер заготовок, кг;  $\varphi$  – собственная частота колебаний системы, 1/с:

$$\varphi = 1,1 \cdot f_L. \quad (3.35)$$

При круглых подвесках длину  $l$  (см) задают конструктивно, а диаметр (см) можно определить по формуле

$$d = 0,0135 \cdot \sqrt[4]{\frac{G \cdot l^3 \cdot \varphi^2}{n}}. \quad (3.36)$$

Напряжение изгиба ( $\text{кгс/см}^2$ ) при максимальном прогибе для плоских пружин определяем по формуле

$$\sigma_{ИЗ} = \frac{1,5 \cdot E \cdot a \cdot \delta}{l^2}, \quad (3.37)$$

где  $E$  – модуль упругости,  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$ ;  $\delta$  – размах колебаний лотка, см.

Для круглых подвесок

$$\sigma_{ИЗ} = \frac{1,5 \cdot E \cdot d \cdot \delta}{l^2}. \quad (3.38)$$

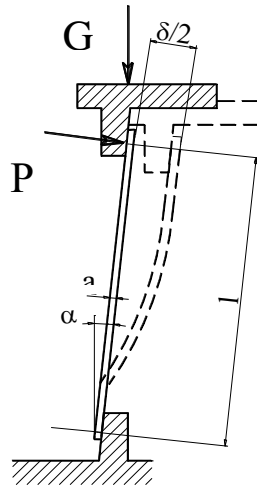


Рис. 3.8. Расчетная схема пружин

Размах колебаний лотка (см) определяется графически при амплитуде колебания  $X_H$  по формуле

$$\delta = \frac{2X_H}{\cos \alpha}. \quad (3.39)$$

Если в приводе вибрационного загрузочного устройства со спиральным лотком у каждой подвески установлен один электромагнит перпендикулярно ее плоскости, то его усилие ( $\text{кгс}$ ) можно определить по следующим формулам:

при плоских подвесках



$$P = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot a^3 \cdot i}{2 \cdot l^3 \cdot \mu}, \quad (3.40)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент,  $\mu = \frac{1}{1 - (f_{\text{Л}} / \varphi)^2}$ ;

при круглых подвесках

$$P = \frac{0,3 \cdot \delta \cdot E \cdot d^4}{\mu \cdot l^3}. \quad (3.41)$$

Если в приводе вибрационного грузочного устройства со спиральным лотком имеется один электромагнит, установленный в центре, его усилие  $P_0$  (кгс) при плоских подвесках определяем по формуле

$$P_0 = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot a^3 \cdot i \cdot n}{2 \cdot l^3 \cdot \mu \cdot \sin \alpha}, \quad (3.42)$$

при круглых подвесках

$$P_0 = \frac{0,3 \cdot \delta \cdot E \cdot d^4 \cdot n}{\mu \cdot l^3 \cdot \sin \alpha}. \quad (3.43)$$

Для прямолинейных вибрационных лотков общее требуемое усилие электромагнита (кгс) при условии, что он установлен перпендикулярно плоскости пружин, определяется по формуле

$$P_{\text{общ}} = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot d^3 \cdot i \cdot n}{2 \cdot l^3 \cdot \mu}. \quad (3.44)$$

Зная необходимое тяговое усилие электромагнита, можно определить его параметры и выбрать имеющийся электромагнит (расчет электромагнита не входит в задание).

### 3.4.3. Порядок выполнения работы

Пример выполнения работы приведен в п. 3.5.4. Общий порядок выполнения работы следующий:

1. С учетом выбранного метода ориентирования или формул 3.11–3.14 по формуле (3.10) определите среднюю скорость движения по лотку ВБЗУ.
2. Рассчитайте основные конструктивные размеры чаши ВБЗУ.
3. Рассчитайте параметры движения детали и колебательной системы ВБЗУ.

### 3.4.4. Содержание отчета

Содержание отчета по лабораторной работе № 3.3:

- название и цель работы;
- расчет средней скорости движения детали;
- расчет конструктивных размеров чаши ВБЗУ и ее эскиз;
- расчет параметров движения детали и колебательной системы ВБЗУ с необходимыми расчетными схемами.

### 3.4.5. Контрольные вопросы

1. Основные преимущества ВБЗУ по сравнению с другими типами бункеров?
2. Поясните конструкцию ВБЗУ.
3. Поясните схему действия сил при движении детали в ВБЗУ.
4. Дайте характеристику режимам работы ВБЗУ: без отрыва детали, с отрывом детали.
5. Чем определяется производительность ВБЗУ? Как ее можно плавно регулировать?
6. От чего зависит средняя требуемая скорость движения детали по лотку ВБЗУ?
7. Какие факторы определяют расчет внутреннего диаметра чаши ВБЗУ?
8. На какой эксплуатационный параметр ВБЗУ более всего влияет изменение угла наклона подвески чаши?
9. Какие параметры колебательной системы определяются при ее расчете?

### 3.5. Пример проектирования и расчета АЗУ

#### 3.5.1. Исходные данные

Вариант задания – 4. Эскиз детали приведен на рис. 3.9.

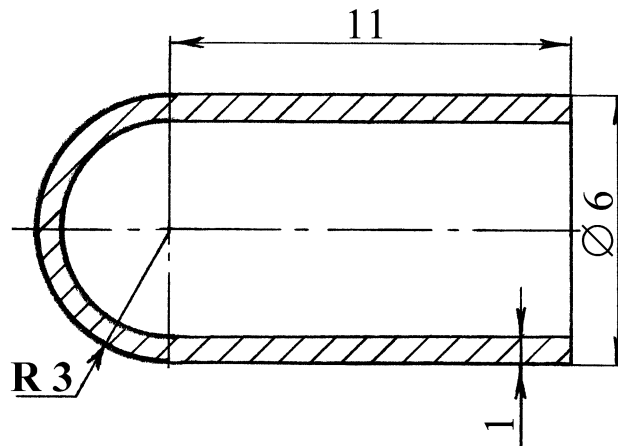


Рис. 3.9. Эскиз ориентируемой детали

Производительность станка – автомата

$Q_a = 90$  шт./мин

Материал детали

сталь

Частота колебаний лотка

$f_L = 50$  Гц

Периодичность загрузки бункера

$T = 20$  мин

#### 3.5.2. Обеспечение автоматической ориентации детали

Сначала проведем оценку подготовленности детали к автоматической загрузке.

Ст. 1	Асимметрия наружной конфигурации	2000000
Ст. 2	Сопрягаемые механически	600000
Ст. 3	Стержневая неферромагнитная	20000
Ст. 4	Круглая прямая	2000
Ст. 5	Одна ось вращения	200
Ст. 6	Центральное отверстие глухое, гладкая	50
Ст. 7	Дополнительные признаки отсутствуют	0
Сумма баллов		19
Категория сложности		вторая

Автоматизация средней сложности. Изменение конструкции детали не требуется.

**Обеспечение автоматической ориентации детали.** Специальных устройств для систематизации потока деталей не требуется,

так как предполагаемые конструкции ориентаторов одновременно будут выполнять и эту функцию. Для обеспечения ориентации детали в пространстве определим все возможные различные устойчивые положения детали на лотке и выберем одно – требуемое. Возможные устойчивые различные положения детали на лотке приведены на рис. 3.10.

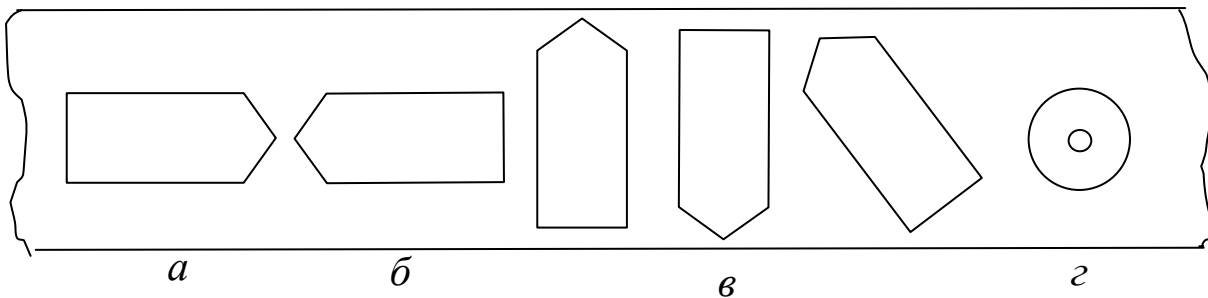


Рис. 3.10. Возможные различные устойчивые положения детали на лотке (вид сверху): *а* – доньшком вперед, *б* – доньшком назад, *в* – ось детали образует с направлением лотка угол не равный  $0^\circ$ , *г* – стоя на торце (ось детали вертикальна)

Выбираем следующую схему ориентации: В ВБЗУ обеспечиваются два устойчивых положения – *а* и *б*. Во вторичном ориентирующем устройстве для всего потока обеспечивается положение *а*.

Для устранения положений *в* ширину лотка (с учетом буртика) предусматриваем 8 мм. Для перевода детали из положения *г* в *а* или *б* предусматривается уступ (рис. 3.11). Для обеспечения устойчивого положения детали *а* или *б* лотку придается полукруглая форма (рис. 3.12).

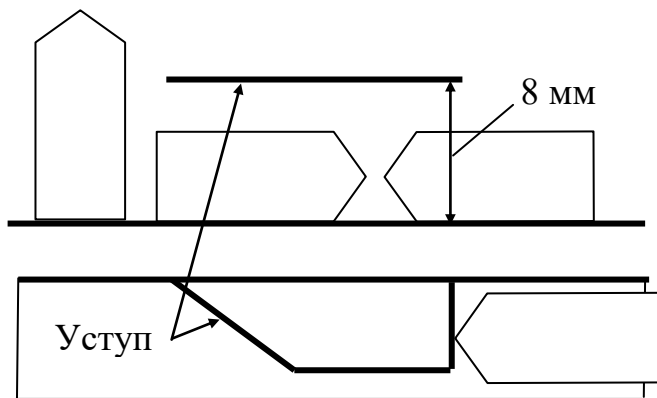


Рис. 3.11. Форма ориентирующего уступа

Окончательно деталь ориентируется во вторичном устройстве, схема которого приведена на рис. 3.13. Устройство работает следующим образом. Детали подаются по трубе 4. Колпачки, идущие доньшком назад, удерживаются рычагом 2 (поджатому пружиной 1) до тех пор, пока не переворачиваются в правильное положение. Правильно идущие де-

Рис. 3.12. Форма лотка для обеспечения устойчивого положения детали *а* или *б*.

тали, отжимая рычаг вокруг оси 3, сразу проходят в отводящий канал 5.

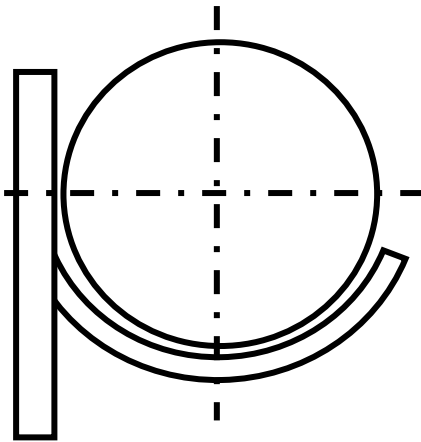


Рис. 3.12. Поперечное сечение ориентирующего лотка ВБЗУ

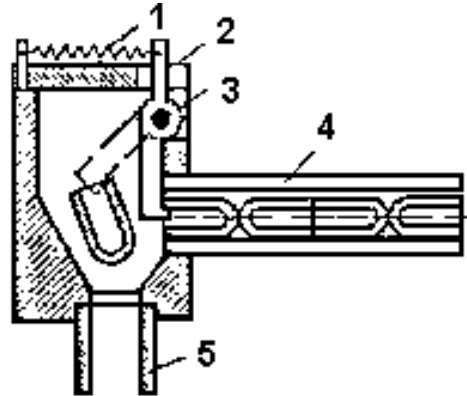


Рис. 3.13. Схема вторичного ориентирующего устройства: 1 – пружина; 2 – рычаг; 3 – ось; 4 – подводящий лоток; 5 – отводящий лоток

Таким образом, всем деталям потока будет автоматически предано положение *a* (рис. 3.10). Ориентация в пространстве достигнута.

### 3.5.3. Расчет МЗУ и определение общего состава АЗУ

МЗУ рассчитывается на производительность и на надежность (отсутствие заклинивания).

#### Расчет на производительность.

Требуемая производительность МЗУ определяется требуемой производительностью АЗУ (формула 3.1):

$$Q_{\text{МЗУ}} = Q_{\text{АЗУ}} = K_{\text{П}} \cdot Q_{\text{а}} = 1,2 \cdot 90 = 108 \text{ шт./мин}, \quad (3.45)$$

где  $Q_{\text{АЗУ}}$  – требуемая производительность АЗУ;  $K_{\text{П}}$  – коэффициент переполнения, примем  $K_{\text{П}} = 1,2$ ;  $Q_{\text{а}}$  – производительность станка-автомата,  $Q_{\text{а}} = 90$  шт./ч.

Определим фактическую производительность МЗУ. Расчетная схема приведена на рис. 3.14. Производительность МЗУ зависит от времени цикла, то есть времени между выдачей двух деталей:

$$Q_{\text{МЗУ}}^{\text{ф}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}}, \quad (3.46)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – время цикла МЗУ.

Время цикла в нашем случае содержит в себе ряд составляющих

$$T_{\text{ц}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (3.47)$$

где  $T_1$  – время на заполнение питателя очередной заготовкой;  $T_2$  – время на перемещение питателя в позицию разгрузки;  $T_3$  – время на разгрузку питателя;  $T_4$  – время на возвращение питателя в исходное положение.

Составляющие времени  $T_2, T_4$  определяются средней скоростью питателя (рекомендуется не более 0,3...0,5 м/с) и путем, пройденным питателем (примем конструктивно  $L = 150$  мм).

$$T_2 = T_4 = L / 0,4 = 0,15 / 0,4 = 0,375 \text{ с.}$$

Составляющая  $T_3$  зависит от способа разгрузки питателя, примем  $T_3 = T_1$ . Составляющую  $T_1$  для случая вертикального перемещения детали определяют по формуле

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} = 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,014}{9,81}} = 0,08 \text{ с}, \quad (3.48)$$

где  $H$  – высота перемещения детали,  $H = 0,014$  м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $K$  – коэффициент запаса, учитывающий трение о стенки лотка,  $K = 1,5...2$ .

Тогда

$$Q_{\text{МЗУ}}^{\text{ф}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{1 \cdot 60}{0,08 + 0,375 + 0,8 + 0,375} = 65,9 \text{ шт./мин.}$$

Фактическая производительность МЗУ получилась почти в два раза меньше требуемой (108 шт./мин). Принимаем в общем составе АЗУ два МЗУ и соответственно разделение общего потока деталей на два независимых потока.

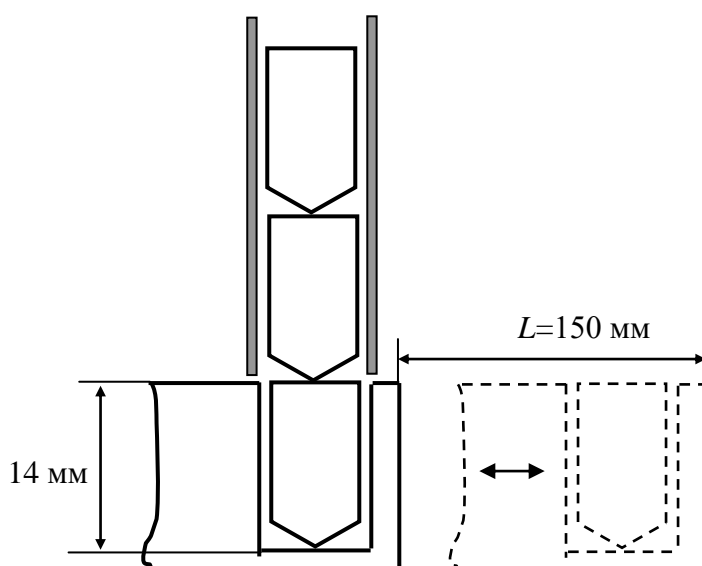


Рис. 3.14. Схема к расчету фактической производительности МЗУ

Расчет на отсутствие заклинивания.

Вероятность заклинивания детали заданной формы при ее вертикальном положении в МЗУ достаточно мала. Однако проведем расчет для определения размеров внутреннего сечения трубы МЗУ. Расчетная схема приведена на рис. 3.15.

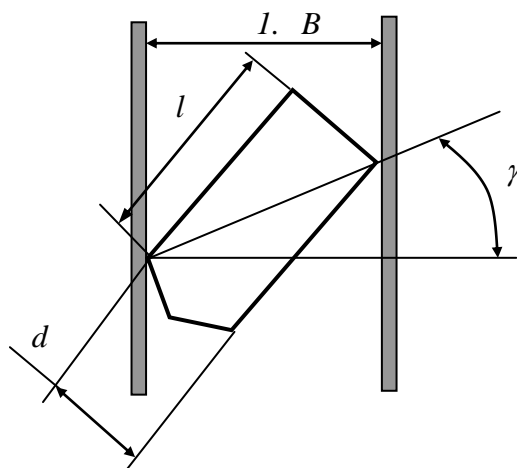


Рис. 3.15. Расчетная схема для определения ширины лотка

Чтобы заклинивания детали не происходило ширина (в нашем случае диаметр трубы) лотка  $B$  должна находиться в следующем интервале:

$$d_{\max} + C_{\min} \langle B \rangle \frac{\sqrt{d^2 + l^2}}{\sqrt{1 + f^2}}, \quad (3.49)$$

где  $f$  – коэффициент трения между стенкой и заготовкой, для трения сталь-сталь примем  $f = 0,3$  (приложение, табл. ПЗ);  $d_{\max}$  – максимальный диаметр детали;  $C_{\min}$  – минимальный зазор, равный 0,5...1 мм.

Тогда

$$6 + 1 \leq B \leq \frac{\sqrt{6^2 + 11^2}}{\sqrt{1 + 0,3^2}}.$$

7 мм <  $B$  < 11,99 мм. Примем  $B = 7,5$  мм.

Таким образом, в состав АЗУ будут входить ВБЗУ, вторичное ориентирующее устройство, делитель потока, два МЗУ.

#### 3.5.4. Расчет ВБЗУ

##### Расчет режима работы ВБЗУ.

Включает определение средней производительности  $Q_{CP}$ , средней скорости движения изделия по лотку  $V_{CP}$ , коэффициента заполнения лотка  $k_3$ .

Средняя производительность ВБЗУ

$Q_{CP} = Q_{АЗУ} / (1 - k_H) = 108 / (1 - 0,25) = 120 \text{ шт./мин},$	(3.50)
--	--------

где  $Q_{АЗУ}$  – цикловая производительность АЗУ,  $Q_{АЗУ} = 108$  шт./мин;  $k_H$  – коэффициент, учитывающий нестабильность подачи изделий ВБЗУ (из-за изменения степени заполнения бункера, изменения напряжения сети, непостоянства коэффициента трения, загрязнения лотков),  $k_H = 0,2...0,3$ , принимаем  $k_H = 0,25$ .

Средняя скорость движения изделия по лотку (мм/с)

$$v_{CP} = \frac{Q_{CP} \cdot l_{И}}{60 \cdot k_3} = \frac{120 \cdot 14}{60 \cdot 0,919} = 30,468 \text{ мм/с} = 1,83 \text{ м/мин}, \quad (3.51)$$

где  $l_{И}$  – длина изделия (размер в направлении движения),  $l_{И} = 14$  мм;  $k_3$  – коэффициент заполнения лотка изделиями в требуе-



мом ориентированном положении, он зависит от типа ориентирующих устройств.

Коэффициент заполнения лотка изделиями определяется по формуле

$$k_3 = P(l_0) \cdot C_{\Pi} = 0,919 \cdot 1 = 0,919, \quad (3.52)$$

где  $P(l_0)$  – коэффициент вероятности правильно ориентированных изделий;  $C_{\Pi}$  – коэффициент плотности потока изделий.

Коэффициент плотности потока изделий рассчитывается как

$$C_{\Pi} = l_{II} / (l_{II} + S) = 14 / (14 + 0) = 1, \quad (3.53)$$

где  $S$  – среднее значение зазора между изделиями на лотке, примем  $S = 0$ .

При пассивном ориентировании симметричных валиков и втулок по цилиндрической поверхности (при  $l_{II} > d$ )

$$P(l_0) \approx 1 / \sqrt{1 + (d / l_{II})^2} = 1 / \sqrt{1 + (6 / 14)^2} = 0,919, \quad (3.54)$$

#### Расчет конструктивных размеров чаши.

Включает определение диаметра  $D$ , высоты  $H$ , шага лотка  $t$ , объема  $V_{\text{д}}$  загружаемой партии. Примем цилиндрическую форму чаши (рис. 3.16).

Для цилиндрической чаши наружный диаметр определяют по формуле

$$D = D_{\text{в}} + 2 \cdot \Delta, \quad (3.55)$$

где  $D_{\text{в}}$  – внутренний диаметр чаши, мм;  $\Delta$  – толщина стенки бункера, примем точеную чашу и  $\Delta = 2$  мм.

Внутренний диаметр чаши определяется из выражения

$$D_{\text{в}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{д}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot T \cdot n \cdot z}{\pi \cdot H_p}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{396 \cdot 120 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1}{3,14 \cdot 32,5}} \approx 290 \text{ мм}, \quad (3.56)$$

где  $V_{\text{д}}$  – наружный объем загружаемого изделия,  $\text{мм}^3$ ,  $V_{\text{д}} = 396 \text{ мм}^3$ ;  $T$  – период времени между заполнениями чаши, мин,  $T = 20$  мин;  $n$  – число заходов вибродорожек,  $n = 1$ ;  $z$  – число каналов на каждой вибродорожке,  $z = 1$ ;  $H_{\text{р}}$  – высота заполнения чаши изделиями, мм.

Высота заполнения чаши изделиями находится из выражения

$$H_{\text{р}} \approx 2,5 \cdot (t + \delta) = 2,5 \cdot (11 + 2) = 32,5 \text{ мм}, \quad (3.57)$$

где  $t$  – шаг подъема спирального лотка, мм;  $\delta$  – толщина лотка, мм, примем  $\delta = 2$  мм.

Шаг  $t$  спирали вибродорожки определяют из условия

$$t = k \cdot d + \delta = 1,5 \cdot 6 + 2 = 11 \text{ мм}, \quad (3.58)$$

где  $d$  – диаметр изделия, лежащего на лотке,  $d = 6$  мм; при  $l_{\text{н}}/d > 1,5$  коэффициент принимается равным  $k = 1,5$ .

Тогда наружный диаметр чаши

$$D = D_{\text{в}} + 2 \cdot \Delta = 290 + 2 \cdot 2 = 294 \text{ мм}.$$

Округляем до ближайшего стандартного диаметра в большую сторону  $D = 320$  мм.

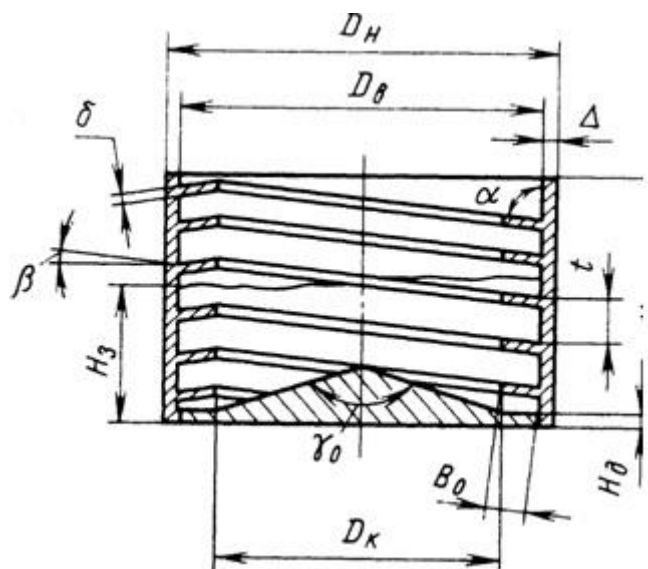


Рис. 3.16. Конструкция цилиндрической чаши ВБЗУ

Полная высота чаши определяется как

$$H = H_{\text{р}} + (1,0 \div 1,5) \cdot t = 32,5 + 1,5 \cdot 11 = 49 \text{ мм}. \quad (3.59)$$

Угол подъема спирали лотка

$$\beta = \arctg(t/(\pi \cdot D_B)) = \arctg(11/(3,14 \cdot 290)) = 0,692^\circ \quad (3.60)$$

Ширина вибродорожки

$$\begin{aligned} B &= b + a - 0,5 \cdot \sqrt{D_B^2 - l_B^2} + D_B/2 = \\ &= 6 + 1 - 0,5 \cdot \sqrt{290^2 - 14^2} + 290/2 = 7,17 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.61)$$

где  $a$  – зазор между изделием и направляющим буртиком, примем  $a = 1$  мм;  $b$  – ширина детали,  $b = 6$  мм.

Ширина лотка с буртиком

$$B_O = B + 3 = 7,17 + 3 = 10,7 \text{ мм} \quad (3.62)$$

Принимаем толщину дна чаши  $H_d \approx 2$  мм.

Угол конуса чаши выбираем в диапазоне  $\gamma_o = 150^\circ$ .

Расчет параметров движения изделия и колебательной системы. Включает определение частоты вынужденных колебаний лотка; амплитуды; приведенной массы; жесткости пружинных стержней; размеров пружинных стержней (длины  $l$ , диаметра  $d$  или сечения  $b \times h$ ).

Определяем требуемый угол наклона подвесок  $\alpha$ , исходя из обеспечения необходимой скорости перемещения заготовок по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{206}{f_L \cdot V_{CP}} = \frac{206}{50 \cdot 1,83} = 2,25; \quad \alpha = \arctg 2,25 = 66^\circ,$$

где  $V_{CP}$  – средняя скорость перемещения заготовок,  $V_{CP} = 1,83$  м/мин;  $f_L$  – частота колебаний лотка,  $f_L = 50^1$  /с.

Определяем амплитуду колебания лотка  $X_H$  (см), при которой обеспечивается скорость  $V_{TP}$ , по формуле

$$X_H = \frac{3,32 \cdot g}{\omega^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{3,32 \cdot 981}{314^2 \cdot 2,25} = 0,0147 \text{ см}, \quad (3.63)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \cdot 10^2 \text{ см/с}^2$ ;  $\omega$  – круговая частота колебаний лотка,  $1/\text{с}$ :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{Л}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314. \quad (3.64)$$

Конструктивно подвески можно выполнять круглыми или плоскими (набранными из пластин). Выбираем плоские пружины. Необходимо определить их длину, ширину и толщину.

Параметры пружин определяем из условия, что подвеска представляет собой балку, закрепленную жестко с двух сторон. Расчетная схема пружин показана на рис. 3.8.

При плоских пружинах длину  $l$  и ширину  $b$  задают конструктивно, а толщину (см), можно определить по формуле

$$a = \frac{l}{372} \cdot \sqrt[3]{\frac{G \cdot \varphi^2}{n \cdot i \cdot b}} = \frac{15}{372} \cdot \sqrt[3]{\frac{15 \cdot 55^2}{4 \cdot 3 \cdot 2}} = 0,498 \text{ см}, \quad (3.65)$$

где  $a$  – толщина пружин подвески, см;  $l$  – длина пружины, принимаем  $l = 15 \text{ см}$ ;  $b$  – ширина пружины, принимаем  $b = 2 \text{ см}$ ;  $n$  – число подвесок, принимаем  $n = 4$ ;  $i$  – число пружин в подвеске, принимаем  $i = 3$ ;  $G$  – вес колеблющихся частей и загруженных в бункер заготовок, ориентировочно принимаем  $G = 15 \text{ кг}$ ;  $\varphi$  – собственная частота колебаний системы,  $1/\text{с}$ :

$$\varphi = 1,1 \cdot f_{\text{Л}} = 1,1 \cdot 50 = 55. \quad (3.66)$$

Напряжение изгиба ( $\text{кгс/см}^2$ ) при максимальном прогибе для плоских пружин определяем по формуле

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{1,5 \cdot E \cdot a \cdot \delta}{l^2} = \frac{1,5 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,498 \cdot 0,0719}{15^2} = 551,5 \text{ кг/см}^2, \quad (3.67)$$

где  $E$  – модуль упругости,  $E = 2,1 \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup>;  $\delta$  – размах колебаний лотка, см.

Размах колебаний лотка  $\delta$  (см) определяется графически при амплитуде колебания  $X_H$  по формуле

$$\delta = \frac{2 \cdot X_H}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 0,0147}{\cos 66^\circ} = 0,0719 \text{ см.} \quad (3.68)$$

Если в приводе вибрационного загрузочного устройства со спиральным лотком у каждой подвески установлен один электромагнит перпендикулярно ее плоскости, то его усилие (в кгс) можно при плоских подвесках определить по следующей формуле:

$$P = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot a^3 \cdot i}{2 \cdot l^3 \cdot \mu} = \frac{0,0719 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,498^3 \cdot 3}{2 \cdot 15^3 \cdot 5,7} = 2,91 \text{ кгс,} \quad (3.69)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент,

$$\mu = \frac{1}{1 - (f_L / \varphi)^2} = \frac{1}{1 - (50/55)^2} = 5,7.$$

На основании вышеприведенных расчетов и обобщенной схемы АЗУ принимаем следующий схемный вариант проектируемого автоматического загрузочного устройства. В ВБЗУ осуществляется предварительная пространственная ориентация деталей выдача их с производительностью  $Q = 120$  шт./мин. В ВОУ осуществляется окончательная пространственная ориентация деталей. Затем поток деталей разделяется делителем потока на два потока, каждый из которых направляется в МЗУ-дублиеры. Эти МЗУ расположены с противоположных сторон относительно станка-автомата и обеспечивают его правильно ориентированными деталями с заданной производительностью. Схема управления следит с помощью датчиков переполнения (Д1 – Д4) за загрузкой МЗУ и направляющих лотков и, при необходимости, временно отключает ВБЗУ. Общая схема АЗУ представлена на рис. 3.17.

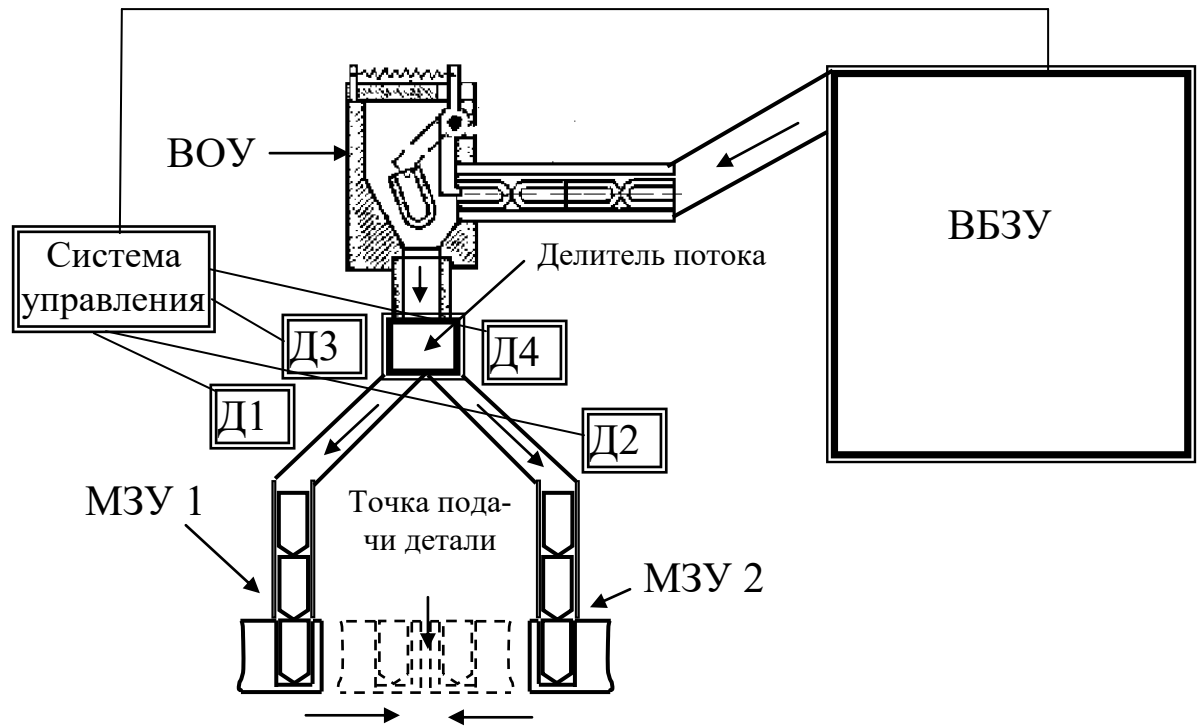


Рис. 3.17. Общая схема АЗУ

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трусов, А. Н. Автоматизация технологических процессов и производств: Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / А. Н. Трусов; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 186 с.
2. Волчкевич, Л. И. Автоматизация производственных процессов: учебное пособие / Л. И. Волчкевич. – 2-е изд., стер. – Москва : Машиностроение, 2007. – 380 с. – ISBN 978-5-217-03387-4. – URL: <https://e.lanbook.com/book/726> (дата обращения: 07.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

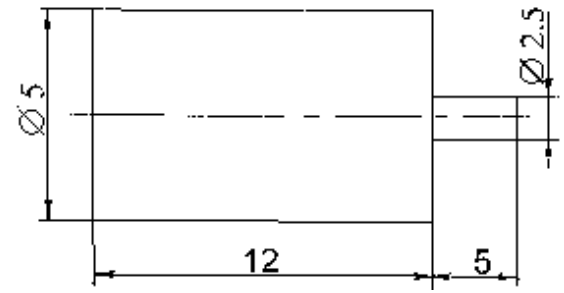
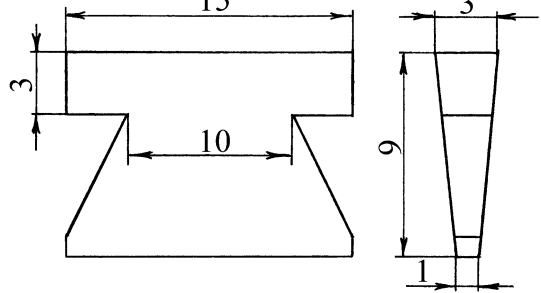
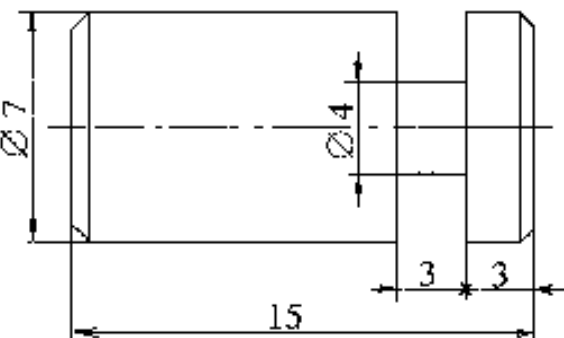
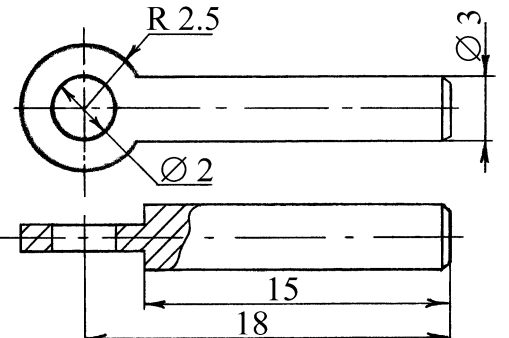
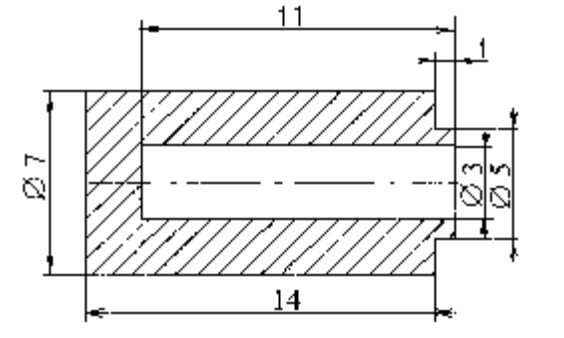
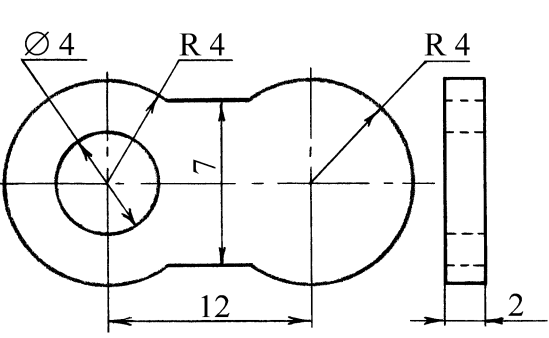
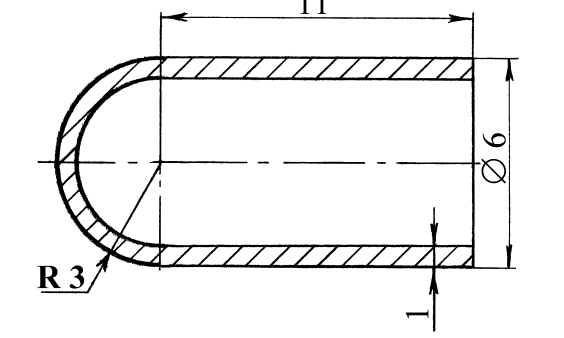
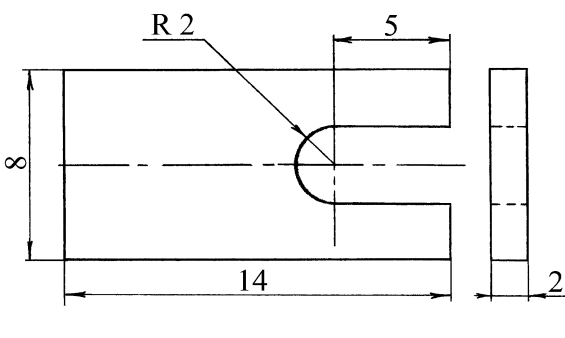
Таблица ПЗ.1

Исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ варианта	№ чертежа детали из табл. П2	Производительность станка-автомата $Q_a$ , шт./мин	Материал детали	Периодичность наполнения бункера $T$ не менее, мин	Частота колебаний лотка $f_L$ , $s^{-1}$
1	1	150	сталь	10	50
2	2	100	сталь	10	50
3	3	125	латунь	15	100
4	4	90	латунь	20	100
5	5	90	сталь	20	50
6	6	200	алюминий	20	100
7	7	120	медь	15	50
8	8	100	алюминий	20	100
9	9	125	текстолит	10	100
10	10	130	медь	20	100
11	11	100	медь	15	50
12	12	95	текстолит	15	100
13	13	120	текстолит	25	50
14	14	95	латунь	18	100
15	15	75	латунь	30	50
16	16	200	алюминий	25	100
17	17	150	сталь	10	100
18	18	130	сталь	15	100
19	19	75	сталь	20	50
20	20	80	оргстекло	15	50
21	21	55	алюминий	10	50
22	22	50	сталь	20	100
23	23	150	алюминий	10	50
24	24	175	сталь	10	100
25	25	100	латунь	15	50
26	26	120	текстолит	20	100
27	27	90	сталь	15	100
28	28	130	латунь	10	50
29	29	100	сталь	15	100
30	30	100	сталь	20	50



Чертежи деталей к вариантам

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
5		10	
11		16	
12		17	
13		18	

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
14		19	
15		20	
21		26	
22		27	

Продолжение табл. ПЗ.2

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
23		28	
24		29	
25		30	

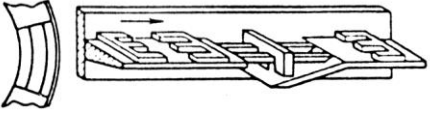
Таблица ПЗ.3

Значения коэффициента трения  $f$ 

Материал	Материал лотка			
	сталь	алюминий	резина	капролон
Сталь	0,21...0,32	0,11...0,33	0,25...0,43	0,12...0,3
Латунь	0,28...0,3	0,18...0,24	0,3...0,37	0,16...0,24
Алюминий	0,28...0,33	0,14...0,3	0,3...0,38	0,14...0,28
Медь	0,28	0,22	0,3...0,4	0,18...0,25
Керамика	0,22...0,46	—	0,42...0,52	0,38...0,44

Таблица ПЗ.4

## Схемы ориентирования деталей на вибродорожке

Схемы ориентирования	Способ ориентирования	Ключ ориентирования	Принцип работы ориентатора
	МГр	$\Theta_{\text{ЦМ}}$	Тяжелый край детали проваливается сразу, легкий – после того, как ляжет на упор
	МГр	$\Theta_{\text{НК}}$	Пластина падает на направляющие, разворачивается и ориентируется
	ЭмМд	$\Theta_{\text{ФО}}$	Разворот детали происходит вдоль силовых линий электромагнитного поля
	МхГр	$\Theta_{\text{ЦМ}}$	Деталь соскальзывает с наклонной дорожки при движении дном вниз
	ММх	$\Theta_{\text{ВК}}$	Сброс детали вследствие трафарета в дне дорожки
	ММх	$\Theta_{\text{НК}}$	Паз в дне дорожки выводит деталь, движущуюся фланцем вниз
	МГр	$\Theta_{\text{НК}}$	Деталь выпадает из дорожки под действием силы тяжести
	МИ	$\Theta_{\text{НК}}$	Сброс детали по высоте от упора
	МИ	$\Theta_{\text{ВК}}$	Сброс детали упором по высоте
	МГр	$\Theta_{\text{ВК}}$	Сброс детали с помощью захватного устройства на вибродорожке

	МИ	$\Theta_{\text{НК}}$	Деталь с острой кромкой дна упирается в наклонную планку и сбрасывается ее, деталь со скругленной кромкой переходят через планку
	ММ	$\Theta_{\text{НК}}$	Вращающийся диск сбрасывает детали, идущие широким дном вверх
	МГр	$\Theta_{\text{НК}}$	Тоннельный мост захватывает деталь, движущуюся фланцем вверх
	МГр	$\Theta_{\text{ЦМ}}$	Деталь проваливается в окно вибродорожки
	ММх	$\Theta_{\text{НК}}$	Воздушная струя сбрасывает деталь, идущую вертикально
	МИ	$\Theta_{\text{НК}}$	Деталь выталкивается упором
	МГр	$\Theta_{\text{ЦМ}}$	Деталь выпадает за счет силы тяжести и наклонного дна
	МГр	$\Theta_{\text{ЦМ}}$	Детали ориентируются за счет прорези на дорожке