

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых»
(ВлГУ)
Кафедра “Автотранспортная и техносферная безопасность”**

**Методические указания для выполнения практических работ по
дисциплине «Автоматизация производственных процессов»**

**Составитель:
П.С. Сабуров**

Владимир 2016

Практическая работа №1 Оценка степени подготовленности изделий к автоматизированному производству

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).

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.

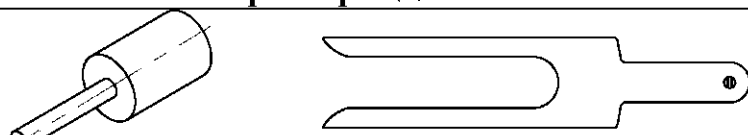
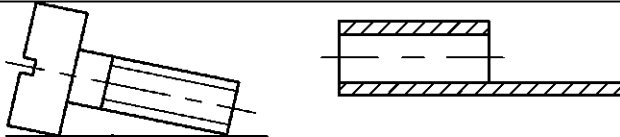
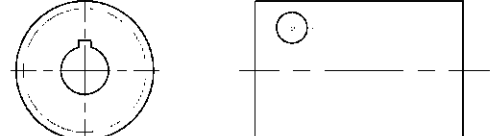
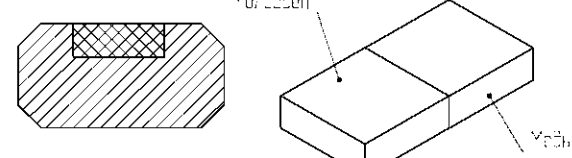
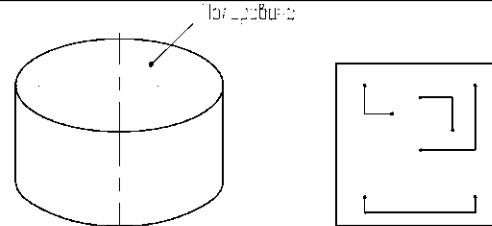
В основу рассматриваемой методики [1] положен принцип поэлементного анализа конструкции изделия, его деталей, сборочных единиц, материалов с точки зрения возможности и технической целесообразности автоматического выполнения дискретных операций ориентации деталей в пространстве и во времени, подачи их в рабочие органы, базирования в рабочей позиции, съема, транспортировки. Предполагается, что выполнение основных технологических операций обосновано. Параметрами дифференцированной схемы оценки (см. прил. 1) являются: конфигурация, физико-механические свойства материала и поверхности, сцепляемость, абсолютные размеры и их соотношения, показатели симметрии, специфичные 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).

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

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 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.

Ступень 7 характеризует дополнительные признаки конструкции детали, влияющие на сложность выполнения автоматической операции. Если конструктивный элемент не оказывает влияния на выполнение операции, то он не учитывается. Некоторые из этих признаков показаны на рис. 1.

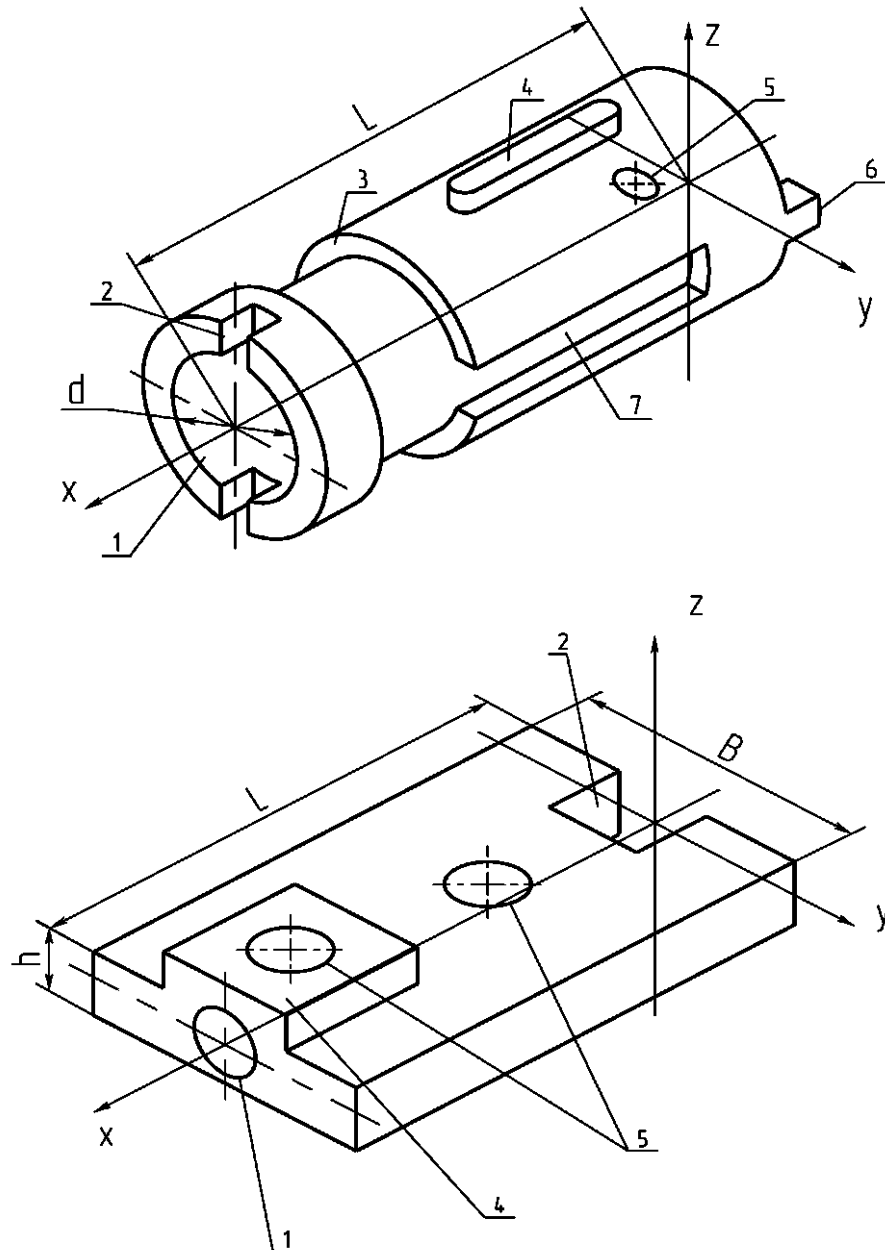


Рис. 1. Элементы конфигурации детали

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

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 балла. В зависимости от полученной суммы баллов установлены четыре категории сложности автоматизации (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика категорий сложности автоматизации

Сумма баллов, $B_i (B_{cp})$	Категория сложности и $K_i (K_{cp})$	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. 2). Рассмотрим коды этой детали для автоматизации операций:

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

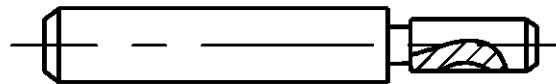


Рис. 2. Эскиз кодируемой детали

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:

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

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot z_i}{z}, \quad (2)$$

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

Используя табл. 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. Оработка заключается в предложении мероприятий, позволяющих снизить эти значения кодов.

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Исходные данные

Эскиз детали приведен на рис. 3. Материал детали – сталь.

Автоматизируемые операции:

- сборка пластины со штифтом по отверстию **А**. Схема базирования детали на сборочной операции показана на рис. 4;
- шлифование поверхности **Б** на плоскошлифовальном станке с использованием магнитного стола.

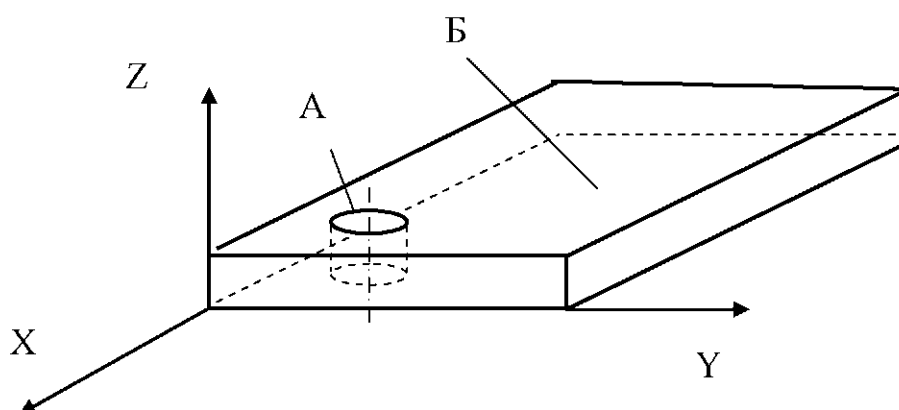


Рис. 3. Эскиз детали (пластина)

3.2. Кодирование детали по каждой операции

Сборка

1. Асимметрия внутреннего контура, металлическая.....	4000000
2. Несцепляемая.....	000000
3. Пластиначатая, 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 (Z), одна плоскость симметрии (XY).....	100
6. Центрального отверстия нет, гладкая.....	10
7. Дополнительные признаки отсутствуют.....	0
	1023110
Сумма баллов.....	8
Категория сложности.....	1

3.3. 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. 5а, б). Нетрудно убедиться, что для детали с двумя отверстиями (рис. 5а), код будет – **4023615**, категория сложности – **3**, а для детали с четырьмя отверстиями (рис. 5б) код будет – **1023410**, категория сложности – **2**.

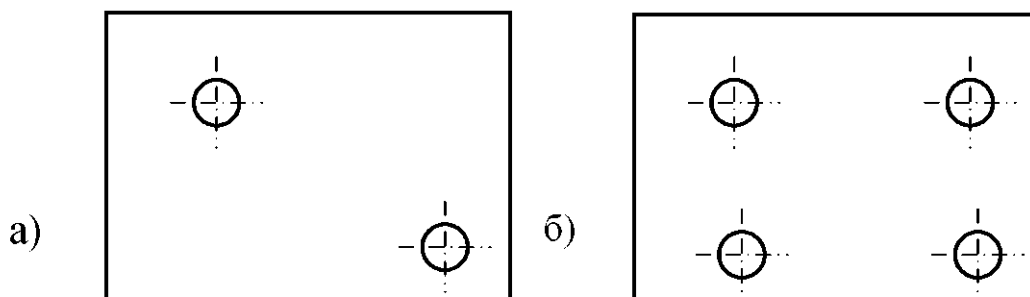


Рис. 5. Варианты изменения конструкции детали

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Рекомендуется следующая последовательность выполнения работы:

1. Используя прил. 1 или по указанию преподавателя выбираются
2. 2-3 детали для последующей оценки.
3. 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.).
4. Используя предложенную систему оценки (прил. 2), проводят кодировку деталей для выбранных операций. Определяются категории сложности.
5. 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.
6. Делаются выводы по работе.

4. 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.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему возникает необходимость отработки на технологичность конструкции детали при автоматизации производства?

2. Как осуществляется оценка подготовленности изделия к автоматизации?

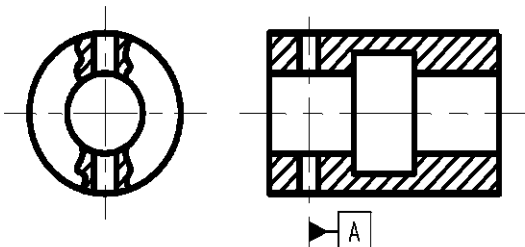
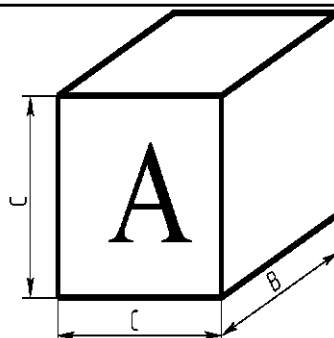
3. Поясните правила применения кодов по ступеням 1-7.

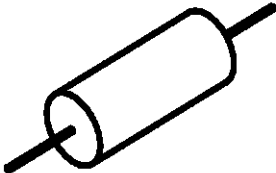
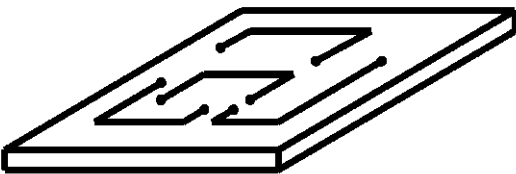
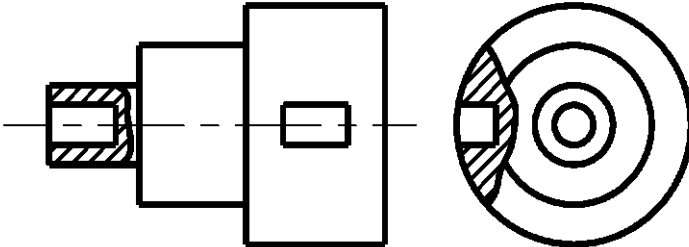
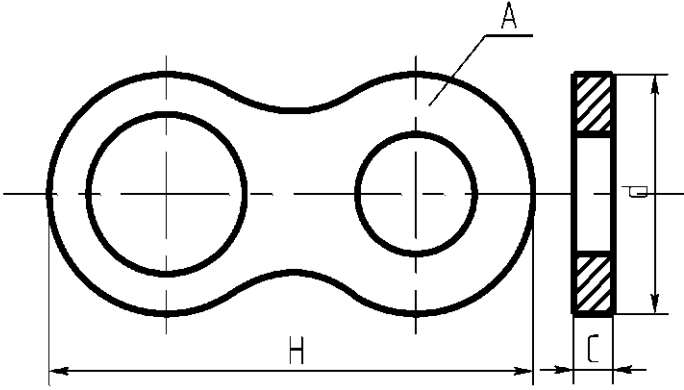
4. Как определяются категории сложности детали и изделия?

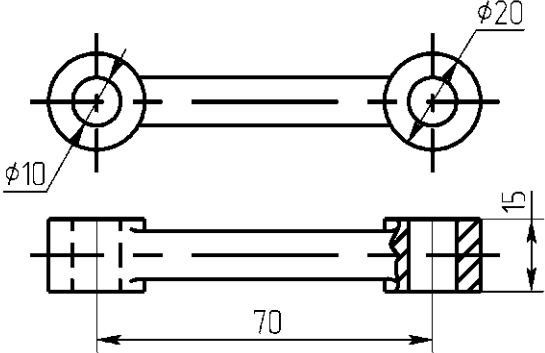
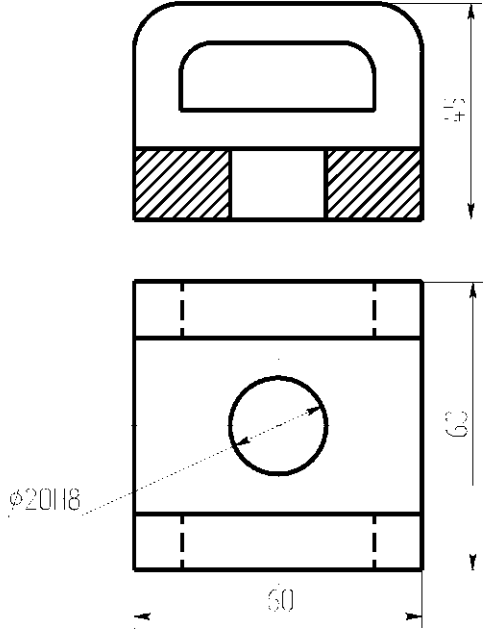
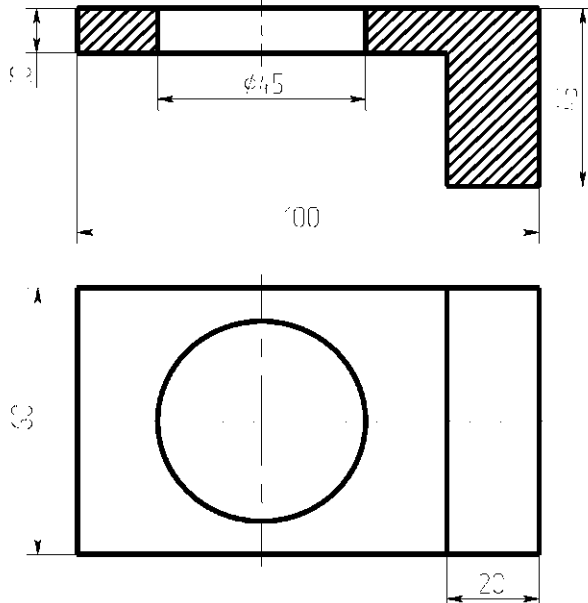
5. Как использовать данную методику для совершенствования конструкции детали? Привести примеры.

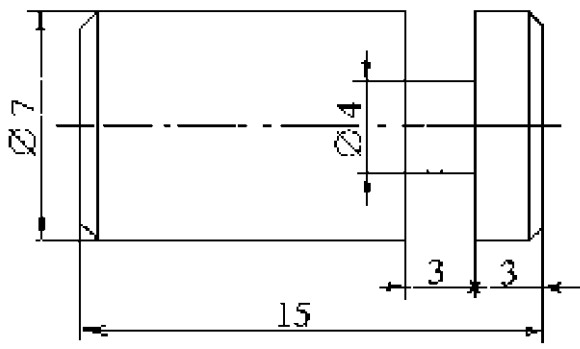
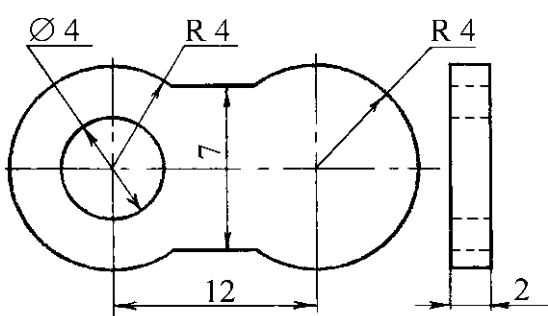
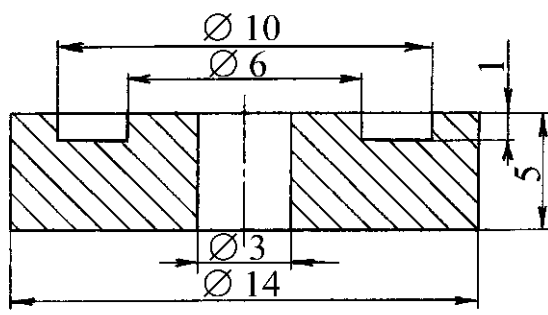
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант 1	
	<p>Операции:</p> <p>а) круглое наружное шлифование;</p> <p>б) сборка со штифтом по отверстию А</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 2	
 <p style="text-align: right;">$B > C$</p>	<p>Операции:</p> <p>а) счет деталей;</p> <p>б) нанесение покрытия на предварительно вырезанный профиль буквы «А»</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 3	

 <p>(электрическое сопротивление)</p>	<p>Операции:</p> <p>а) счет деталей;</p> <p>б) пайка в какую-либо схему</p>
Вариант 4	
	<p>Операции:</p> <p>а) транспортировка между операциями;</p> <p>б) сборка с радиоэлементами</p> <p>Материал: текстолит</p>
Вариант 5	
	<p>Операции:</p> <p>а) сверление центрального отверстия;</p> <p>б) сборка со шпонкой</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 6	
 <p>$H/C < 10; d/C < 10$</p>	<p>Операции:</p> <p>а) плоское шлифование поверхности «А»;</p> <p>б) сборка</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 7	

	<p>Деталь – рычаг</p> <p>Операции:</p> <p>а) установка на ось (сборка);</p> <p>б) установка на плоскошлифовальный станок для обработки торцов</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 8	
	<p>Деталь – каркас</p> <p>Операции:</p> <p>а) установка для фрезерования окон на горизонтальном ОЦ с поворотным столом;</p> <p>б) предложить самим</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 9	
	<p>Деталь – кронштейн</p> <p>Операции:</p> <p>а) установка на вертикально-сверлильном станке для обработки отверстия $\varnothing 45$;</p> <p>б) предложить самим</p> <p>Материал: сталь</p>

Вариант 10	
	<p>Деталь – валик</p> <p>Операции:</p> <p>а) счет деталей;</p> <p>б) сборка с манжетой</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 11	
	<p>Деталь – пластина</p> <p>Операции:</p> <p>а) сверление отверстия;</p> <p>б) шлифование торца на плоскошлифовальном станке</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 12	
	<p>Деталь – шайба</p> <p>Операции:</p> <p>а) сверление отверстия;</p> <p>б) установка уплотнения в канавку</p> <p>Материал: бронза</p>
Вариант 13	
	<p>Деталь – ось</p> <p>Операции:</p> <p>а) шлифование цилиндра Ø 12 мм;</p> <p>б) установка манжеты в канавку</p> <p>Материал: сталь</p>

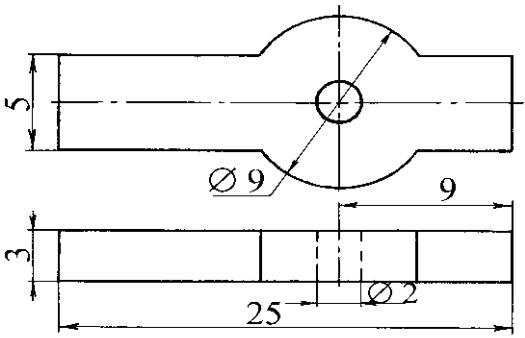
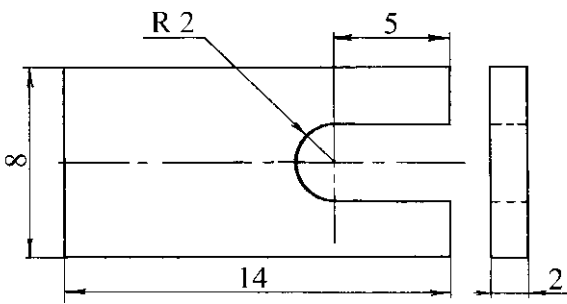
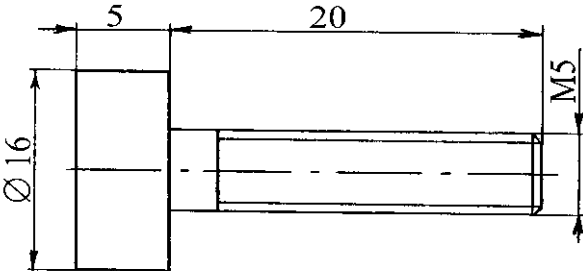
Вариант 14	
	<p>Деталь – рычаг</p> <p>Операции:</p> <p>а) сверление отверстия;</p> <p>б) шлифование торца</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 15	
	<p>Деталь – пластина</p> <p>Операции:</p> <p>а) фрезерование паза на вертикально-фрезерном станке;</p> <p>б) шлифование торца</p> <p>Материал: сталь</p>
Вариант 16	
	<p>Деталь – болт</p> <p>Операции:</p> <p>а) свинчивание с гайкой;</p> <p>б) счет деталей</p> <p>Материал: сталь</p>

Схема оценки степени подготовленности изделия для автоматизированного производства

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Степень 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
неметалличес.	1000000	неметалличес.	2000000	неметалличес.	3000000	неметалличес.	5000000	неметалличес.	7000000	неметалличес.	9000000

Степень 2

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

Степень 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
	неферромагн итн.	20000	неферромагн итн.	30000	неферромагн итн.	50000	неферромагн итн.	70000	неферромагн итн.	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 несимметрич. формой концов	60	ступенчатые с несимметрич. формой концов	70	ступенчатые с несимметрич. формой концов	90

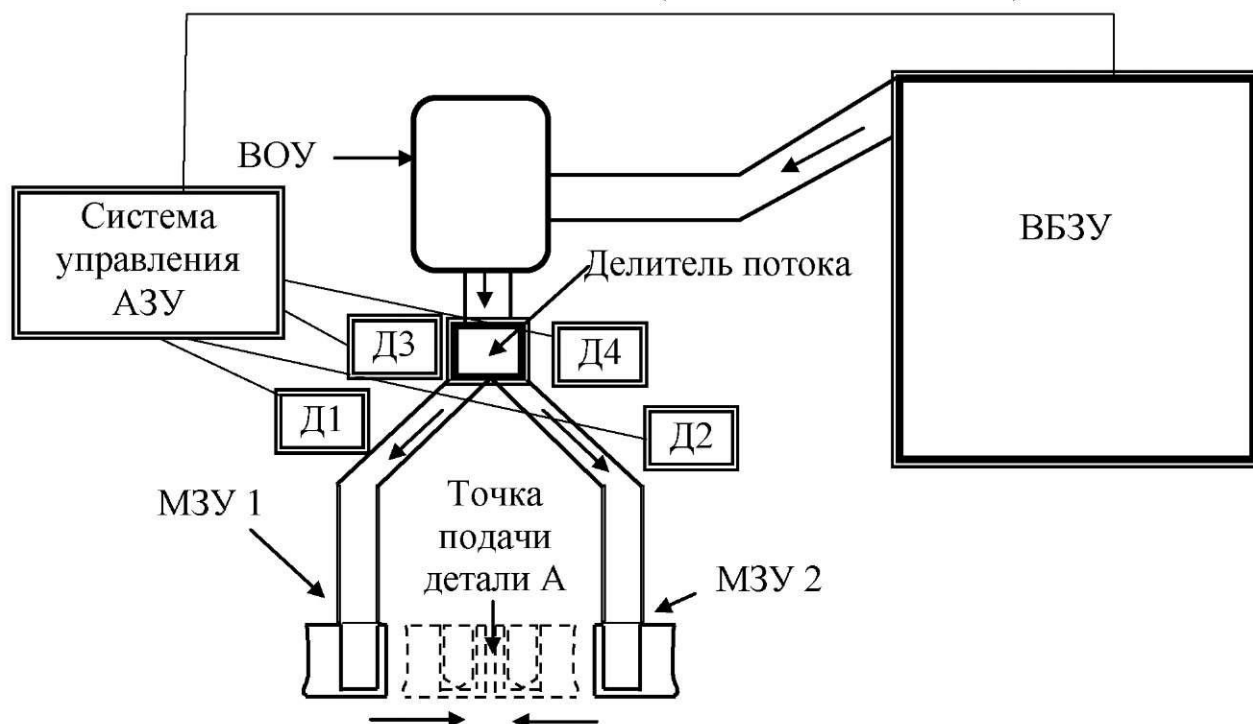
Ступень 7

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	

Практическая работа № 2 Проектирование и расчет автоматического загрузочного устройства 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. 1.

Рис. 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 (МЗУ1 и МЗУ2).

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. П1, П2). Перед началом выполнения лабораторной работы № 2 рекомендуется провести оценку степени подготовленности

заданной детали к автоматизированному производству по лабораторной работе № 1 [5].

2. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

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. Продолжительность работы – 2 часа.

2.2 Основные теоретические положения

Перед началом выполнения работы следует ознакомиться с разделами 2.3.4 и 2.3.5 конспекта лекций [1].

Для правильной ориентации необходимо систематизировать поток деталей, т.е. получить однорядный и одноярусный поток. На рис. 2 показаны различные способы получения однорядного потока, а на рис. 3 – способы получения одноярусного потока.

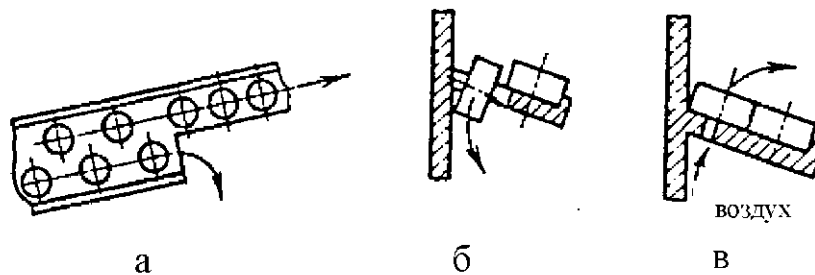


Рис. 2. Схемы сбрасывания лишних рядов деталей:

а – уменьшением ширины лотка; б – с помощью прорези; в – воздухом

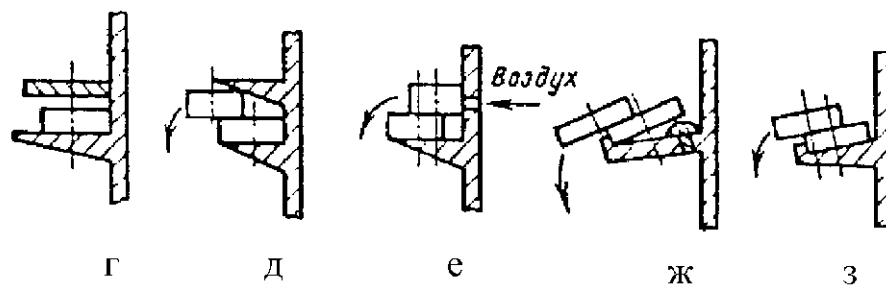


Рис. 3. Схемы сбрасывания лишних ярусов деталей
а, б – упорами; в – воздухом; г, д – за счет гравитации

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. Пб) 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. 4.

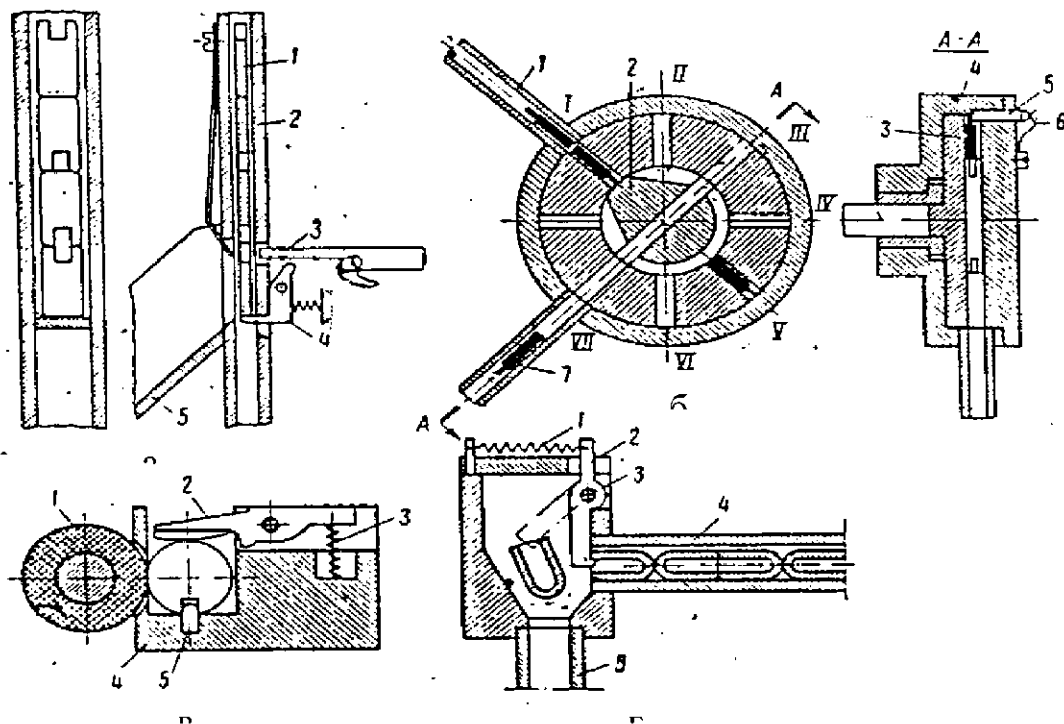


Рис. 4. Схемы ВОУ (пояснения в тексте)

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

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

2.3 Порядок выполнения работы

Пример выполнения работы рассмотрен в п. 5.2. Общий порядок выполнения работы следующий: Выберите из приложения в соответствии с заданным вариантом чертеж детали (табл. П2) и параметры для расчета АЗУ (табл.П1).

1. При необходимости по указанию преподавателя проведите оценку подготовленности конструкции детали к автоматическому производству [5], используя оценочные таблицы (приложение, табл. ПЗ, П4).

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

3. Рассмотрите необходимость и конструкцию устройств для систематизации потока.

4. Используя типовые решения (приложение, табл. П 6) предложите конструктивные решения ориентаторов для обеспечения требуемого положения детали. При невозможности полного завершения ориентации в ВБЗУ покажите какие два (не более) устойчивых различных положения детали обеспечиваются на выходе. Предложите конструктивное решение ВОУ.

5. Оформите отчет по работе.

2.4 Содержание отчета

Отчеты по лабораторным работам № 2, 3, 4 можно оформлять отдельно, можно в виде общего отчета по данному комплексу работ.

Содержание отчета по лабораторной работе № 2:

- 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).

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. 4, принципы действия ВОУ.

3. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЗУ

3.1. Цель работы

Цель работы – ознакомиться с основными конструкциями МЗУ и методами их расчета на производительность и отсутствие заклинивания. Продолжительность работы – 2 часа.

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. 5.

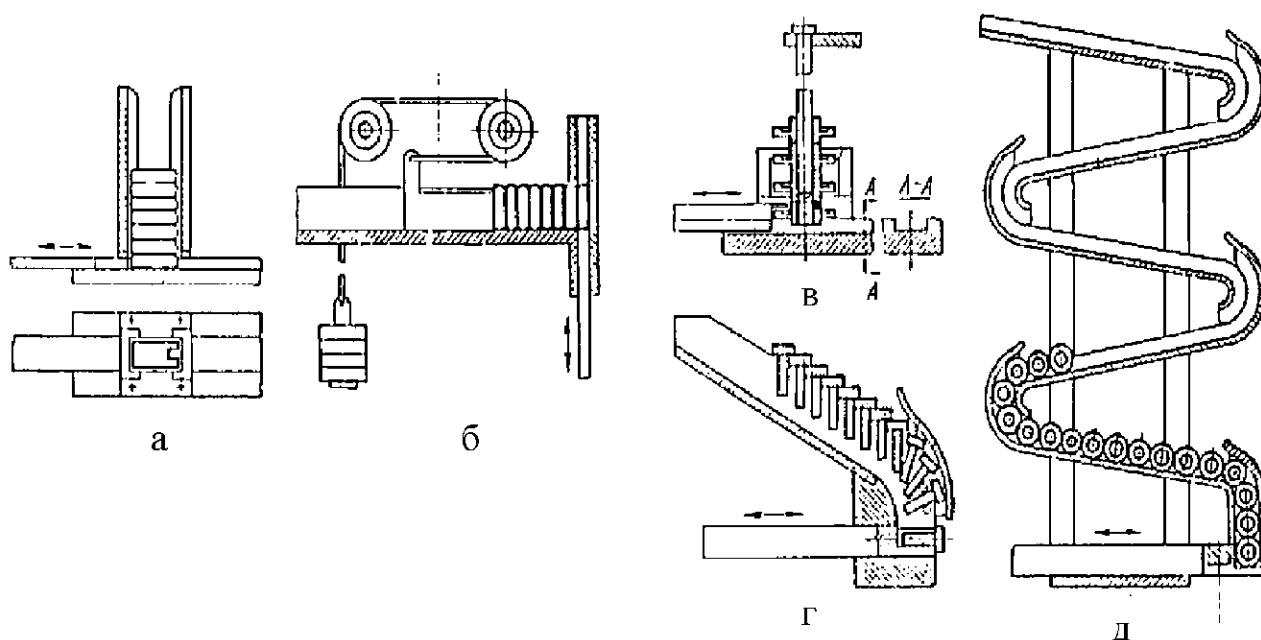


Рис.5. Магазиные загрузочные устройства для заготовок, закладываемых штабелем в один ряд

МЗУ рассчитываются на производительность и отсутствие заклинивания.

3.3. Расчет МЗУ на производительность

Производительность любого загрузочного устройства определяется производительностью обслуживаемого им станка:

$$Q_{АЗУ} = K_n \cdot Q_a, \quad (1)$$

где $Q_{МЗУ}$ – производительность АЗУ; K_n – коэффициент переполнения, $K_n = 1,1 \dots 1,3$; 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)

$$Q_{МЗУ} = \frac{1}{T_{ц}}, \quad (2)$$

где $T_{ц}$ – время цикла МЗУ.

Время цикла в общем случае содержит в себе ряд составляющих

$$T_{\text{ц}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (3)$$

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...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. 6, а) определяют по формуле

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}, \quad \text{с} \quad (4)$$

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, $K = 1,5...2$.

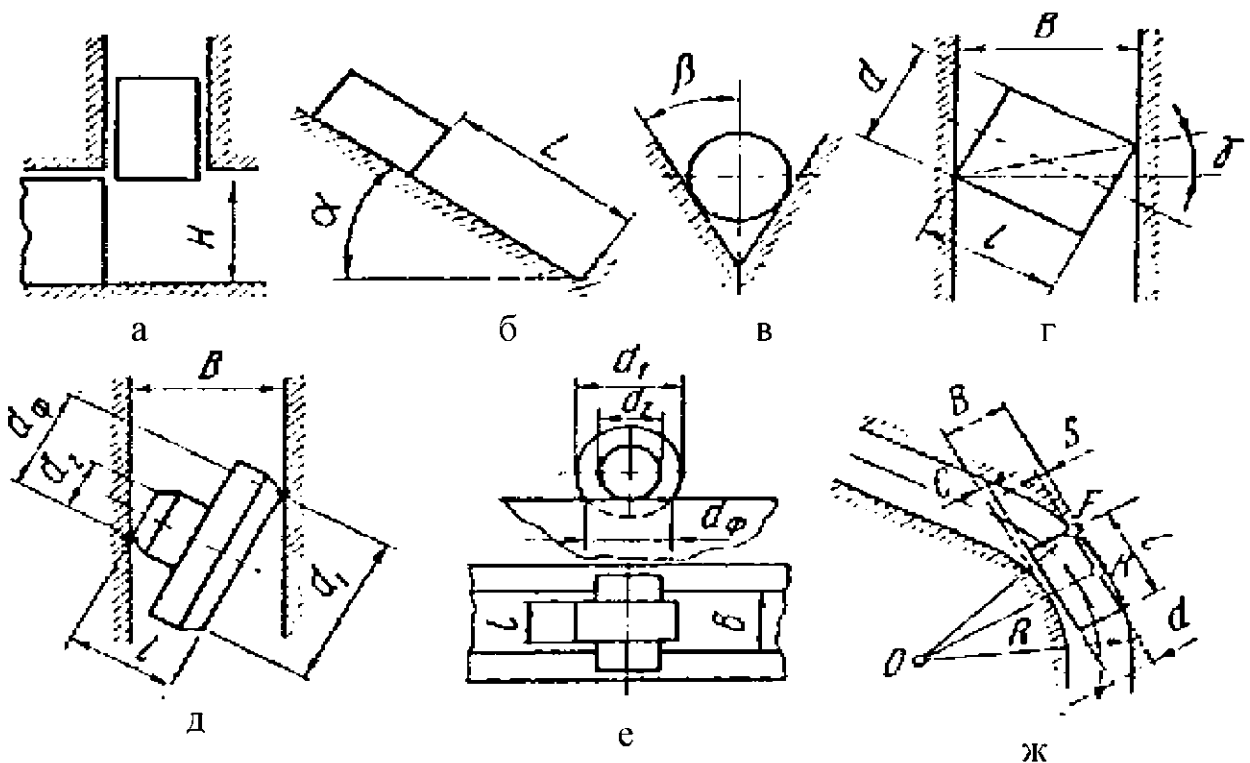


Рис. 6. Схемы для расчета МЗУ на производительность и отсутствие заклинивания

Для случая наклонного лотка (рис. 6, б) формула для расчета T_1 меняется

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot L}{g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}}, \text{ с} \quad (5)$$

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; α – 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. 6, в) надо использовать значение $f = f / \sin \beta$.

3.4. Расчет МЗУ на отсутствие заклинивание

При малой длине направляющей заготовка может заклиниваться в лотках. Необходима проверка на отсутствие заклинивания. Схема расчета ясна из рис. 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 γ . Если угол γ становится меньше или равен углу трения ρ , то произойдет заклинивание. Тогда условие начала заклинивания:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \rho = f. \quad (6)$$

Отсюда условие отсутствия заклинивания:

$$l_{\max} + C_{\min} < B < \frac{\sqrt{d^2 + l^2}}{\sqrt{1 + f^2}}, \quad (7)$$

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

При изменении формы детали, может меняться смысл составляющих в формуле (8). Например, для детали (рис. 6, д) $d = (d1 + d2)/2$.

Длинные детали могут заклиниваться на поворотах лотка, поэтому на поворотах следует увеличивать ширину лотка. Расчетная схема представлена на рис. 6, ж. Ширина лотка рассчитывается по формуле:

$$B = R - \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}} + d + C. \quad (8)$$

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

3.5. Порядок выполнения работы

Пример выполнения работы приведен в п. 5.3. Общий порядок выполнения следующий:

1. Выберите конструкцию МЗУ и положение детали в нем.
2. По формуле (1) определите требуемую производительность МЗУ.
3. По формуле (3) с учетом формул (4) и (5) определите время цикла МЗУ T_{η} .
4. По формуле (2) определите максимально возможную производительность МЗУ и сравните ее с требуемой производительностью. Определите требуемое количество МЗУ и необходимый состав элементов АЗУ.
5. По формуле (7) определите диапазон возможного изменения ширины лотка МЗУ и выберите целесообразную ширину лотка B .
6. При наличии закруглений лотка по формуле (8) определите минимально необходимую ширину лотка.
7. Оформите отчет по работе.

3.6. Содержание отчета

Содержание отчета по лабораторной работе № 3:

- 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).

3.7. 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 γ .
7. Как рассчитывается ширина лотка для длинных деталей в местах его закругления?

4 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВБЗУ

4.1 Цель работы

Цель работы – практически ознакомить студентов с методикой расчета ВБЗУ. Продолжительность работы – 4 часа.

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

$$Q_{CP} = Q_{АЗУ} / (1 - k_H), \quad (9)$$

где $Q_{АЗУ}$ – требуемая производительность АЗУ, определяется по формуле (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)

$$v_{CP} = \frac{Q_{CP} \cdot l_H}{60 \cdot k_3}, \quad (10)$$

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

$$k_3 = P(l_0) \cdot C_{\Pi}, \quad (11)$$

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

Коэффициент плотности потока изделий рассчитывается как

$$C_{\Pi} = l_{\Pi} / (l_{\Pi} + S), \quad (12)$$

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 $l_{\Pi} > d$)

$$P(l_0) \approx 1 / \sqrt{1 + (d / l_{\Pi})^2}, \quad (13)$$

для несимметричных деталей

$$P(l_0) = 0,5 / \sqrt{1 + (d / l_{\Pi})^2}. \quad (14)$$

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. 7).

Для цилиндрической чаши наружный диаметр определяют по формуле

$$D = D_B + 2 \cdot \Delta, \quad (15)$$

где D_B – внутренний диаметр чаши, мм, $D_B > (5 \dots 8) \cdot l_{\Pi}$; Δ – толщина стенки бункера, мм.

Толщину Δ 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

$$D_B = 3 \cdot \sqrt{\frac{V_D \cdot Q_{CP} \cdot T \cdot n \cdot z}{\pi \cdot H_P}}, \quad (16)$$

где V_D – наружный объем одного загружаемого изделия, мм³; 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

$$D = D_B \cdot \left[\frac{H}{H_P} \cdot \left(\sqrt{\frac{24 \cdot V_D \cdot Q_{CP} \cdot T \cdot n \cdot z}{\pi \cdot D_B^2 \cdot H_P}} - 0,75 - 1,5 \right) + 1 \right] + 2 \cdot \Delta, \quad (17)$$

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.

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

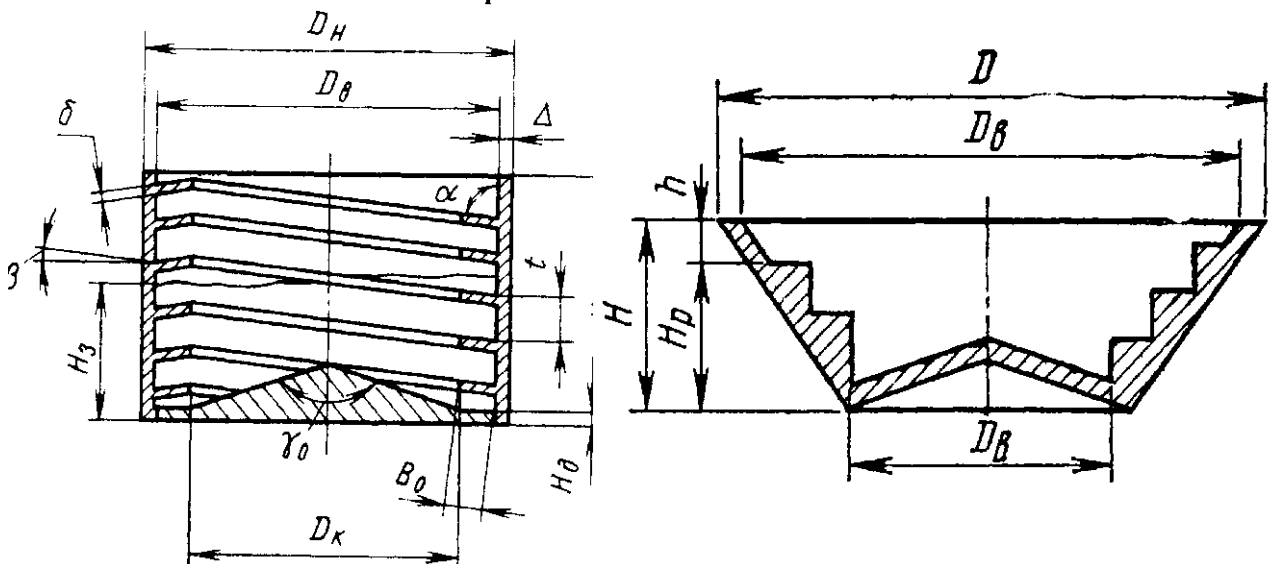


Рис. 7. Цилиндрические и конические чаши ВБЗУ
Высота заполнения чаши изделиями находится из выражения

$$H_p \approx 2,5 \cdot (t + \delta), \quad (18)$$

где t – шаг подъема спирального лотка, мм; δ – толщина лотка, мм.

Полная высота чаши определяется как

$$H = H_p + (1,0 \div 1,5) \cdot t. \quad (19)$$

Шаг t спирали вибродорожки определяют из условия

$$t = k \cdot d + \delta, \quad (20)$$

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; δ – 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

$$k = \frac{\sqrt{l_H^2 / d^2 + 1}}{\sqrt{f^2 + 1}}. \quad (21)$$

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

Если чаша многозаходная, то шаг спирали при n заходах

$$t = (k \cdot d + \delta) \cdot n. \quad (22)$$

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

$$\beta = \arctg(t / (\pi \cdot D_B)). \quad (23)$$

Диапазон изменения угла $\beta = 0,2 \div 5^\circ$, но при увеличении угла подъема лотка до 2° скорость перемещения заготовок снижается примерно на 10-15 %. Угол наклона α 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

$$D_B \geq \frac{t_n}{\pi \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (24)$$

где t_n – шаг многозаходной спирали, мм; β – угол подъема спирали лотка.

Ширина вибродорожки

$$B = b + a - 0,5 \cdot \sqrt{D_B^2 - l_H^2} + D_B / 2, \quad (25)$$

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

$$B_O = B + 3. \quad (26)$$

В зависимости от типоразмера чаши толщину дна принимают

$$H_D \approx 2 \cdots 3 \text{ мм}. \quad (27)$$

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

Диаметр конуса

$$D_K = D_B - 2 \cdot B_O. \quad (28)$$

Максимальное число каналов вибродорожки

$$z_{\max} = \frac{0,25 \cdot D_B}{b + c}, \quad (29)$$

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

Максимальное число вибродорожек (заходов) в чаше определяется по формуле с дальнейшим округлением до целого числа в меньшую сторону

$$n_{max} = \frac{\pi \cdot D_B \cdot \operatorname{tg} \beta}{l_H \cdot \operatorname{tg} \beta + h}, \quad (30)$$

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 α , исходя из обеспечения необходимой скорости перемещения заготовок по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{206}{f_L \cdot V_{TP}}, \quad (31)$$

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

Угол наклона подвесок α должен находиться в пределах 5-45°.

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

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

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \cdot 10^2$ см/с²; ω – круговая частота колебаний лотка, 1/с.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_L. \quad (33)$$

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. 8.

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

$$a = \frac{l}{372} \cdot \sqrt[3]{\frac{G \cdot \varphi^2}{n \cdot i \cdot b}}, \quad (34)$$

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; φ – собственная частота колебаний системы, 1/с:

$$\varphi = 1,1 \cdot f_{\text{Д}}. \quad (35)$$

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

$$d = 0,0135 \cdot \sqrt[4]{\frac{G \cdot l^3 \cdot \varphi^2}{n}}. \quad (36)$$

Напряжение изгиба (кгс/см²) при максимальном прогибе для плоских пружин определяем по формуле

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{1,5 \cdot E \cdot a \cdot \delta}{l^2}, \quad (37)$$

где E – модуль упругости, $E=2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²; δ – размах колебаний лотка, см.

Для круглых подвесок

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{1,5 \cdot E \cdot d \cdot \delta}{l^2}. \quad (38)$$

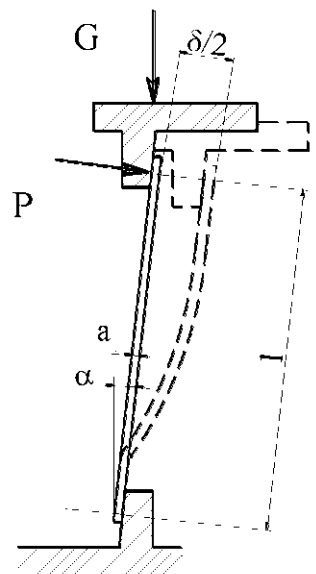


Рис. 8. Расчетная схема пружин

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

$$\delta = \frac{2 \cdot X_H}{\cos \alpha}. \quad (39)$$

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

при плоских подвесках

$$P = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot a^3 \cdot i}{2 \cdot l^3 \cdot \mu}, \quad (40)$$

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

при круглых подвесках

$$P = \frac{0,3 \cdot \delta \cdot E \cdot d^4}{\mu \cdot l^3}. \quad (41)$$

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

$$P_0 = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot a^3 \cdot i \cdot n}{2 \cdot l^3 \cdot \mu \cdot \sin \alpha}, \quad (42)$$

при круглых подвесках

$$P_0 = \frac{0,3 \cdot \delta \cdot E \cdot d^4 \cdot n}{\mu \cdot l^3 \cdot \sin \alpha}. \quad (43)$$

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

$$P_{общ} = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot d^3 \cdot i \cdot n}{2 \cdot l^3 \cdot \mu}. \quad (44)$$

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

4.3 Порядок выполнения работы

Пример выполнения работы приведен в п. 5.4. Общий порядок выполнения работы следующий:

1. С учетом выбранного метода ориентирования или формул 11-14 по формуле (10) определите среднюю скорость движения по лотку ВБЗУ.
2. Рассчитайте основные конструктивные размеры чаши ВБЗУ.
3. Рассчитайте параметры движения детали и колебательной системы ВБЗУ.

4.4 Содержание отчета

Содержание отчета по лабораторной работе № 4:

- 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.

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?

5. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА АЗУ

5.1 Исходные данные

Вариант задания – 4. Эскиз детали приведен на рис. 9.

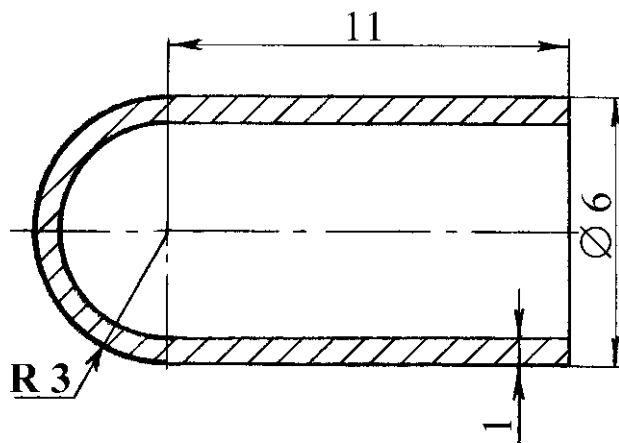


Рис. 9. Эскиз ориентируемой детали

Производительность станка – автомата $Q_a = 90$ шт./мин

Материал детали сталь

Частота колебаний лотка $f_L = 50$ Гц

Периодичность загрузки бункера $T = 20$ мин

5.2 Обеспечение автоматической ориентации детали

Сначала проведем оценку подготовленности детали к автоматической загрузке [5] и приложения 2.

Ступень 1	Асимметрия наружной конфигурации	2000000
Ступень 2	Сопрягаемые механически	600000
Ступень 3	Стержневая неферромагнитная	20000
Ступень 4	Круглая прямая	2000
Ступень 5	Одна ось вращения	200
Ступень 6	Центральное отверстие глухое, гладкая	50
Ступень 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 устойчивые положения детали на лотке и выберем одно – требуемое. Возможные устойчивые различные положения детали на лотке приведены на рис. 10.

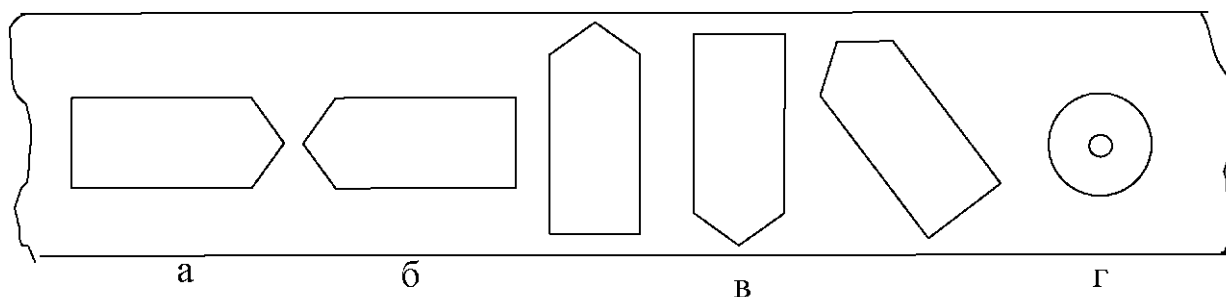


Рис. 10. Возможные различные устойчивые положения детали на лотке (вид сверху): а – донышком вперед, б – донышком назад, в – ось детали образует с направлением лотка угол не равный 0° , г – стоя на торце (ось детали вертикальна)

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. 11). Для обеспечения устойчивого положения детали а или б лотку придается полукруглая форма (рис. 12).

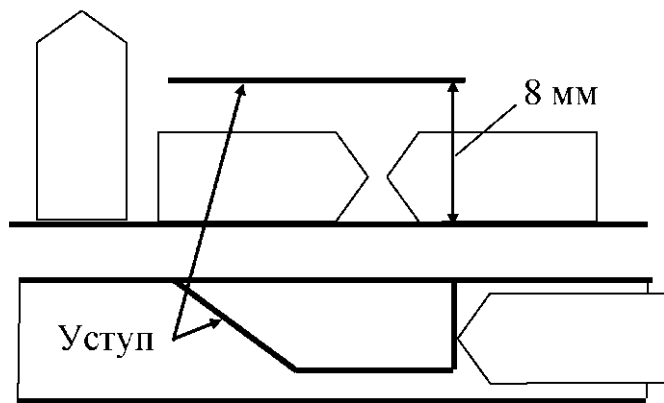


Рис. 11. Форма ориентирующего уступа

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

Рис. 12. Поперечное сечение ориентирующего лотка ВБЗУ

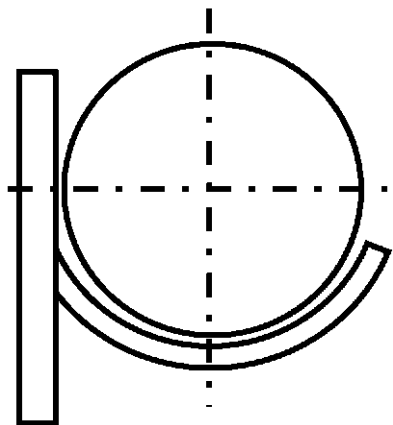
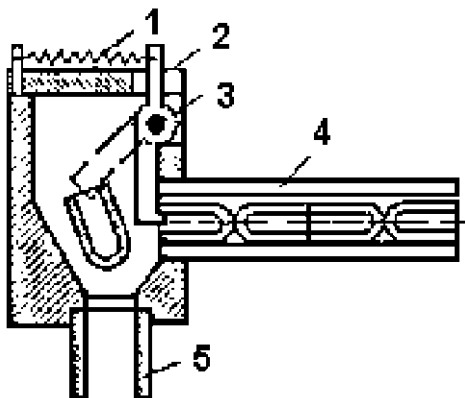


Рис. 13. Схема вторичного ориентирующего устройства:
1 – пружина; 2 – рычаг; 3 – ось;
4 – подводящий лоток;
5 отводящий лоток

Таким образом, всем деталям потока будет автоматически предано положение *a* (рис. 10). Ориентация в пространстве достигнута.

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 производительностью обслуживаемого им станка:

$$Q_{АЗУ} = K_{\Pi} \cdot Q_a = 1,2 \cdot 90 = 108 \text{ шт/мин}, \quad (45)$$

где $Q_{АЗУ}$ – требуемая производительность АЗУ; K_{Π} – коэффициент переполнения, примем $K_{\Pi} = 1,2$; Q_a – производительность станка – автомата, $Q_a = 90$ шт./ч.

Определим фактическую производительность МЗУ. Расчетная схема приведена на рис. 14. Производительность МЗУ зависит от времени цикла, то есть времени между выдачей двух деталей:

$$Q_{МЗУ}^{\phi} = \frac{1}{T_{\text{ц}}}, \quad (46)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла МЗУ.

Время цикла в нашем случае содержит в себе ряд составляющих

$$T_{\text{ц}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (47)$$

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, проходимым 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

$$T_1 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} = 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,014}{9,81}} = 0,08 \text{ с}, \quad (48)$$

где H – высота перемещения детали, $H = 0,014$ м; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; K – коэффициент запаса, учитывающий трение о стенки лотка, $K = 1,5...2$.

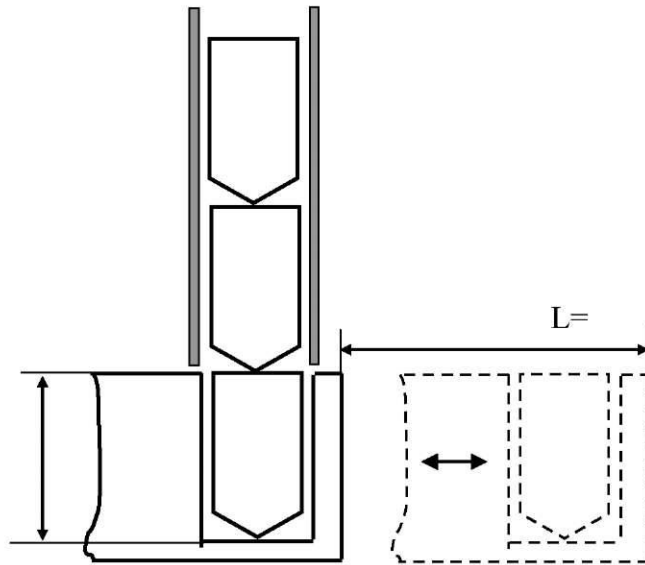


Рис. 14. Схема к расчету фактической производительности МЗУ

Тогда

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

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.

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. 15.

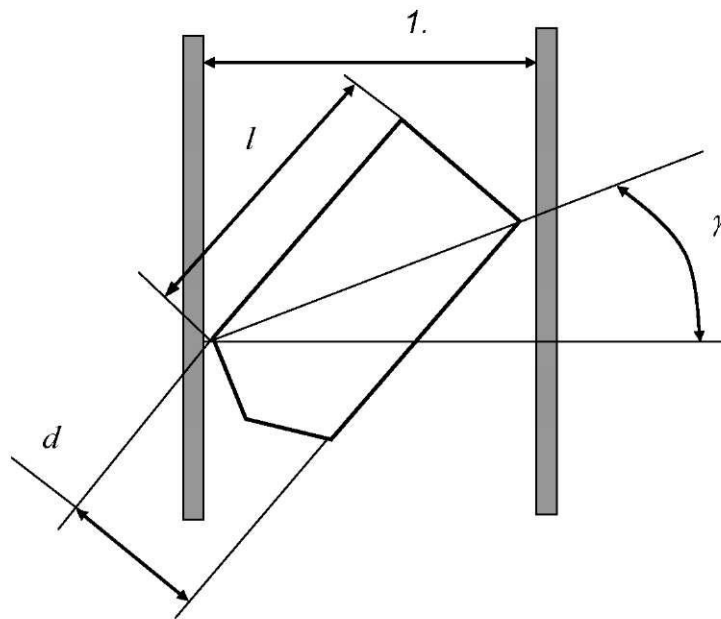


Рис. 15. Расчетная схема для определения ширины лотка

Чтобы заклинивания детали не происходило ширина (в нашем случае диаметр трубы) лотка B должна находится в следующем интервале [1]:

$$d_{max} + C_{min} < B < \frac{\sqrt{d^2 + l^2}}{\sqrt{1 + f^2}}, \quad (49)$$

где f – коэффициент трения между стенкой и заготовкой, для трения сталь-сталь примем $f = 0,3$ (приложение, табл. П5); 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 ориентирующие устройство, делитель потока, два МЗУ.

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

$$Q_{CP} = Q_{АЗУ} / (1 - k_H) = 108 / (1 - 0,25) = 120 \text{ шт./мин}, \quad (50)$$

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), $k_H = 0,2 \dots 0,3$, принимаем $k_H = 0,25$.

Средняя скорость движения изделия по лотку (мм/с)

$$v_{CP} = \frac{Q_{CP} \cdot l_H}{60 \cdot k_3} = \frac{120 \cdot 14}{60 \cdot 0,919} = 30,468 \text{ мм/с} = 1,83 \text{ м/мин}, \quad (51)$$

где l_H – длина изделия (размер в направлении движения), $l_H = 14$ мм; k_3 – коэффициент заполнения лотка изделиями в требуемом ориентированном положении, он зависит от типа ориентирующих устройств.

Коэффициент заполнения лотка изделиями определяется по формуле

$$k_3 = P(l_0) \cdot C_{II} = 0,919 \cdot 1 = 0,919, \quad (52)$$

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

Коэффициент плотности потока изделий рассчитывается как

$$C_{II} = l_H / (l_H + S) = 14 / (14 + 0) = 1, \quad (53)$$

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

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

$$P(l_0) \approx 1/\sqrt{1+(d/l_{II})^2} = 1/\sqrt{1+(6/14)^2} = 0,919, \quad (54)$$

Расчет конструктивных размеров чаши.

Включает определение диаметра D , высоты H , шага лотка t , объема V_D загружаемой партии. Примем цилиндрическую форму чаши (рис. 16).

Для цилиндрической чаши наружный диаметр определяют по формуле

$$D = D_B + 2 \cdot \Delta, \quad (55)$$

где D_B – внутренний диаметр чаши, мм; Δ – толщина стенки бункера, примем точеную чашу и $\Delta = 2$ мм.

Внутренний диаметр чаши определяется из выражения

$$D_B = 3 \cdot \sqrt{\frac{V_D \cdot Q_{CP} \cdot T \cdot n \cdot z}{\pi \cdot H_P}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{396 \cdot 120 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1}{3,14 \cdot 32,5}} \approx 290 \text{ мм}, \quad (56)$$

где V_D – наружный объем загружаемого изделия, мм³, $V_D = 396$ мм³; 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_P – высота заполнения чаши изделиями, мм.

Высота заполнения чаши изделиями находится из выражения

$$H_P \approx 2,5 \cdot (t + \delta) = 2,5 \cdot (11 + 2) = 32,5 \text{ мм}, \quad (57)$$

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

Шаг t спирали вибродорожки определяют из условия

$$t = k \cdot d + \delta = 1,5 \cdot 6 + 2 = 11 \text{ мм}, \quad (58)$$

где d – диаметр изделия, лежащего на лотке, $d = 6$ мм; при $l_H/d > 1,5$ коэффициент принимается равным $k = 1,5$.

Тогда наружный диаметр чаши

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

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

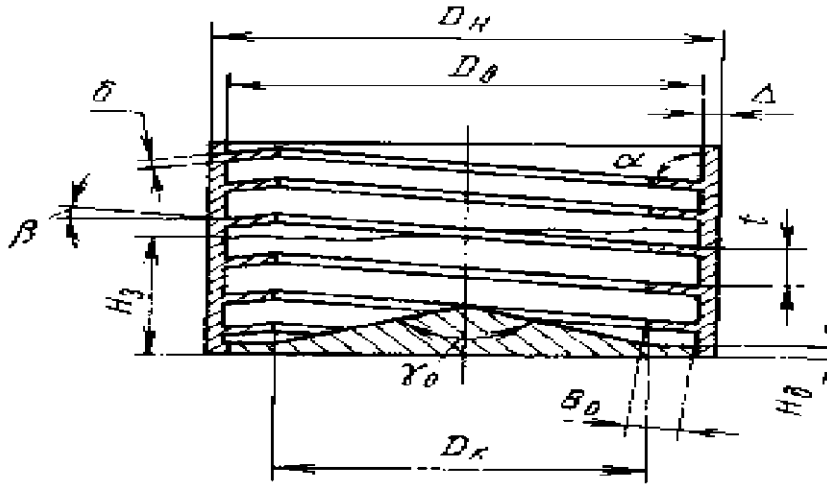


Рис. 16. Конструкция цилиндрической чаши ВБЗУ

Полная высота чаши определяется как

$$H = H_p + (1,0 \div 1,5) \cdot t = 32,5 + 1,5 \cdot 11 = 49 \text{ мм}. \quad (59)$$

Угол подъема спирали лотка

$$\beta = \arctg(t/(\pi \cdot D_B)) = \arctg(11/(3,14 \cdot 290)) = 0,692^\circ. \quad (60)$$

Ширина вибродорожки

$$\begin{aligned} B &= b + a - 0,5 \cdot \sqrt{D_B^2 - l_H^2} + D_B/2 = \\ &= 6 + 1 - 0,5 \cdot \sqrt{290^2 - 14^2} + 290/2 = 7,17 \text{ мм} \end{aligned} \quad (61)$$

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

Ширина лотка с буртиком

$$B_O = B + 3 = 7,17 + 3 = 10,7 \text{ мм} \quad (62)$$

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 α , исходя из обеспечения необходимой скорости перемещения заготовок по формуле

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

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

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

$$X_H = \frac{3,32 \cdot g}{\omega^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{3,32 \cdot 981}{314^2 \cdot 2,25} = 0,0147 \text{ см}, \quad (63)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \cdot 10^2$ см/с²; ω – круговая частота колебаний лотка, 1/с:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{л}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314. \quad (64)$$

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. 8.

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

$$a = \frac{l}{372} \cdot \sqrt[3]{\frac{G \cdot \varphi^2}{n \cdot i \cdot b}} = \frac{15}{372} \cdot \sqrt[3]{\frac{15 \cdot 55^2}{4 \cdot 3 \cdot 2}} = 0,498 \text{ см}, \quad (65)$$

где a – толщина пружин подвески, см; l – длина пружины, принимаем $l=15$ см; b – ширина пружины, принимаем $b = 2$ 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 $G = 15$ кг; φ – собственная частота колебаний системы, 1/с:

$$\varphi = 1,1 \cdot f_{\text{Л}} = 1,1 \cdot 50 = 55. \quad (66)$$

Напряжение изгиба (кгс/см²) при максимальном прогибе для плоских пружин определяем по формуле

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{1,5 \cdot E \cdot a \cdot \delta}{l^2} = \frac{1,5 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,498 \cdot 0,0719}{15^2} = 551,5 \text{ кг/см}^2, \quad (67)$$

где E – модуль упругости, $E=2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²; δ – размах колебаний лотка, см.

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

$$\delta = \frac{2 \cdot X_H}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 0,0147}{\cos 66^\circ} = 0,0719 \text{ см} \quad (68)$$

Если в приводе вибрационного грузочного 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:

$$P = \frac{\delta \cdot E \cdot b \cdot a^3 \cdot i}{2 \cdot l^3 \cdot \mu} = \frac{0,0719 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,498^3 \cdot 3}{2 \cdot 15^3 \cdot 5,7} = 2,91 \text{ кгс}, \quad (69)$$

где μ – динамический коэффициент,

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

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. 17.

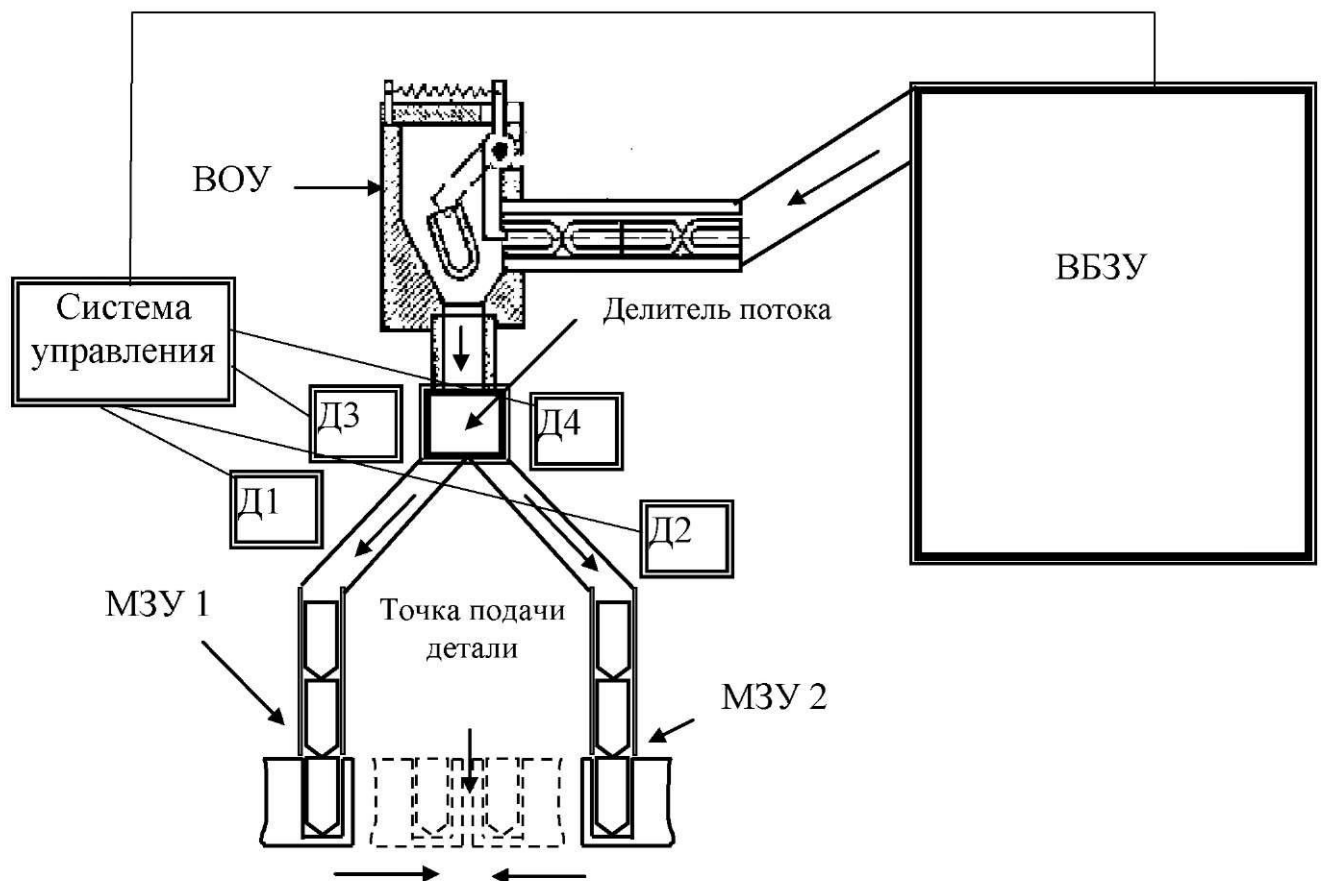


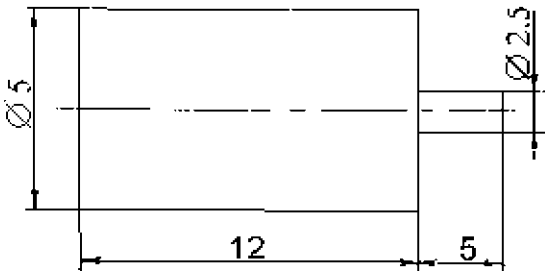
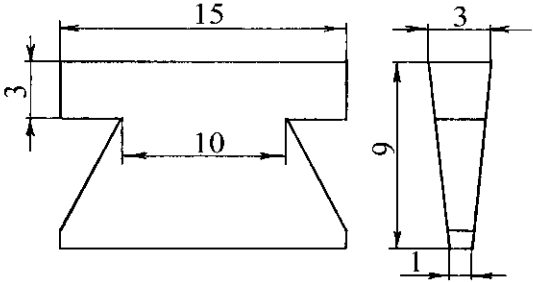
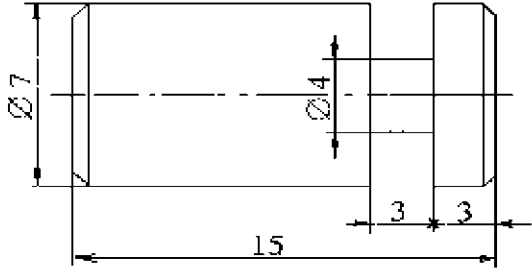
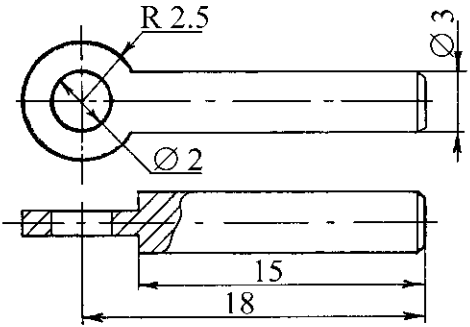
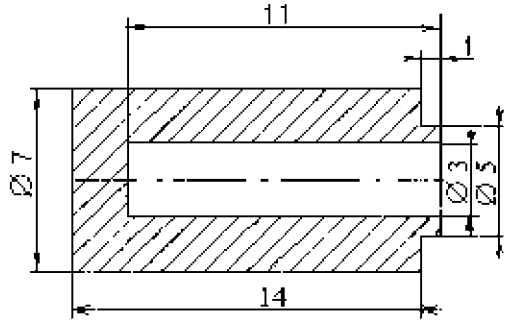
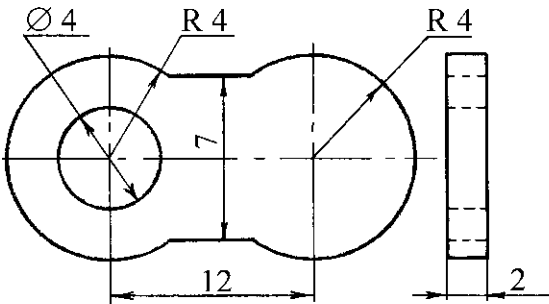
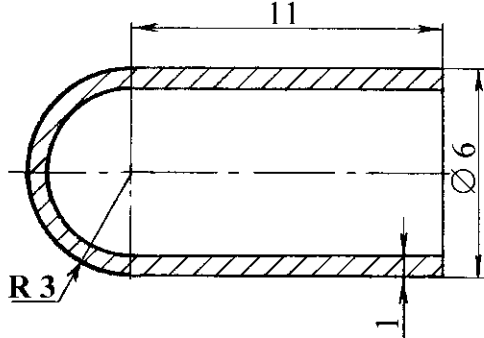
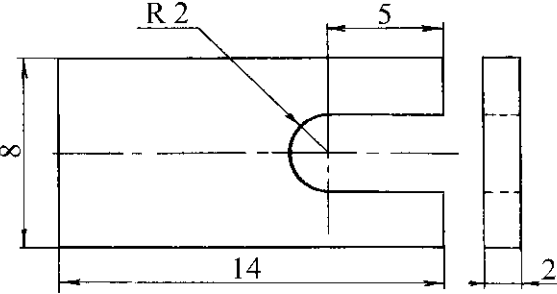
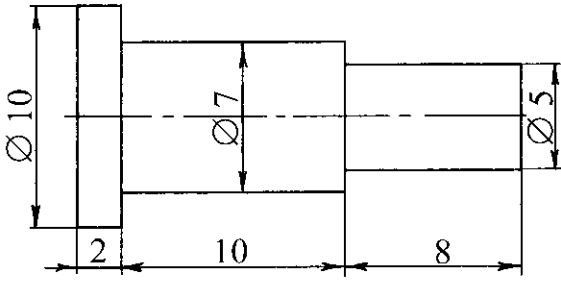
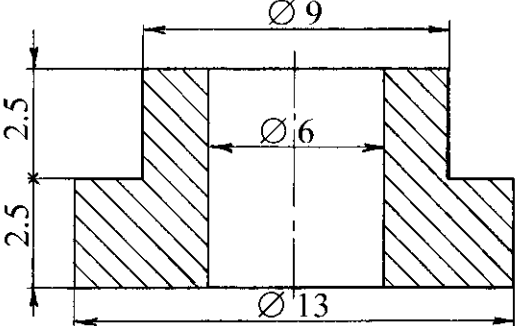
Рис. 17. Общая схема АЗУ

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1 – 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, c^{-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

Таблица П2 – Чертежи деталей к вариантам

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Продолжение табл. П2

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
11		16	
12		17	
13		18	
14		19	
15		20	

Продолжение табл. П2

№	Чертеж детали	№	Чертеж детали
21		26	
22		27	
23		28	
24		29	
25		30	

Ступень 1. Схема оценки степени подготовленности изделия для автоматизированного производства

Таблица ПЗ

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
неметалличес.	1000000	неметалличес.	2000000	неметалличес.	3000000	неметалличес.	5000000	неметалличес.	7000000	неметалличес.	9000000

Ступень 2.

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

Ступень 3.

Свойства формы не учитываются	Стержневые		Пластиначатые				Миниатюрные и микроминиатюрные		Равноразмерные	
			Тонкие		Толстые					
00000	ферромагни тн.	10000	ферромагни тн.	20000	ферромагни тн.	40000	ферромагни тн.	60000	ферромагни тн.3	80000
	неферромаг нитн.	20000	неферромаг нитн.	30000	неферромаг нитн.	50000	неферромаг нитн.	70000	неферромаг нитн.	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	1 ось вращения, 1 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 центр.		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	

Таблица П4 - 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.

Таблица П5 - 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 Пб – Схемы ориентирования деталей на вибродорожке

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

Продолжение таблицы П6

	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

Практическая работа № 3.
ПОСТРОЕНИЕ ЦИКЛОГРАММ
АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель – ознакомление студентов с правилами построения и анализа циклограмм работы автоматических обрабатывающих ячеек (АОЯ). Работа рассчитана на 2 академических часа.

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 следует 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).

4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема АОЯ приведена на рис. 1. В состав ячейки входят:

- токарный станок с ЧПУ 16K20ФЗР132;
- промышленный робот М10П.62.01;
- тактовый стол.

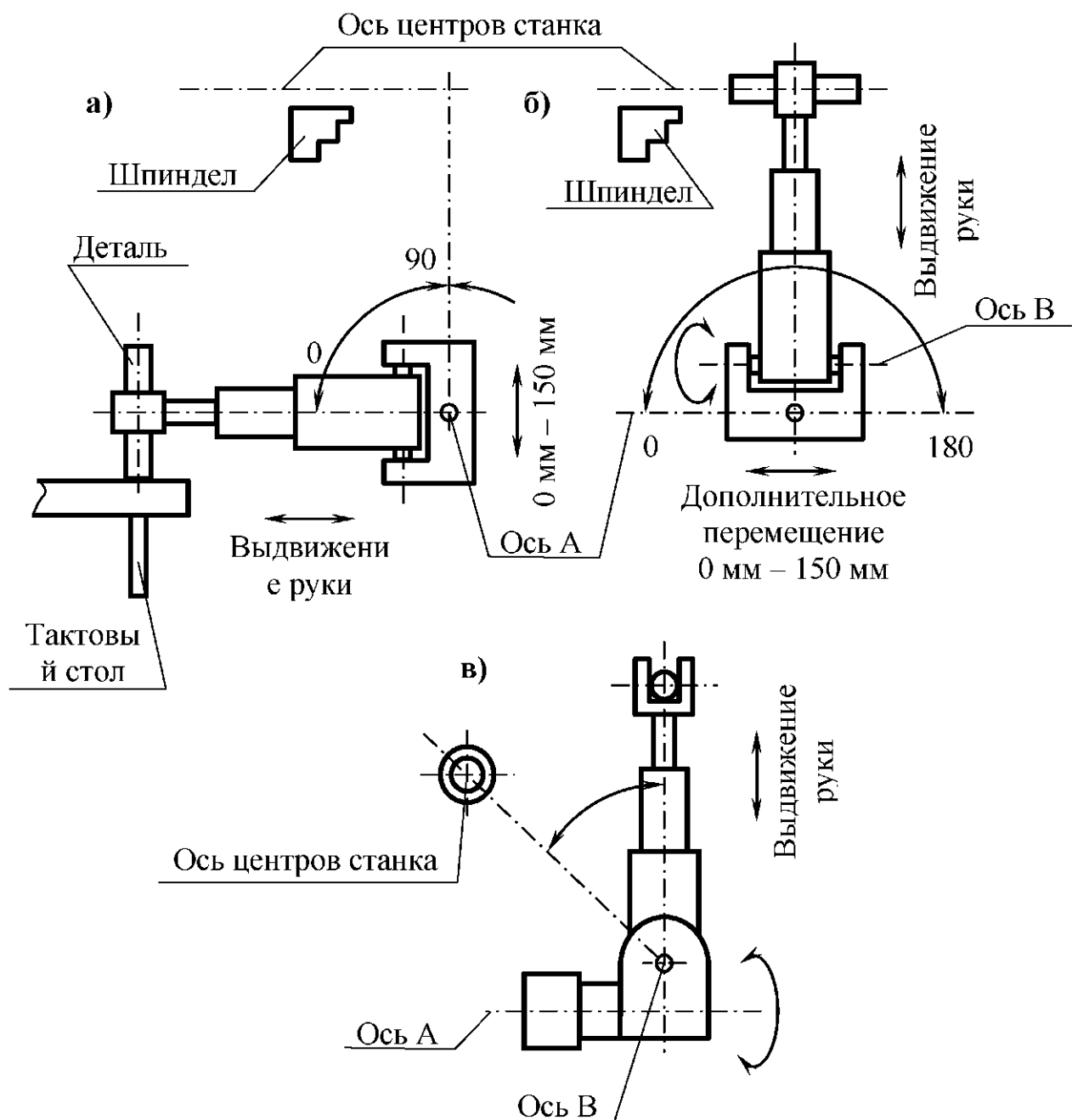


Рис. 1. Схема автоматической обрабатывающей ячейки:
а – вид спереди (захват заготовки); б – вид спереди (загрузка на станок); в – вид сбоку

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 на рис. 2.

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																

Рис. 2. Фрагмент циклограммы АОЯ

Определим исходное состояние исполнительных механизмов:

- ограждение - открыто;
- охлаждение – выключено;

- приспособление – открыто;
- шпиндель – выключен;
- механизм поворота вокруг оси А – к тактовому столу (0°);
- 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° 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° (к тактовому столу). Рука выдвигается и опускается вниз, вставляя деталь в кассету. Схват открывается и рука задвигается. Тактовый стол поворачивается на одну позицию. Цикл закончен.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Получить у преподавателя вариант задания (приложение).

4.2. Проанализировать состав ячейки, определить необходимый состав исполнительных механизмов по каждому виду оборудования и их функции.

4.3. Определить исходное положение заготовки и всех исполнительных механизмов.

4.4. Спроектировать автоматический цикл работы АОЯ.

4.5. Разработать в табличной форме циклограмму работы ячейки, стремясь максимально сократить время загрузки-разгрузки деталей.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Цель работы.

5.2. Схема АОЯ с указанием состава ячейки и степеней свободы ПР.

5.3. Исходное положение исполнительных механизмов.

5.4. Текстовое описание автоматического цикла АОЯ.

5.5. Циклограмма работы АОЯ.

5.6. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Основные задачи, решаемые при разработке циклограмм.

6.2. Поясните структуру табличной циклограммы.

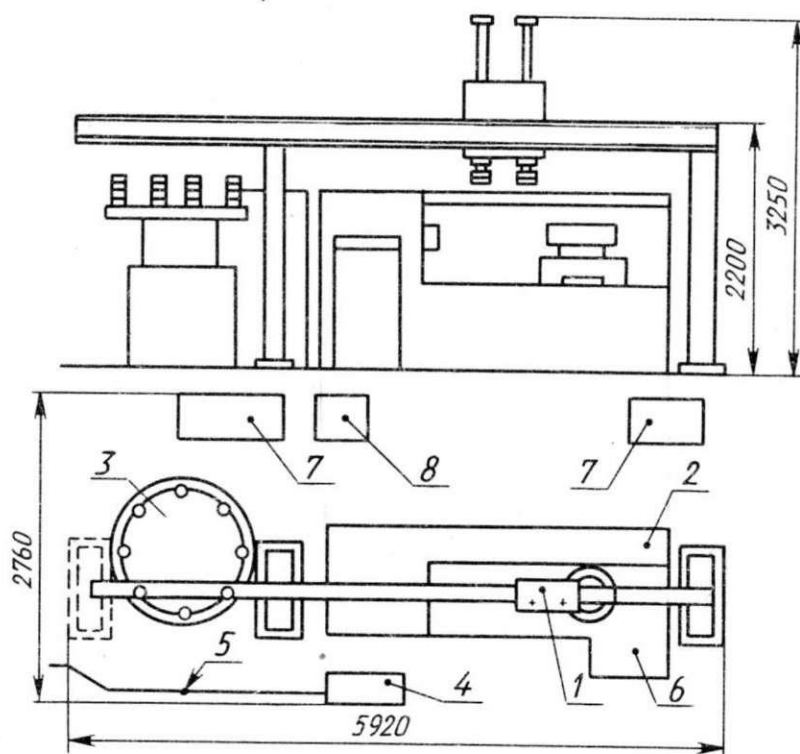
6.3. Приведите примеры случаев, когда можно объединять работу отдельных механизмов в одном такте, когда нельзя.

6.4. В чем заключается правило четности при разработке циклограмм?

ПРИЛОЖЕНИЕ

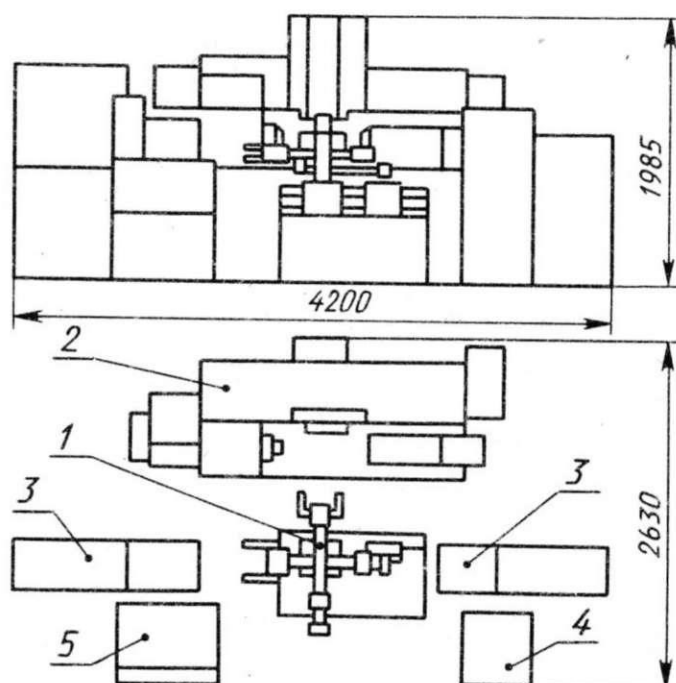
Варианты заданий

Вариант 1



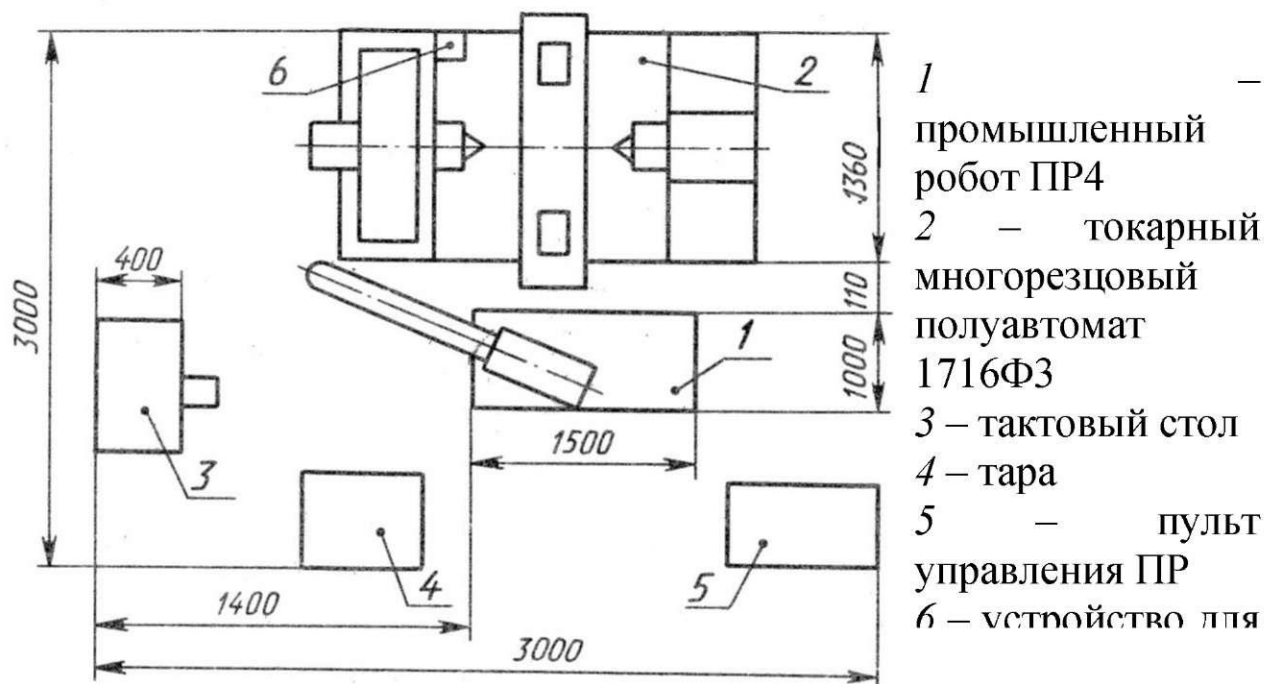
- 1 – промышленный робот М20Ц.40.01
- 2 – токарно-револьверный станок с ЧПУ 1В340Ф30
- 3 – магазин накопитель
- 4 – устройство управления ПР
- 5 – ограждение
- 6 – устройство ЧПУ станка
- 7 – электрошкаф
- 8 – гидростанция

Вариант 2

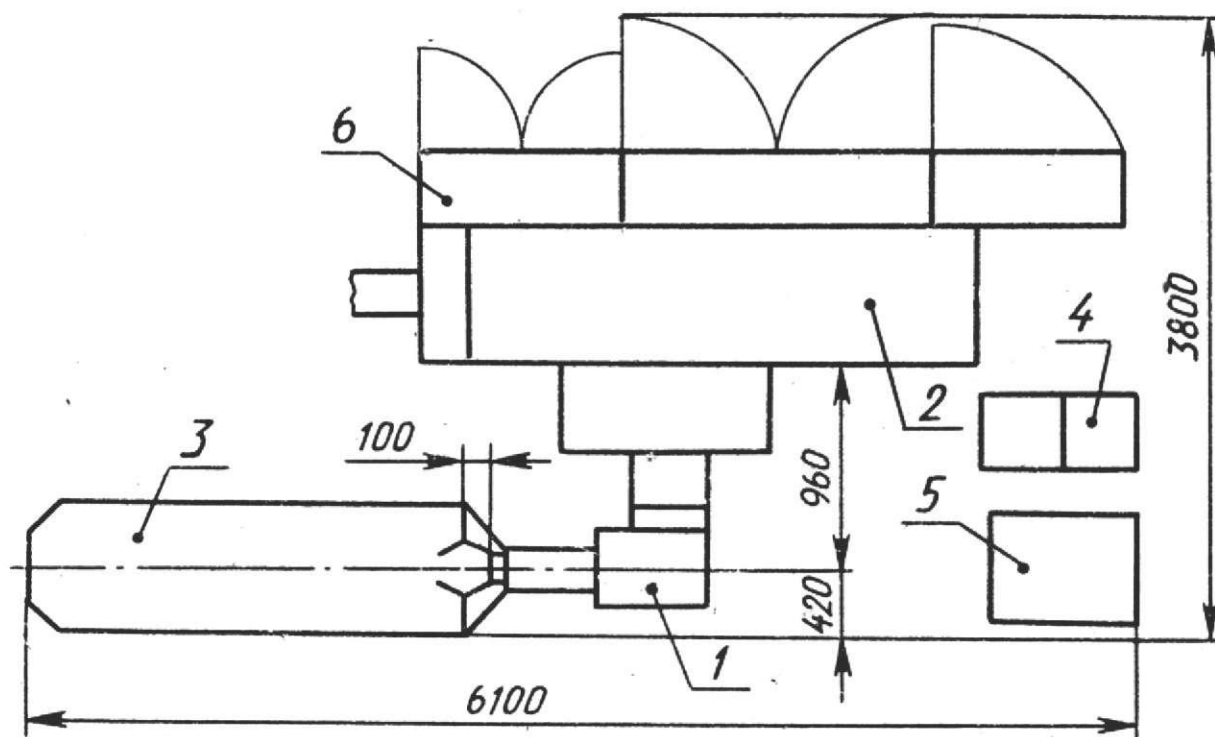


- 1 – промышленный робот 2М4Ц.20ГП-3
- 2 – токарный многорезцовый станок 1Н713
- 3 – тара (кассетного типа)
- 4 – устройство управления ПР
- 5 – гидростанция

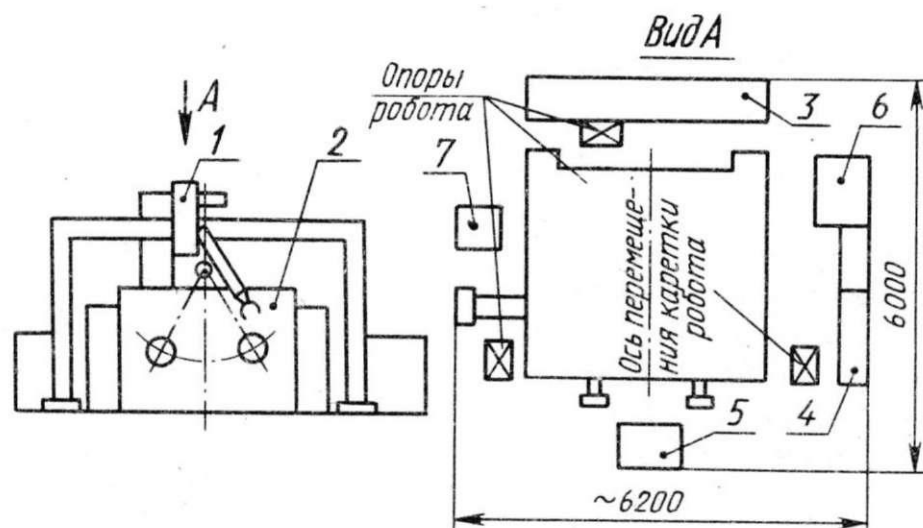
Вариант 3



Вариант 4

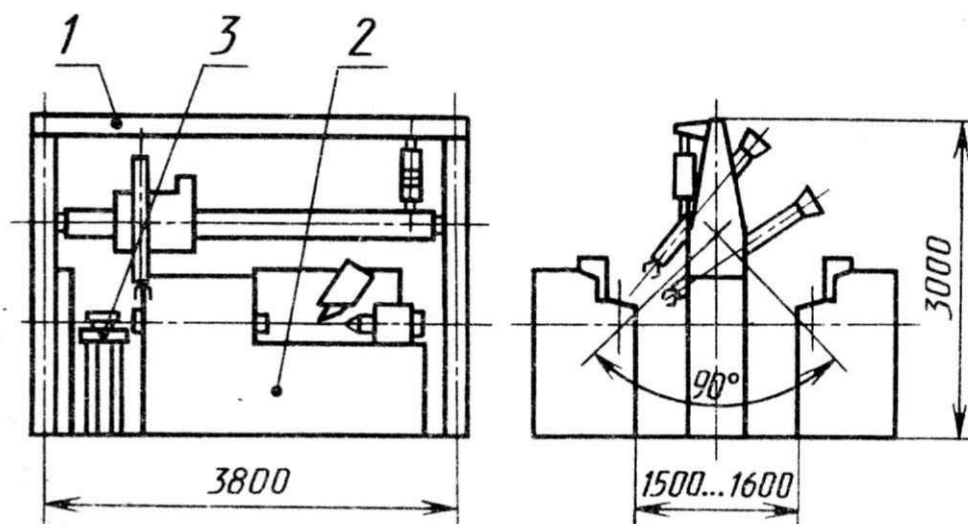


Вариант 5



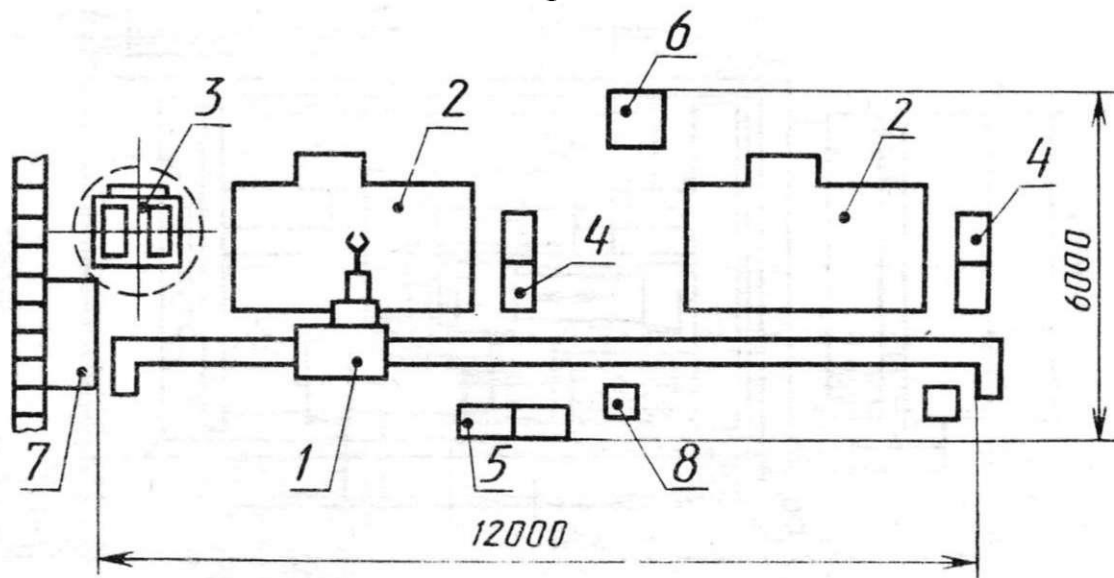
- 1 – промышленный робот М40П.05.01
- 2 – двухшпиндельный токарный станок МР – 315
- 3 – роликовый конвейер
- 4 – устройство ЧПУ ПР
- 5 – устройство переориентации детали
- 6 – электрошкаф
- 7 – гидростанция

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

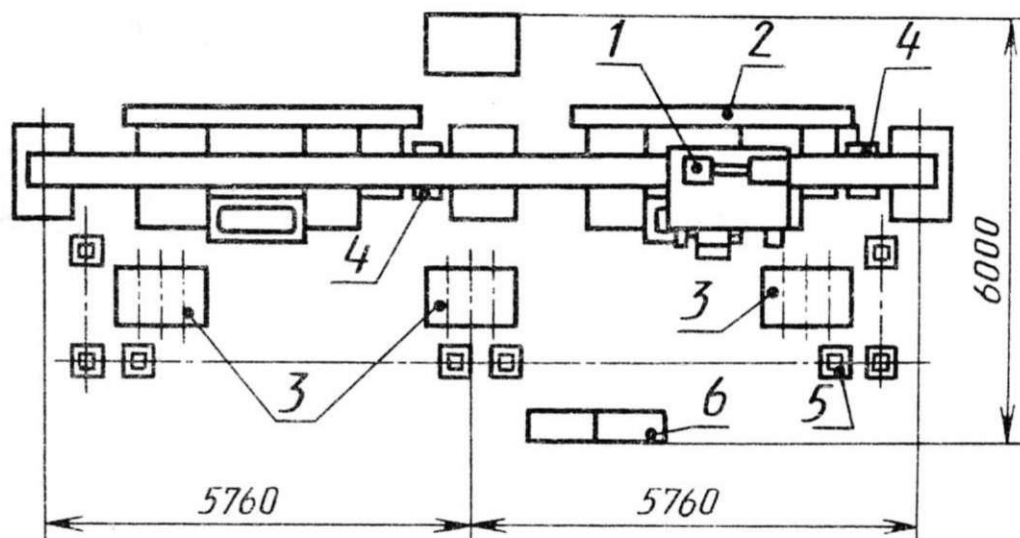
5 – Устройство ЧПУ ПР

6 – тара для стружки

7 – загрузочная позиция склада

8 – гидростанция

Вариант 8



1 – промышленный робот СН40Ф2.80.81

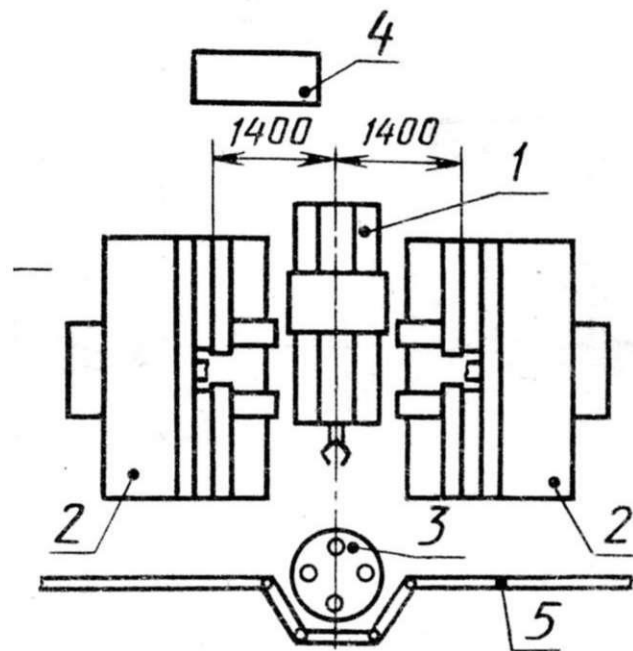
2 – токарный станок с ЧПУ 16K20Ф3

3 – накопитель

4 – промежуточная позиция

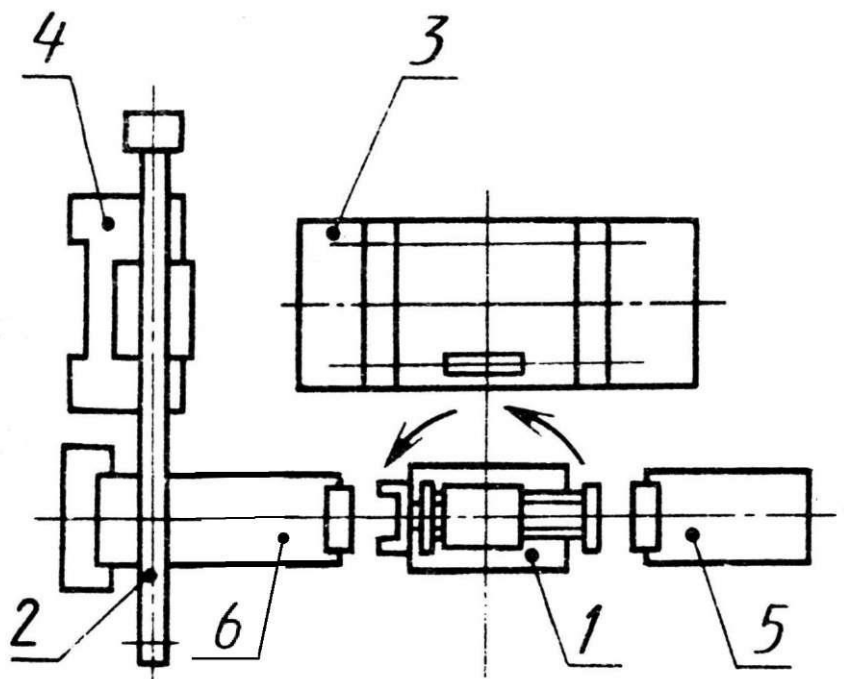
5 – ограждение с системой светозащиты

Вариант 9



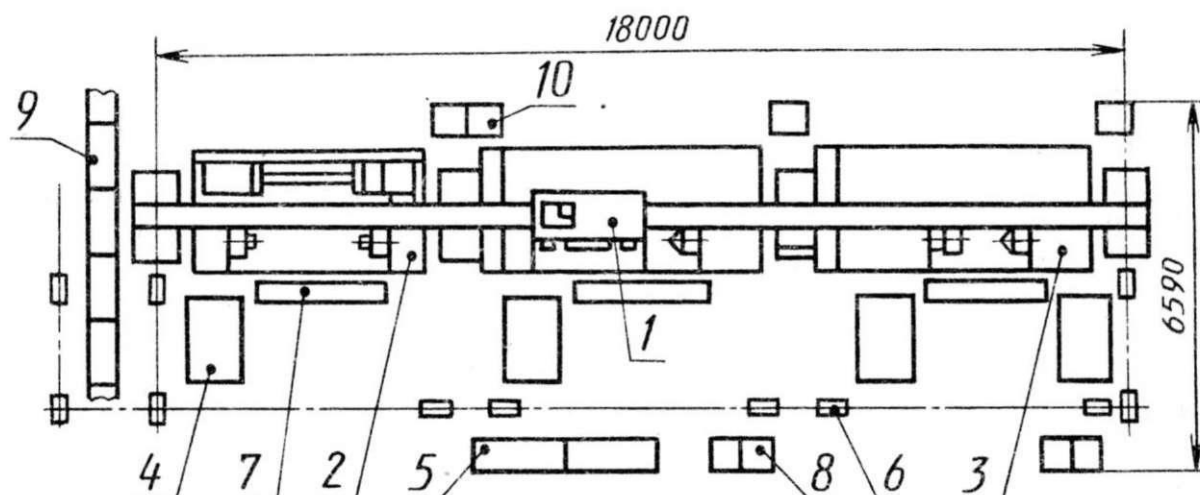
- 1 – промышленный робот УМ1
- 2 – токарный полуавтомат агрегатного типа АТ250П
- 3 – магазин периодического действия
- 4 – пульт управления
- 5 – ограждение

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

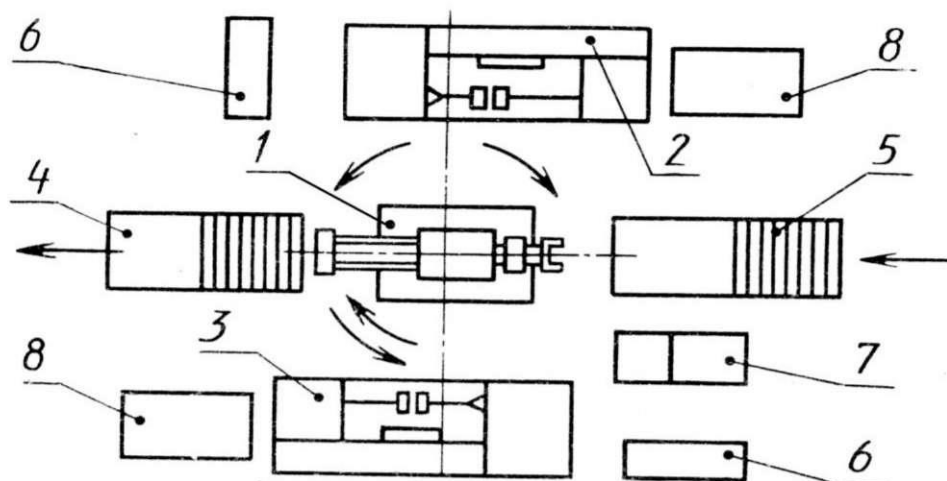
5 – устройство ЧПУ ПР

6 – система светозащиты

7 – накопитель
промежуточный

8 – устройство ЧПУ
станка

Вариант 12



1 – промышленный робот
СМ40Ц.40.11

2 – фрезерно – центровальный
станок МР71

3 – токарный станок 16К20Ф3

4 – накопитель деталей

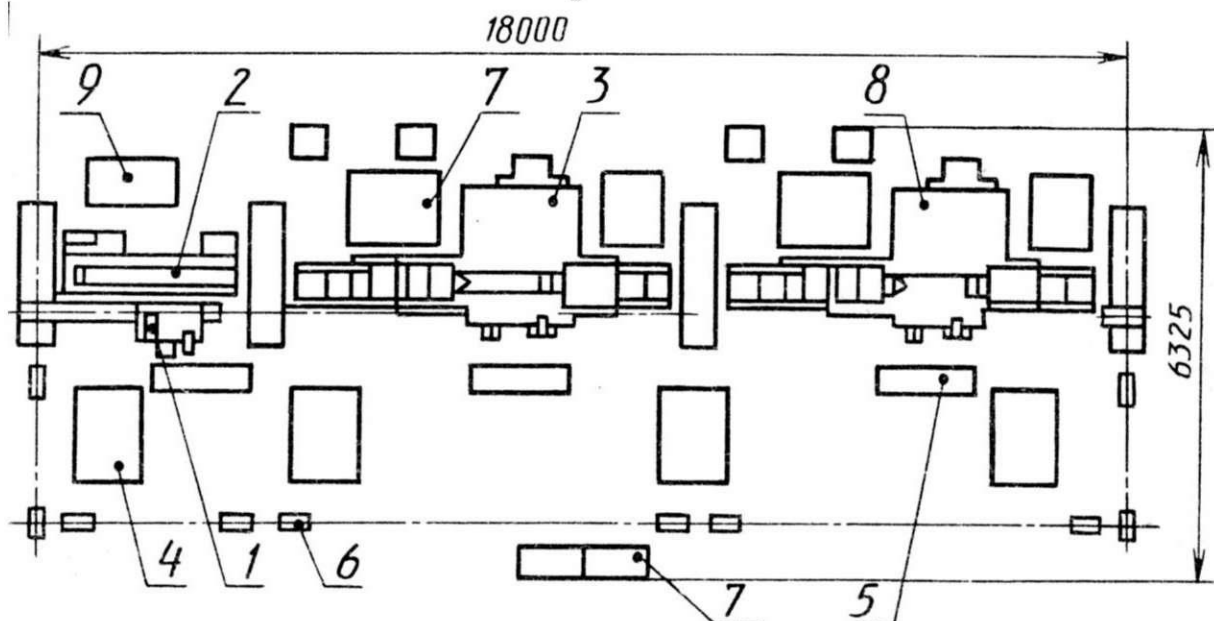
5 – накопитель заготовок
периодического действия

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

Практическая работа №4.
Баланс
производительности

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – закрепить у студентов теоретические знания о структуре затрат времени при работе автоматического оборудования с ЧПУ при различных формах организации производства, научиться определять долю полезного времени и обосновывать мероприятия по ее увеличению. Продолжительность работы – 2 часа.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Перед началом выполнения работы следует ознакомиться с главой 3 конспекта лекций [1].

Основным резервом повышения эффективности использования станков с ЧПУ является максимально рациональное и полное использование им фонда рабочего времени. Для удобства наглядного представления фондов времени и различных простоев проф. Г.А. Шаумян предложил использовать баланс производительности.

Баланс производительности — графическая схема, отражающая простои рабочей машины и их удельный вес в принятом масштабе.

Возможны 6 состояний рабочей машины:

1. Машина работает, выполняя заданный ТП (совершает рабочие ходы) – обозначим это время t_p .

2. Машина работает, выполняя вспомогательные ходы (холостые ходы) - обозначим это время t_x .

3. Машина работает, но производит брак - обозначим это время $\Sigma t_{бр}$.

4. Машина не работает из-за отказов (по собственным причинам) - обозначим это время Σt_c .

5. Машина не работает из-за отсутствия чего-либо (по организационным причинам: нет второй или третьей смены, различные перерывы, нет энергии, заготовок, оператора, наладчика

и пр.) - обозначим это время $\Sigma t_{орг}$.

6. Машина не работает, так как находится под переналадкой - обозначим это время $\Sigma t_{\text{пер}}$.

Только первое состояние считается производительным, остальные - потери.

Для учета простоев в данной работе используем способ внецикловых потерь [1, п. 3.6.1.2.], для учета возможного брака – коэффициент брака, равный

$$\lambda = 1 - \gamma,$$

где γ - коэффициент выхода годной продукции.

Для определения долей холостого и рабочего времен во времени цикла T станка с ЧПУ применим метод расчета по интегральным характеристикам номенклатуры деталей, закрепленных за станком [1, п. 3.6.3.3]. Тогда

$$T = t_{cp}S + t_{x1} + t_{x2}S + t_{x3}A,$$

где: t_{cp} – среднее время одного рабочего перехода; $tx1$ - среднее время загрузки-разгрузки станка; $tx2$ - среднее время замены координаты (отвод режущего инструмента, поворот стола при необходимости, подвод инструмента); $tx3$ - среднее время замены инструмента в шпинделе; S – среднее число переходов в операции; A – среднее число инструментов в операции.

В работе необходимо рассчитать баланс производительности станка с ЧПУ типа ОЦ для различных вариантов его использования:

- автономное использование станка в 1 смену;
- автономное использование станка в 2 смены;
- использование станка в составе ГПС в режиме «безлюдной» технологии круглогодично и круглосуточно без выходных и праздничных дней по 22 часа в сутки (2 часа в сутки – плановая профилактика и подготовка к работе).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для расчета приняты следующие исходные данные:

- число дней в году – 365;
- выходных дней – 104;
- праздничных дней – 11;
- длительность одной смены – 8 часов;

- длительность обеденного перерыва – 1 час в смену;
- остальные виды потерь и характеристика комплекта обрабатываемых деталей приведены в приложении (таблицы П1 – П4). Структура номера варианта для расчета состоит из 4 цифр (рис. 1).

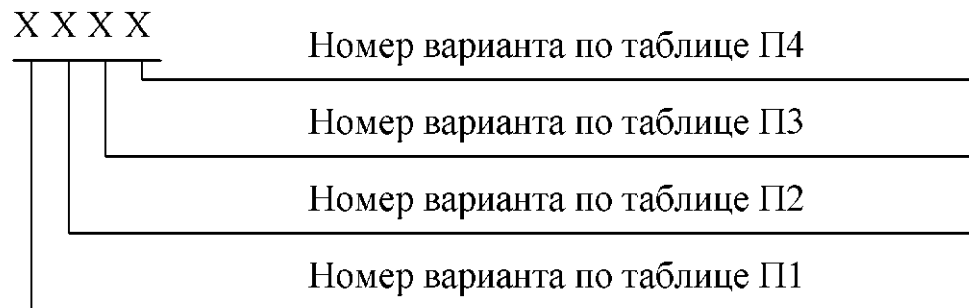


Рис. 1. Структура номера варианта для расчета

Пример выполнения расчета рассмотрен в п. 6. Общий порядок выполнения работы следующий:

6. Определите расчетные фонды времени $F_{\text{расч}}$. Для каждого из трех вариантов использования ОЦ (1 смена, 2 смены, ГПС).
7. Используя заданный вариант, выполните поэлементный расчет организационных, собственных потерь и потерь на переналадку.
8. Определите общее время работы станка по УП (вычитанием вышеприведенных потерь из расчетного фонда времени).
9. Определите и вычтите потери от брака.
10. Рассчитайте общее время цикла обработки и потери на холостой ход. Определите время полезной работы станка. Расчеты по всем элементам вести в абсолютных значениях и в процентах.
11. По результатам расчетов постройте совмещенный график балансов производительности для исследуемых организационных форм использования ОЦ. Сделайте выводы по работе.
12. Оформите отчет по работе.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Содержание отчета по лабораторной работе:

- название и цель работы;
- подробный поэлементный расчет $F_{\text{расч}}$ и потерь времени для различных организационных форм использования ОЦ;
- сводная таблица балансов производительности;
- совмещенный график производительности для работы ОЦ в 1 смену, в 2 смены, в составе ГПС. Форму графика выбрать самостоятельно для обеспечения необходимой наглядности;
- выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7. Что такое баланс производительности машины? Что он показывает?
8. Какие возможные состояния рабочей машины Вы знаете?
9. Структура потерь холостого хода для ОЦ.
10. Что включают в себя организационные потери? Приведите примеры.
11. Какие составляющие входят в «собственные потери станка»?
12. Как строится баланс производительности станка?

6. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1. Исходные данные

Вариант задания – 1111. Согласно структуре задания (рис. 1) и таблицам П1-П4 исходные данные приведены в табл.1.

6.2. Расчет баланса производительности

Расчет выполняется для трех вариантов использования ОЦ:

- автономное использование станка в 1 смену;
- автономное использование станка в 2 смены;
- использование станка в составе ГПС в режиме «безлюдной» технологии круглогодично и круглосуточно без выходных и

праздничных дней по 22 часа в сутки (2 часа в сутки – плановая профилактика и подготовка к работе).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

1. Организационные потери			2. Собственные потери		
Элементы потерь времени	Авт. ОЦ	ГПС	Элементы потерь времени	Авт. ОЦ	ГПС
- нет заготовок в цехе	5	2	- устранение отказов	1,4	0,7
- нет заготовок у станка	15	0	режущего инструмента		
- нет УП	2	0	- устранение отказов механизмов	0,2	0,1
- нет оператора	5	1	- устранение отказов систем управления	0,9	1,5
- нет режущего инструмента	4	0	- подготовка оборудования к работе	1,1	0
- нет наладчика	4	2	- уборка и очистка	1,2	0
- нет ремонтника	3	5	- профилактические осмотры	1,2	0
- нет энергии (любой)	0	0			
3. Потери на переналадку			4. Характеристика комплекта		
Элементы потерь времени	Авт. ОЦ	ГПС	Элементы времени цикла обработки	Авт. ОЦ	ГПС
- замена приспособления	3	0	Среднее время обработки 1 перехода, час	0,04	0,04
- замена комплекта инструмента	2	1		15	15
- замена УП	0,5	0	Среднее число переходов на 1 деталь, шт.	0,06	0,003
- обработка пробной детали, подналадка	7,2	7,2	Время смены заготовки, час	0,01	0,01
			Время смены координаты, час	0,03	0,03
			Время смены инструмента, час	6	6
			Среднее число инструментов на 1 деталь, шт.	95	98
			Коэффициент выхода годной продукции γ , в %		

Расчет выполнен в программной среде Excel и представлен в приложении 2. Полученный сводный баланс производительности представлен в табл.2 и на рис. 2.

Таблица 2 – Сводная таблица затрат времени, час

Сводная таблица затрат времени						
Вариант	всего	без $t_{\text{орг}}$	без t_c	без $t_{\text{пер}}$	без $t_{\text{бр}}$	без t_x
1 смена	8760	1085	980	758	720	436
2 смена	8760	2170	1960	1516	1440	873
ГПС	8760	7227	7042	6384	6256	4023

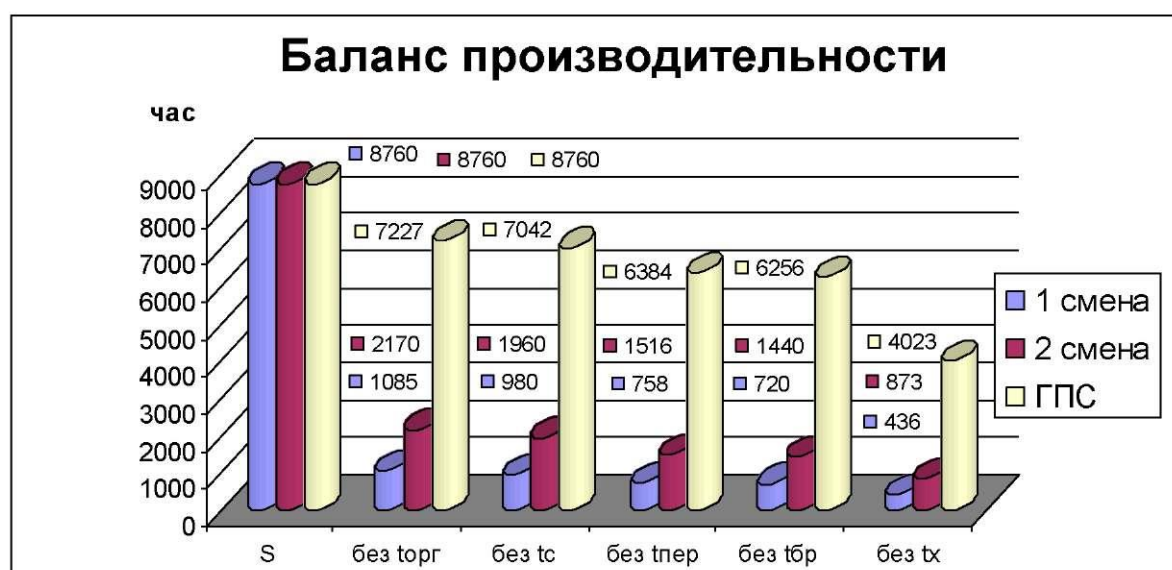


Рис. 2. Баланс производительности ОЦ при различных вариантах его использования

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Исходные данные для расчета баланса производительности по вариантам

Таблица П1 – Характеристика организационных потерь по вариантам, в % (Авт. ОЦ – автономно работающий ОЦ; ГПС – в составе ГПС)

Вариант	1		2		3		4		5	
Элементы потерь времени	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС
- нет заготовок в цехе	5 15	2 0	6 12	3 1	4 13	2 0	5 10	2 0	6 14	2 0
- нет заготовок у станка	2 5	0 1	3 6	0 2	4 4	0 1	3 7	0 3	2 4	0 2
- нет УП	4	0	3	0	5	0	4	0	5	0
- нет оператора										
- нет режущего инструмента	4 3	2 5	5 4	2 4	4 4	3 5	6 5	4 4	6 3	3 4
- нет наладчика	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
- нет ремонтника										
- нет энергии (любой)										

Таблица П2 – Характеристика собственных потерь по вариантам, в % (Авт. ОЦ – автономно работающий ОЦ; ГПС – в составе ГПС)

Вариант	1		2		3		4		5	
Элементы потерь времени	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС
- устранение отказов режущего инструмента	1,4	0,7	2	1	1,2	0,6	1,6	0,8	1,5	0,7
- устранение отказов механизмов	0,2	0,1	0,4	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1
- устранение отказов систем управления	0,9	1,5	0,8	1,2	1	1,6	1,1	1,7	1,2	1,7
- подготовка оборудования к работе	1,1	0	1,3	1	1,2	0	1,3	1	0,9	0
- уборка и очистка	1,2	0	1	0	1,3	0	1,3	0	1,1	0,5
- профилактические осмотры	1,2	0	1	0	1,2	0	1	0	1,1	0

Таблица ПЗ – Характеристика потерь на переналадку по вариантам, в % (Авт. ОЦ – автономно работающий ОЦ; ГПС – в составе ГПС)

Вариант	1		2		3		4		5	
Элементы потерь времени	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС	Авт. ОЦ	ГПС
- замена приспособления	3	0	2,5	0,5	3,3	0,6	3,5	0,6	2,8	0,4
- замена комплекта инструмента	2	1	1,8	0,9	2,2	1	2,5	1,1	1,9	1
- замена УП	0,5	0	0,4	0	0,5	0	0,3	0	0,4	0
- обработка пробной детали, подналадка	7,2	7,2	8	8	6,9	6,9	5,8	5,8	6	6

Таблица П4 – Характеристика обрабатываемого комплекта деталей по вариантам (значения в скобках – для ГПС)

Элементы времени цикла обработки	1	2	3	4	5
Среднее время обработки 1 перехода, час	0,04 (0,04)	0,05 (0,05)	0,06 (0,06)	0,045 (0,045)	0,055 (0,055)
Среднее число переходов на 1 деталь, шт.	15 (15)	17 (17)	14 (14)	16 (16)	11 (11)
Время смены заготовки, час	0,06 (0,003)	0,05 (0,002)	0,055 (0,003)	0,08 (0,004)	0,07 (0,003)
Время смены координаты, час	0,01 (0,01)	0,015 (0,015)	0,012 (0,012)	0,011 (0,011)	0,014 (0,014)
Время смены инструмента, час	0,03 (0,03)	0,025 (0,025)	0,027 (0,027)	0,024 (0,024)	0,031 (0,031)
Среднее число инструментов на 1 деталь, шт.	6 (6)	5 (5)	7 (7)	4 (4)	8 (8)
Коэффициент выхода годной продукции γ, в %	95(98)	96(99)	94(97)	93(96)	95(98)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

**Баланс производительности
при различных формах организации производства**

Всего дней в году

365

Из

праздничны

рабоч

них:

выходных

104

х

11

их

250

часы

часы

часы

ВАРИАНТ РАСЧЕТА:	1 смен а	2 смен ы	ГПС		
Годовой фонд времени (общий) Гобщ	8760	8760			8760
Организационные потери первого рода:					
нет 2 смены	2000				
нет 3 смены	2000	2000			
выходные дни	2496	2496			
праздники	264	264			
обеденный перерыв (1 час в смену)	250	500			
плановая профилактика (2 ч. в день)					730
Итого: расчетный фонд времени Грасч.	1750	3500			8030
	% от с. 15	% от с. 15	% от с. 15		
Расчет потерь времени					
Организационные потери времени 2 рода:					
нет заготовок в цехе	5,00% 88	5,00% 175	2,00% 161		
нет заготовок у станка	15,00% 263	15,00% 525	0,00% 0		
нет УП	2,00% 35	2,00% 70	0,00% 0		
нет оператора	5,00% 88	5,00% 175	1,00% 80		
нет наладчика	4,00% 70	4,00% 140	2,00% 161		
нет инструмента	4,00% 70	4,00% 140	0,00% 0		
нет ремонтника	3,00% 53	3,00% 105	5,00% 402		
нет энергии	0,00% 0	0,00% 0	0,00% 0		
Итого организационные потери 2 рода	38,00% 665	38,00% 1330	10,00% 803		
Суммарные организационные потери	87,61% 7675	75,23% 6590	17,50% 1533		
Собственные потери:					
устр. отказов РИ	1,40% 25	1,40% 49	0,70% 56		
устр. отказов механизмов	0,20% 4	0,20% 7	0,10% 8		

устр.отказов систем управления	0,90%	16	0,90%	32	1,50%	120
подготовка оборудования к работе	1,10%	19	1,10%	39	0,00%	0
уборка и очистка	1,20%	21	1,20%	42	0,00%	0
профилактические осмотры	1,20%	21	1,20%	42	0,00%	0
Итого собственные потери	6,00%	105	6,00%	210	2,30%	185
Потери на переналадку:						
замена приспособлений	3,00%	53	3,00%	105	0,00%	0
замена комплекта РИ	2,00%	35	2,00%	70	1,00%	80
замена УП	0,50%	9	0,50%	18	0,00%	0
кинематическая настройка	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
пробная деталь, подналадка	7,20%	126	7,20%	252	7,20%	578
Итого потери на переналадку	12,70%	222	12,70%	445	8,20%	658
Итого время работы по программе	8,65%	758	17,30%	1516	72,88%	6384
Потери от брака (доля брака)	5,00%	38	5,00%	76	2,00%	128
Окончательно время работы по программе	8,22%	720	16,44%	1440	71,42%	6256
Среднее время обработки		0,04		0,04		0,04
Среднее число переходов		15		15		15
Среднее число инструментов		6		6		6
время смены заготовки		0,060		0,060		0,003
время смены координаты		0,010		0,010		0,010
Время смены инструмента		0,030		0,030		0,030
Общее время цикла обработки детали		0,990		0,990		0,933
Потери на холостой ход	39,39%	284	39,39%	567	35,69%	2233
Основное время работы станка	4,98%	436	9,96%	873	45,93%	4023

Практическая работа №5 Расчет производительности станка 16К20МФЗ 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить производительные возможности роботизированного токарного комплекса (РТК) на базе станка 16К20ФЗС32 и робота М10П.62.01, научиться рассчитывать цикловую, собственную и фактическую производительность автоматизированного оборудования на примере РТК модели 16К20ФЗР132, строить баланс производительности.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В общем смысле под производительностью понимается отношение количества выпущенной продукции к затратам (временным, материальным), необходимым для ее выпуска. В машиностроении наиболее характерна продукция, измеряемая штуками годных изделий (обработанных, собранных, проконтролированных). Как правило, станки с ЧПУ за рабочий цикл выдают единицу продукции, поэтому при расчете производительности удобно учитывать затраты времени на ее изготовление. При известном методе обработки (а, следовательно, и режимах обработки), известна длительность рабочих ходов (t_p). Под рабочими ходами понимаются движения исполнительных органов станка, во время которых происходит непосредственно обработка, то есть изменение свойств, размеров или формы поверхностей детали.

Тогда формула для расчета производительности:

$$Q_T = \frac{I}{t_p} \quad (1)$$

Такая производительность называется **технологической**, так как показывает потенциальные возможности метода обработки.

Для большинства автоматизированных станков характерен прерывистый технологический процесс, так как необходимы

вспомогательные (холостые) движения, например, для снятия и установки заготовки, подвода и отвода инструмента, автоматической смены инструмента или положения детали. Тогда время рабочего цикла станка-автомата

$$T = t_p + t_x, \quad (2)$$

где t_x – длительность непрекрываемых холостых ходов, мин.

С учетом формулы (2) мы получаем производительность, которая называется **цикловой**:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{I}{t_p + t_x} \quad (3)$$

Цикловая производительность уже характеризует потенциальные возможности конкретной конструкции оборудования при условии его бесперебойной работы.

С точки зрения теории производительности любое время, в течение которого непосредственно не производится обработка, сборка, контроль и т.д., является потерянным временем.

Все виды потерь, присущие автоматизированному оборудованию, можно разделить на цикловые и внецикловые потери.

Цикловые потери: подача материала, транспортировка объекта обработки в зону обработки, фиксация, зажим и разжим заготовки, подвод и отвод рабочих органов, переключение отдельных механизмов и т.д., то есть все холостые ходы рабочего цикла.

Внецикловые потери, в свою очередь, делятся на собственные, организационные и потери на переналадку.

Собственные потери обусловлены техническими ками самого оборудования (затраты времени на смену и регулирование инструмента, обнаружение и устранение отказов в работе, уборку и очистку, ремонт и профилактику и др.). Они непосредственно связаны с технологическими процессами и конструкциями машин и механизмов.

Организационные потери обуславливаются внешними факторами, которые, как правило, не связаны с технологией и конструкцией машин (отсутствие обрабатываемых заготовок,

инструмента, электроэнергии, несвоевременный приход обслуживающего персонала и др.).

Потери на переналадку (переналадка оборудования в связи с переходом изготовления другого вида изделия, замена технологической оснастки, кинематическая настройка оборудования, смена кулачков, программы, приспособлений, инструментов и др.) занимают промежуточное положение между предыдущими видами потерь, так как частота их определяется организационными факторами, а длительность - техническими.

Существует два способа учета простоев и брака.

1. С учетом коэффициента использования. Введем понятие коэффициента использования:

$$\eta_{ис} = \frac{\Theta_p}{\Theta} = \frac{I}{I + \sum (\Theta_n / \Theta_p)}, \quad (4)$$

где Θ_p - суммарное время работы оборудования за время Θ , Θ_n - суммарное время простоев за тот же период Θ .

Тогда фактическая производительность:

$$Q_{ф} = \eta_{ис} Q_{ц} \quad (5)$$

Чтобы дифференцировать потери по видам, общий коэффициент использования можно представить как произведение частных коэффициентов:

$$\eta_{ис} = \eta_{техн} \eta_{загр} \eta_{пер}, \quad (6)$$

где $\eta_{техн}$ - коэффициент технического использования, который численно показывает долю планового фонда времени, в течение которого оборудование находится в работоспособном состоянии; $\eta_{пер}$ - коэффициент переналадок, показывающий долю планового фонда времени, когда оборудование не находится в режиме переналадки; $\eta_{загр}$ - коэффициент загрузки, определяющий долю планового фонда времени, когда оборудование обеспечено всем необходимым.

Безразмерные коэффициенты не всегда удобны для углубленного анализа производительности и на практике чаще используют второй способ.

2. С учетом внецикловых потерь. Введем следующие понятия: внецикловые потери как простои, приходящиеся на единицу времени бесперебойной работы - ΣB ; внецикловые потери как простои, приходящиеся на единицу продукции - Σt , то есть:

$$\Sigma B = \frac{\Sigma \Theta_n}{\Theta_p}; \Sigma t = \frac{\Sigma \Theta_n}{z}, \quad (7)$$

где z - количество продукции, выпущенное за время Θ .

Эти формы учета внецикловых потерь связаны между собой формулой

$$\Sigma t = \Sigma B \cdot T, \quad (8)$$

что позволяет легко переходить от одной формы к другой.

Форма ΣB более удобна, если у сравниваемых станков примерно одинакова длительность цикла, то есть $T_1 \approx T_2$, иначе удобнее форма Σt .

Тогда формула для расчета **фактической** производительности примет следующий вид:

$$Q_{\phi} = \frac{\Theta \cdot \gamma}{t_p + t_x + \Sigma t_c + \Sigma t_{орг} + \Sigma t_{неп}}, \quad (9)$$

где Q_{ϕ} - фактическая производительность РТК, шт/смену; Θ - плановый фонд времени работы за смену, мин, ($\Theta = 480$ мин за 8 часов рабочей смены); γ - коэффициент выхода годной продукции, численно равной доле годной продукции, принятой ОТК

($\gamma = 0,9973$ для нормального закона распределения погрешностей обработки при проценте брака - 0,27%); Σt_c - собственные внецикловые потери: по оборудованию, инструменту (аварийная замена и регулирование) и техническому обслуживанию, мин/шт; $\Sigma t_{орг}$ - внецикловые организационные потери, которые не связаны с технологией и конструкцией машин, мин/шт; $\Sigma t_{неп}$ - среднее время переналадки оборудования, мин/шт.

Так как такие составляющие, как $\Sigma t_{орг}$ и $\Sigma t_{неп}$ учитывают конкретные организационные условия предприятия, то для

характеристики собственно производительности станка использует понятие «**собственная производительность**», которую определяют по следующей формуле:

$$Q_{cob} = \frac{\Theta}{t_p + t_x + \sum t_c}. \quad (10)$$

В теории производительности машин используется наглядная схема, отражающая простои рабочей машины и их удельный вес, называемая **балансом производительности**.

Типовой баланс производительности автоматической машины представлен на рис. 1.

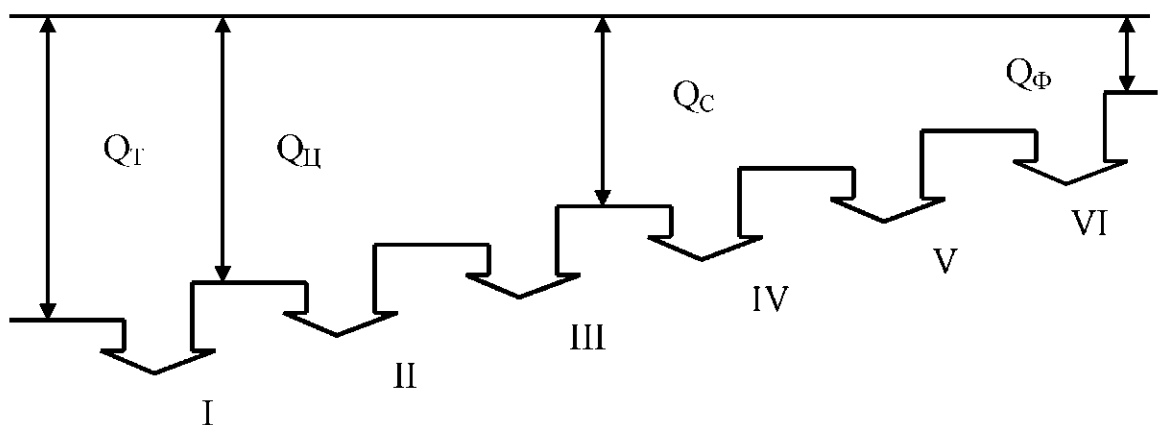


Рис. 1. Баланс производительности станка:

I - цикловые потери (на холостые хода); II - отказы режущего инструмента; III - отказы механизмов машин; IV - организационные простои; V - потери от брака; VI - потери на переналадку

Формула (9) для расчета фактической производительности является общей, но она не учитывает особенности, присущие конкретным группам автоматического оборудования. Для расчета фактической производительности станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, гибких производственных модулей воспользуемся следующей формулой [1]:

$$Q_{\phi} = \frac{480 \cdot \eta_{\text{загр}} \cdot \gamma}{t_p + t_{x1} + t_{x2} + t_{x3} \cdot A + \sum t_c + \sum t_{\text{пер}}} \quad (11)$$

где t_{x1} - среднее время загрузки-разгрузки станка; t_{x2} - среднее время замены координаты; t_{x3} - среднее время смены инструмента; A - среднее число режущих инструментов, необходимых для обработки одной детали.

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для заданного варианта задания (прил. 1, табл. П1, рис. П1) необходимо рассчитать все виды производительности и построить баланс производительности. Заготовка – резаный сортовой прокат $\varnothing D$, обработке подлежат только торцовая и цилиндрическая (поверхность $\varnothing d$) поверхности.

3.1. По типовым схемам (прил. 1) обработки детали установить вид обработки и число рабочих ходов по каждой элементарной поверхности. Далее определить глубину резания t , выбрать величину оборотной подачи $S_{\text{мм/об}}$ и рассчитать скорости резания v . Рассчитать частоту вращения шпинделя n и определить значение минутной подачи $S_{\text{мм/мин}}$. При расчете времени холостых ходов t_{x2} принять скорость быстрых перемещений в продольном направлении равной 7500 мм/мин, а в поперечном направлении – 5000 мм/мин. Размер М (расстояние от вершины инструмента до поверхности Заготовки по координате X) рекомендуется принимать не менее 50 мм, а размер N (расстояние от вершины инструмента до поверхности заготовки по координате Z) – не менее 10 мм (прил. 1, рис. П2, П3). Заполнить расчетные таблицы (табл. П2, П3) и суммированием определить значения времени рабочих ходов t_p и холостых ходов на замену координаты - t_{x2} .

3.2. Определение времени на загрузку-разгрузку токарного станка t_{x1} производится путем составления циклограммы работы комплекса. Циклограмма работы составляется на основе табл. П7 прил. 2. Необходимые данные о времени срабатывания механизма приведены в табл. П5, П6. Скорость перемещения схвата робота определяется по табл. П8. Время перемещения

детали по каждой из осей следует определять в отдельности и принимать наибольшее.

При разработке циклограммы необходимо записать все элементы движений робота, из которых складывается рабочее движение. Оси координат робота и данные о пределах его перемещений приведены в прил. 2 рис. П4.

3.3. Определение времени на смену инструмента в рабочей позиции t_{xz} производится по [3, стр. 605]. Число используемых режущих инструментов – 2.

3.4. Собственные внецикловые потери Σt_c складываются из простоев станка и системы ЧПУ [3, стр. 629]:

- Σt_c станка = $(0,05 \dots 0,07) \cdot (0,4 \dots 0,5) = 0,025$, т. е. 2,5% от времени бесперебойной работы станка или 2,5 часа на 100 часов работы,

- Σt_c ЧПУ = $(5 \dots 7)$ часов на 100 часов работы, т. е. например $\Sigma t_c = 6 + 2,5 = 8,5$ часов на 100 часов работы.

Тогда на одну деталь:

$$\Sigma t_c = \frac{8,5 \cdot T}{60 \cdot 100}, \text{ мин}$$

где T – время цикла обработки детали.

3.5. Коэффициент загрузки $\eta_{загр}$ принять по рекомендациям [3, стр. 630]. Коэффициент выхода годной продукции принять по согласованию с преподавателем из диапазона $0,92 < \gamma \leq 0,99$.

3.6. Потери на переналадку $\Sigma t_{пер}$ определяется:

$$\Sigma t_{пер} = \frac{T_{n-3}}{Z}$$

где Z - размер партии запуска, например, 100 штук; T_{n-3} – подготовительно-заключительное время, мин.

Подготовительно-заключительное время имеет следующую структуру [3, стр. 604]:

$$T_{n-3} = T_{n-31} + T_{n-32} + T_{n-33} ,$$

где T_{n-31} - постоянная составляющая, определяется по рекомендациям Оргстанкинпрома, $T_{n-31} = 12$ мин для всех станков

с ЧПУ; T_{n-32} - затраты времени на дополнительные работы [3, стр. 610]; T_{n-33} - время на обработку пробной детали [3, стр. 611].

3.7. Используя формулы (1, 3, 10, 11) рассчитать все виды производительности и построить графически в выбранном масштабе баланс производительности. Сделать выводы о влиянии потерь на производительность комплекса.

3.8. Оформить отчет по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под производительностью оборудования?
2. Как определить цикловую производительность оборудования?
3. Какие виды внецикловых потерь присущи автоматизированному оборудованию?
4. Охарактеризуйте методы определения фактической производительности.
5. Объясните модель производительности обрабатывающего центра.
6. Как построить баланс производительности?

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Операционный эскиз детали-представителя.
2. Схемы обработки детали-представителя.
3. Режимы обработки: t , мм; $S_{\text{мм/мин}}$; v , м/мин; n , об/мин.
4. Таблицы расчета t_p и t_{x2} (табл. П2 и табл. П3 прил. I).
5. Циклограмма загрузки РТК и расчет t_{x1} .
6. Расчет составляющей t_{x3} .
7. Расчет значений Σt_c , $\Sigma t_{\text{пер}}$ и других составляющих.
8. Результаты расчета всех видов производительности.
9. Баланс производительности в масштабе.
10. Выводы о работе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

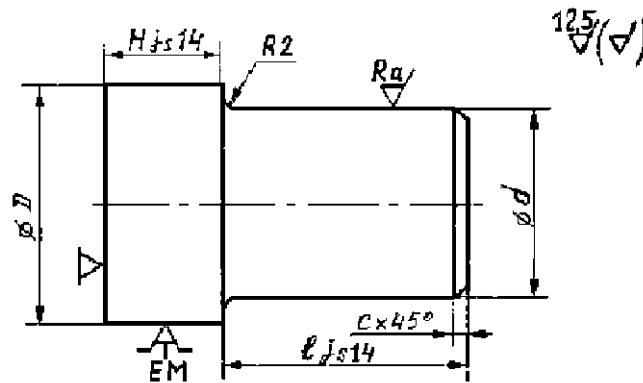


Рис. П1. Эскиз детали – представителя

Таблица П1. Варианты типоразмеров детали - представителя

Вариант	d , мм	D , мм	l , мм	H , мм	c , мм	Ra , мм
1	30h8	60	73	20	1,5	0,8
2	35h8	63	75	20	1,5	0,8
3	40h10	65	73	25	1,5	3,2
4	45h10	67	73	25	1,5	1,6
5	50h12	70	70	25	1,5	1,6
6	55h12	73	70	25	2,0	3,2
7	60h14	75	67	30	2,0	0,8
8	65h8	78	67	30	2,0	0,8
9	70h8	80	65	30	2,0	1,6
10	74h10	83	65	30	2,0	3,2
11	78h10	85	63	35	2,5	1,6
12	82h12	87	63	35	2,5	0,8
13	85h14	90	60	35	2,5	3,2

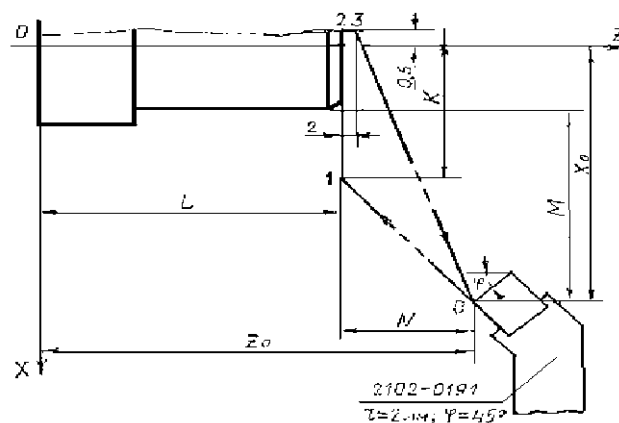


Рис. П2. Типовая схема обработки торцовых поверхностей детали – представителя

Последовательность перемещений инструмента: 0 – 1 – 2 – 3 – 0

Расчет времени t_p и t_{x2}

Точка траектории	Координаты, мм		Подача $S_{\text{мм/мин}}$	Путь, мм	t_p	t_{x2}
	X	Z				
0						
1						
2						
3						
0						

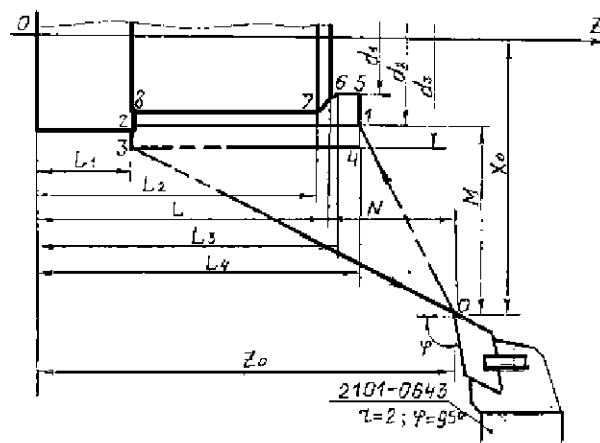


Рис. П3. Типовая схема обработки наружных цилиндрических поверхностей детали – представителя

Последовательность перемещений инструмента:

0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 3 – 0

Таблица ПЗ

Расчет времени t_p и t_{x2}

Точка траектории	Координаты, мм		Подача $S_{\text{мм/мин}}$	Путь, мм	t_p	t_{x2}
	X	Z				
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
3						
0						

ПРИЛОЖЕНИЕ 2**Технические характеристики РТК на базе станка с ЧПУ
модели 16K20Ф3С32 и ПР модели М10П.62.01**

Таблица П4

Технические характеристики станка

Параметры	Величина
Диаметр устанавливаемых изделий, мм	20 – 150
Наибольшая длина изделия, мм:	
- вала	500
- фланца	150
Число инструментов	6
Частота вращения шпинделя, об/мин	22,4 – 2240
Подача суппорта, мм/об:	
- поперечная	0,01 – 2,8
- продольная	0,005 – 1,4
Число ступеней подач	бесступенчатое
Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин:	
- поперечная	5000
- продольная	7500
Дискретность системы управления при задании размеров, мм:	
- продольных	0,001
- поперечных	0,001

Таблица П5

Время на выполнение некоторых действий механизмов станка

Наименование действия	Время, с
Зажим (разжим) трехкулачкового патрона	5
Включение охлаждения	3
Открывание и закрывание ограждения	10

Таблица П6

Технические характеристики промышленного робота

Параметры	Величина
1. Номинальная грузоподъемность, кг, при установке:	
- одного захватного устройства	10
- двойного захватного устройства	2x5
2. Диапазон размеров загружаемых деталей, мм:	20 – 150
- по наружному диаметру	38 – 108
- по внутреннему диаметру	6
3. Число степеней подвижности	1
4. Число:	1
- рук	1 - 2
- захватных устройств на руку	электропневм
5. Привод	ат.
6. Система управления	позиционная
7. Погрешность позиционирования, мм	±0,5
8. Линейные перемещения и скорость перемещения по координатным осям:	150
- ось X, мм	0,006 – 0,5
- скорость перемещения, м/с	150
- ось Z, мм	0,006 – 0,5
- скорость перемещения, м/с	
9. Максимальные угловые перемещения, град:	90
- угол поворота В	180
- угол поворота А	2 - 120
10. Скорость поворота робота, град/с	
11. Время схватывания (или отпускания)	2
заготовки при полном ходе, с	6
12. Число программируемых координат	630
13. Наибольший вылет руки, мм	500
14. Усилие захватывания, Н	

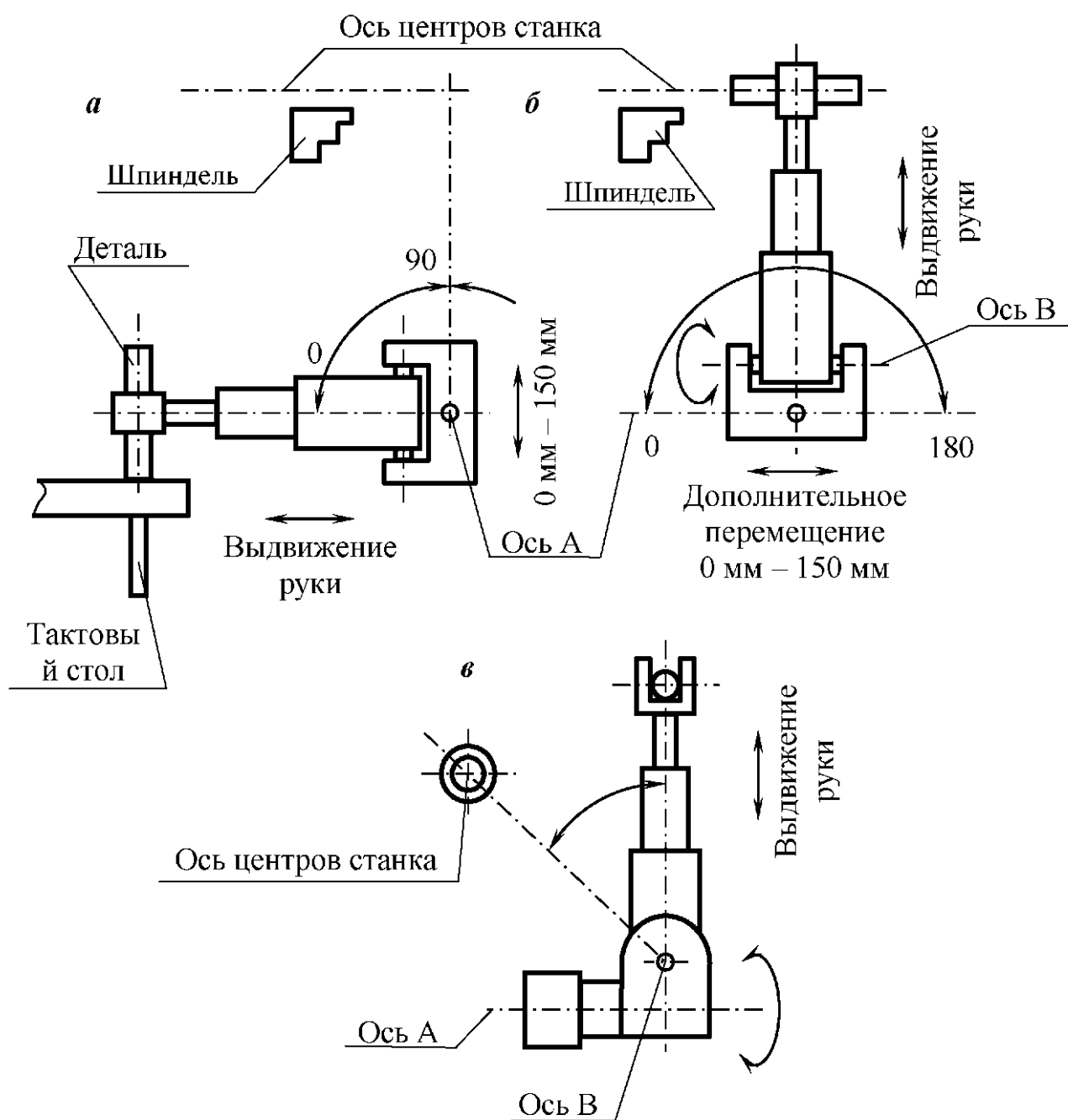


Рис. П4. Схема автоматической обрабатывающей ячейки:
a – вид спереди (захват заготовки); *б* – вид спереди
 (загрузка на станок); *в* – вид сбоку

Таблица П7

Взаимодействие робота со станком при обработке детали типа фланец

Функции робота		Функции станка, оснастки и дополнительных устройств	
Команды	Действия	Ответные сигналы	Действия
		Окончание цикла обработки	
Команда на отвод ограждения			Отвод ограждения
		Ограждение отведено	
Команда на перемещение руки и зажим детали	Перемещение руки, зажим детали схватом		
Команда на раскрепление детали			Разжим патрона
		Патрон разжат	
Команда на перемещение детали и разжим схвата	Перемещение руки и разжим схвата		
Команда на перемещение палеты тактового стола			Перемещение палеты тактового стола
		Палета перемещена	
Команда на захват и перемещение детали к патрону	Захват детали и перемещение ее к патрону		
Команда на установку детали	Перемещение детали в патрон		
Команда на зажим патрона			Зажим патрона
		Патрон зажат	
Команда на отвод руки	Разжим схвата, отвод руки в исходное положение		
Команда на подвод ограждения			Ограждение подведено
		Ограждение подведено	
Команда на включение рабочего цикла обработки			Обработка

Таблица П8

Подача исполнительных механизмов робота

Номер подачи (F)	Ось X (Z), мм/с	Ось A (C), B, град/с
1	6	2
2	16	4
3	31	8
4	63	15
5	125	30
6	250	60
7	375	90
8	500	120

Практическая работа №6 Оптимальное проектирование ГПС

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – закрепить полученные теоретические знания и практически ознакомить студентов со способами обоснованного выбора уровня автоматизации ГПС на этапе разработки технического предложения. Продолжительность работы – 4 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Очевидно, **оптимальным** следует считать проект, который приводит к созданию объекта, наилучшего из реально возможных в данных конкретных условиях.

Применительно к металлорежущим системам это означает создание таких конструкций, которые обеспечивают выпуск продукции заданного качества с требуемой производительностью при наивысших экономических показателях, отвечают требованиям технической эстетики и охраны окружающей среды, удобны в обслуживании и тому подобное.

Процесс создания оптимальных проектов предполагает наличие:

- оптимальной последовательности проектных процедур;
- методов принятия оптимальных решений на каждом этапе.

Анализ процесса проектирования гибких производственных систем (ГПС) – позволяет использовать в качестве оптимальной следующую **последовательность проектных процедур:**

- проведение НИР и ОКР для разработки и отработки технологических методов и процессов, конструктивных решений важнейших функциональных узлов;
- формулировка проектной задачи, выбор основных характеристик проектируемого объекта;

- разработка технологических процессов, включая выбор методов и маршрутов обработки, режимы обработки, методы обеспечения и стабилизации качества выпускаемой продукции;
- схемно-компоновочное проектирование объекта, включая разработку структуры и компоновки системы, определение уровня автоматизации, выбор системы управления (СУ) и т.д.;
- конструктивная проработка всех компонентов (механизмов, устройств, вспомогательного оборудования) и объекта в целом, разработка общих видов и планировка;
- технико-экономическая оценка разработанного проекта, сопоставление полученных характеристик объекта с техническим заданием.

Для простых или типовых систем указанная последовательность позволяет получить при наличии инженерного опыта решения, близкие к оптимальным, сравнительно просто, с использованием несложных вычислений. По мере усложнения объекта все большую роль начинают играть современные методы оптимального проектирования, основанные на специальном методологическом и математическом аппарате и использовании вычислительной техники.

Введем необходимые термины:

- **целевая функция** – величина, для которой в результате процесса проектирования должны быть получены оптимальные или граничные значения (минимум приведенных затрат, максимальная производительность и тому подобное);
- **управляющие переменные** – параметры проектируемого объекта, численные значения которых и являются предметом оптимизации (число рабочих позиций, станков, участков в АЛ, состав функций АСУ ТП в ГПС и др.);
- **управляемые переменные** – частные функции сочетания управляющих переменных, которые в процессе оптимизации чаще всего выступают в качестве ограничивающих факторов (заданная программа выпуска и др.);
- **константы проектирования** – постоянные для данных условий величины (нормы амортизационных отчислений, ожидаемые показатели надежности и т.д.).

Различают однокритериальную оптимизацию, когда целевая функция единственная, а результаты однозначны, и

многокритериальную, когда имеется несколько целевых функций и необходимы компромиссные решения.

Во всех случаях наиболее ответственными и сложными являются ранние этапы проектирования, на которых формируются основные структурно-компоновочные решения. На этих этапах имеется значительное число вариантов.

Процесс оптимизации на любом этапе включает две стадии:

- формирования совокупности технически возможных и целесообразных проектных вариантов, отличающихся сочетанием управляющих параметров;
- выбор оптимального варианта по заданной целевой функции.

Причем первая стадия носит в основном экспертный характер, а вторая – расчетный. Для второй стадии необходимо иметь математические модели взаимосвязи управляющих переменных с целевой функцией и ограничениями. Процесс выбора, как правило, носит пошаговый характер с постепенным сужением по принятым критериям числа рассматриваемых конкретных вариантов объекта.

Рассмотрим последовательность выполнения обеих стадий оптимизации на этапе схемно-компоновочного проектирования.

Формирование общей совокупности возможных и целесообразных вариантов. Этап выполняется после разработки ТП. Общая последовательность следующая:

1. Выявление управляющих переменных (технологических, структурных, компоновочных, конструктивных), характерных для данного объекта с учетом требований заявки на проектирование.

2. Оценка возможного числа значений каждой вариантной управляющей переменной.

3. Формирование общего числа возможных вариантов компоновки объекта.

4. Отсевание невозможных или технически нецелесообразных вариантов с учетом имеющегося в отрасли практического опыта эксплуатации аналогичных объектов.

Выбор оптимального варианта. Последовательность пошагового отбора оптимального варианта определяется

конкретно проектируемыми объектами и будет показана в дальнейшем для ГПС.

В данной методике основным вариационным признаком АСУ ГПС является количество и номенклатура выполняемых функций управления. Для ГПС целесообразно рассматривать следующие функции автоматизированных систем управления:

- **управление последовательностью работы основного технологического оборудования от ЭВМ.** При этом могут быть повышены режимы обработки, т.е. повышена технологическая производительность K , также уменьшены потери производительности из-за холостого хода ΔQ_I ;

- **оптимальное регулирование процессов обработки.** Учет нерегламентированных возмущающих воздействий позволяет повысить производительность K и снизить потери от брака ΔQ_V ;

- **управление транспортно-складирующими системами.** Позволяет снизить организационные потери ΔQ_{IV} из-за отсутствия заготовок у станка;

- **управление механизмами автоматической загрузки.** Снижает время холостых ходов на загрузку-разгрузку станков ΔQ_I .

- **управление инструментом.** Позволяет сократить организационные потери ΔQ_{IV} , связанные с отсутствием инструмента на позициях обработки;

- **функциональная диагностика оборудования.** Контроль за состоянием оборудования, систем управления и т.д. позволяет сократить потери из-за надежности ΔQ_{III} , а также потери производительности из-за брака ΔQ_V ;

- **статистическая диагностика работоспособности и использования машин.** Учет и анализ работы оборудования в первую очередь позволяет сократить организационные потери ΔQ_{IV} ;

- **оперативное планирование загрузки оборудования.** Позволяет существенно сократить такие виды простоев как отсутствие заготовок, неравномерная загрузка оборудования (организационные потери ΔQ_{IV}), а также ускорить переналадку (ΔQ_{VI}) за счет подбор порядка запуска деталей;

– **оперативный учет выпуска и качества продукции.** Повышение оперативности управления в первую очередь уменьшает организационные потери ΔQ_{IV} ;

– **автоматизация подготовки управляющих программ.** Своевременное отсутствие управляющих программ может привести к росту организационных потерь ΔQ_{IV} ;

– **автоматизация контроля и корректировки управляющих программ.** В первую очередь автоматизация данной функции позволяет сократить потери по браку ΔQ_V ;

– **хранение управляющих программ в памяти ЭВМ.** Позволяет сократить время на переналадку оборудования ΔQ_{VI} ;

– **оперативное управление ремонтной службой.** Повышается качество ремонтной службой и, в конечном итоге, уменьшаются потери по надежности ΔQ_{III} .

Таким образом, каждая функция АСУ является достаточно узкоспециализированной и позволяет сократить те или иные потери производительности или повысить качество поверхности. Очевидно эффективность автоматизации конкретных функций в большой степени определяется фактическим состоянием потерь производительности базового варианта.

В качестве сопоставимого (базового) рассматривается вариант автономно работающих обрабатывающих центров (ОЦ), пригодных для встраивания в ГПС.

В предлагаемой методике основным вариационным параметром является номенклатура функций АСУ ТП, которая однозначно определяет и состав вспомогательного оборудования. Из функций АСУ отбираются те, которые могут быть реализованы в данных конкретных условиях. Затем выявляются перспективные функции, которые могут дать существенный рост производительности или сокращение обслуживающего персонала.

В табл. 1 показано влияние автоматизации функций ГПС. Эксплуатационные исследования работоспособности базового оборудования проводятся с целью количественной оценки его функционирования, расчета K , цикловой $Q_{ц}$ и фактической $Q_{ф}$ производительности, а также всех видов потерь производительности. Основным инструментом выполнения данной работы является хронометраж работы. Произведя

соответствующие расчеты для различных видов потерь, можно определить приближенно наиболее перспективные функции для автоматизации. Следует отметить, что некоторые функции АСУ при создании ГПС во многих случаях являются безусловными. К ним относятся для дискретных процессов функции автоматического управления последовательностью работы основного технологического оборудования, хранение управляющих программ в памяти ЭВМ, а также автоматического регулирования процессов обработки, которые являются главным содержанием процесса автоматизации.

Таблица 1

Влияние автоматизации функций ГПС

Функции интегрированных АСУ для ГПС	Влияние	Дополнительные затраты на $K_{АСУ}$, тыс. у.е.
Управление последовательностью работы основного оборудования	$K \uparrow, \Delta Q_I \downarrow$	–
Оптимальное регулирование процессов обработки	$K \uparrow, \Delta Q_{II} \downarrow$	–
Управление транспортно-складирующими системами	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	50
Управление механизмами автоматической загрузки-выгрузки	$\Delta Q_I \downarrow$	35
Управление инструментом	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	40
Функциональная диагностика	$\Delta Q_{III} \downarrow, \Delta Q \downarrow$	50
Статистическая диагностика	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	35
Оперативное планирование загрузки оборудования	$\Delta Q_{IV} \downarrow, \Delta Q_{VI} \downarrow$	30
Оперативный учет выпуска и качества продукции	$\Delta Q_{IV} \downarrow$	45
Подготовка управляющих программ	$\Delta Q_{IV} \downarrow, \Delta Q_V \downarrow$	60
Хранение управляющих программ в памяти ЭВМ	$\Delta Q_{VI} \downarrow$	–
Оперативное управление ремонтно-эксплуатационной службой	$\Delta Q_{III} \downarrow, \Delta Q_{IV} \downarrow$	45

Наиболее ответственным и слабо формализованным является этап оценки ожидаемого роста производительности оборудования из-за автоматизации выбранного набора функций. Следует отметить, что никакая автоматизация не может снизить конкретный вид потерь до нуля. Для некоторых видов потерь коэффициент сокращения β_i может быть рассчитан достаточно точно (время загрузки-разгрузки), чаще используют экспертные оценки. Для приближенных оценок при отсутствии других соображений можно рекомендовать двухкратное сокращение конкретного вида потерь при автоматизации.

Для получения оптимального варианта автоматизации ГПС формируется совокупность возможных вариантов методом перебора состава функций. Следует учитывать, что таких вариантов может быть очень много, поэтому следует критически подходить к отбору перспективных функций АСУ.

3. ПРИМЕР ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ГПС

3.1. Формирование совокупности технически целесообразных вариантов построения ГПС

Рассмотрим методику по этапам на конкретном примере.

1. Отбор и систематизация исходных данных по:

- производственной программе Q_{mp} и ее изменениям;
- стоимости единицы базового технологического оборудования K ;
- зарплате $З_n$ и численности работников;
- характеристикам выпускаемой продукции.

Исходные данные:

- сменная программа выпуска $Q_{mp} = 220$ шт./смену (с возможной перегрузкой);
- средняя стоимость одного ОЦ $K = 120000$ у.е.;
- норма обслуживания оператора (месячная зарплата 140 у.е.) – 1 станок, наладчика (180 у.е.) – 6 станков, подсобных рабочих (120 у.е.) – 5 станков;
- стоимость одной заготовки $M_1 = 3,5$ у.е.;

- режим работы – 2 смены;
- комплект изделий включает 10 наименований.

Здесь и далее расчет ведется в условных единицах – у.е. Для принятия решения на этапе разработки технического задания имеет значение не абсолютная величина затрат а сопоставимый масштаб стоимости отдельных элементов производства.

2. Составление перечня реализуемых функций АСУ ТП и первичный отбор. Автоматизация известных функций ГПС влияет на изменение капитальных затрат и производительность. Число возможных сочетаний составляет несколько тысяч. Для снижения размерности необходимо отобрать возможные технологические и организационные функции.

3. Исследование технических характеристик базового оборудования при независимой эксплуатации. Оно выполняется с целью расчета цикловой производительности.

Для ОЦ:

$$T = t_{cp} S + t_{x1} + t_{x2} S + t_{x3} A, \quad (1)$$

где t_{cp} – среднее время единичного прохода при обработке деталей комплекта изделий (определяется по результатам статистических измерений); S – среднее число проходов при обработке одной детали; t_{x1} – время на загрузку-разгрузку станка; t_{x2} – среднее время единичной замены координаты; t_{x3} – среднее время замены инструмента в шпинделе; A – среднее число инструментов при обработке одной детали.

Значения t_{cp} и S определяются по следующим формулам:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{S_i} t_{i,j} Z_i}{\sum_{i=1}^n S_i Z_i}, \quad S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i}, \quad (2)$$

где n – число наименований деталей в комплекте; S_i , t_{pi} , Z_i – соответственно число переходов, время обработки и величина партии обработки для i -й детали.

Для нашего примера на основе эксплуатационных исследований базового оборудования получены следующие данные:

$t_{cp} = 0,5$ мин; $S = 15$; $t_{x1} = 3,8$ мин; $t_{x2} = 0,25$ мин; $t_{x3} = 0,25$ мин;
 $A = 6$ шт.

Тогда:

$$T = 0,5 \cdot 15 + 3,8 + 0,25 \cdot 15 + 0,25 \cdot 15 = 16,6 \text{ мин.}$$

4. Исследование работоспособности базового оборудования. Его выполняют с использованием хронометража всех видов простоев, связанных с собственной надежностью оборудования и переналадками. Затем рассчитывают соответствующие величины внецикловых потерь.

5. Исследование производственных условий эксплуатации. Выполняется аналогично этапу 4, но фиксируются простои по организационным причинам.

В результате выполнения этапов 4 и 5 получен следующий баланс затрат планового фонда времени (в процентах):

Работа (включая рабочие и холостые ходы) θ_p	54,8
Простои по технологическим причинам: $\Sigma\theta_c$	6,4
- аварийная замена инструмента	0,8
- регулировка инструмента	0,6
- устранение отказов механизмов	0,2
- устранение отказов систем управления	0,9
- подготовка оборудования к работе	1,1
- уборка и очистка	1,2
- профилактические осмотры	1,2
Организационные простои $\Sigma\theta_{орг}$ из-за отсутствия:	26,1
- заготовок в цехе	4,4
- заготовок у станков	12,0
- управляющих программ	1,5
- оператора	6,8
- наладчика	1,1
- ремонтников	0,2
- инструмента	0,1
- энергии	—
Простои для переналадки $\Sigma\theta_{пер}$:	12,7
- замена и выверка приспособлений	3,0
- замена комплекта инструментов	2,0
- замена управляющих программ	0,5
- кинематическая настройка	—

- обработка пробных деталей, подналадка	7,2
Всего простоев $\Sigma\theta_n$	45,2
Выход годных изделий γ	0,95
Среднее время на переналадку $\theta_{пер}$	132 мин.
Средний размер партии z	35 шт.

Тогда:

$$\sum t_c = \frac{\sum \theta_c}{\theta_p} T = \frac{6,4}{54,8} \cdot 16,6 = 2,0 \text{ мин/шт.}$$

Аналогично:

$$\sum t_{opz} = 8,2 \text{ мин/шт.}, \quad \sum t_{nep} = 3,9 \text{ мин/шт.}$$

6. Расчет производительности базового технологического оборудования при автономной эксплуатации. Приблизленно базовую производительность можно определить:

$$Q_{\delta} = \frac{\Theta p \gamma}{T} \eta_{uc} = \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,95}{16,6} \cdot 0,548 = 15 \text{ шт/смену}$$

7. Анализ возможностей улучшения параметров работы оборудования при его модернизации и встраивании в ГПС.

Он проводится путем совместного анализа результатов этапов 4 и 5 и состава возможных функций АСУ ТП. Каждая из функций как-то влияет на повышение качества изделий, либо на изменение составляющих формулы производительности. Необходимо оценить для каждого элемента затрат времени коэффициенты их возможного сокращения β_i при введении тех или иных функций АСУ ТП.

Результаты анализа с указанием основных резервов повышения производительности и качества представлены в табл. 2.

8. Отбор перспективных функций АСУ. Перспективными считаются те функции, которые в данных производственных условиях могут ощутимо повысить производительность (не менее $\Delta Q = 2 \div 3 \%$), улучшить качество изделий ($\gamma_i > \gamma_{\delta}$). Например, при надежной работе оборудования функциональная диагностика может оказаться неэффективной.

Таблица 2

Расчет коэффициентов сокращения

Элементы временных затрат	Значение элемента для вариантов		β_i	Функция АСУ ТП, обеспечивающая сокращение временных затрат
	автономные ОЦ	ГПС		
t_{x1}	3,8 мин	0,2 мин	19	Автоматизация загрузки
t_{x2}	0,25 мин	0,125 мин	2	Управление рабочим циклом позволит совместить отвод-подвод инструмента
Простои из-за отсутствия: заготовок у станка заготовок в цехе оператора УП	12 %	0 %	–	Оптимизационное планирование Учет времени работы и простоев Хранение УП в памяти ЭВМ
	4,4 %	2,2 %	2	
	6,8 %	3,4 %	2	
	1,5 %	0 %	–	
Замена приспособлений замена комплектов инструмента	3%	0 %	–	Автоматизация транспортирования, стандартные поддоны Планирование, подбор номенклатуры
	2 %	1,33 %	1,5	
γ	0,95	0,98		Уменьшение погрешности воспроизведения УП

Перспективными функциями АСУ ТП являются (с учетом сокращения числа рабочих):

1. Управление рабочим циклом основного технологического оборудования («управление циклом»).

2. Управление работой транспортно-складирующего оборудования («транспортировка»).

3. Управление работой механизмов автоматической замены («загрузка»).

4. Оперативное планирование загрузки станков («планирование»).

5. Учет работы и простоев оборудования («учет работы»).

6. Хранение УП в памяти ЭВМ («хранение программ»).

9. **Формирование совокупности технически целесообразных вариантов построения ГПС.** Производится путем комбинирования перспективных функций АСУ. Состав функций каждого варианта определяет и состав вспомогательного оборудования.

При формировании вариантов примем, что функции 1 и 6 необходимы для всех вариантов, остальные функции могут присутствовать в различных сочетаниях. То есть можно сформировать 16 технически целесообразных вариантов построения ГПС (табл. 3).

3.2. Выбор оптимального варианта ГПС и оценка его перспективности для других условий производства

В теории производительности для сравнительной оценки вариантов систем машин используются технико-экономические допуски (по производительности, стоимости, удобству эксплуатации и пр.). Допуск рассчитывается, как правило, для параметра в наибольшей степени обеспечивающего экономический эффект. Для дискретного производства необходимо рассчитать минимально допустимый рост производительности оборудования, который обеспечит нулевой экономический эффект.

Расчеты носят приближенный характер из-за недостаточной достоверности исходных данных, поэтому для упрощения все текущие затраты (амортизационные отчисления, ремонт) по эксплуатации оборудования выражают в долях стоимости.

Продолжим рассмотренные методики по этапам.

10. **Ожидаемый рост производительности ГПС.** Расчет коэффициента φ_i определяется как соотношение производительности i -го варианта построения ГПС Q_i к базовой Q_0 :

$$\varphi_i = \frac{1}{Q_0} \cdot \frac{\Phi_{cm} \gamma_i}{T + \sum t_c + \sum t_{opz} + \sum t_{nep}}. \quad (3)$$

Таблица 3

Характеристика вариантов ГПС

Номер вариант а	Функции АСУ ТП	Производительность				Затраты			
		T , мин	$\Sigma t_{орг}$, мин/шт.	$\Sigma t_{пер}$, мин/шт.	Φ_i	$K_{АСУ}$, тыс. у.е.	ζ	ε	Φ_{min}
1	1, 6	14,7	7,7	3,7	1,13	800	—	0,78	1,42
2	1, 2, 6	14,7	7,7	2,9	1,18	850	0,05	0,81	1,54
3	1, 3, 6	11,1	7,7	3,7	1,30	835	0,08	1,53	1,5
4	1, 4, 6	14,7	3,9	3,5	1,33	830	—	0,78	1,51
5	1, 5, 6	14,7	6,0	3,7	1,21	845	—	0,78	1,51
6	1, 2, 3, 6	11,1	7,7	2,9	1,33	885	0,13	1,65	1,54
7	1, 2, 4, 6	14,7	3,9	2,6	1,38	880	0,05	0,81	1,55
8	1, 2, 5, 6	14,7	6,0	2,9	1,38	880	0,05	0,81	1,55
9	1, 3, 4, 6	11,1	3,9	3,5	1,56	865	0,08	1,53	1,52
10	1, 3, 5, 6	11,1	6,0	3,7	1,4	880	0,08	1,53	1,52
11	1, 4, 5, 6	14,7	2,2	3,5	1,44	875	—	0,78	1,53
12	1, 2, 3, 4, 6	11,1	3,9	2,6	1,64	915	0,13	1,65	1,55
13	1, 2, 3, 5, 6	11,1	6,0	2,9	1,52	930	0,13	1,65	1,56
14	1, 2, 4, 5, 6	14,7	2,2	2,6	1,49	925	0,05	0,81	1,5
15	1, 3, 4, 5, 6	11,1	2,2	3,5	1,7	910	0,08	1,53	1,5
16	1, 2, 3, 4, 5, 6	11,1	2,2	2,6	1,76	960	0,13	1,65	1,56

Рассмотрим расчет для наиболее развитого 16 варианта (табл. 3). Время рабочего цикла (1):

$$T = 0,5 \cdot 15 + 0,2 + 0,125 \cdot 15 + 0,25 \cdot 6 = 11,1 \text{ мин.}$$

Потери по организационным причинам сократятся приблизительно пропорционально сокращению затрат фонда времени, то есть ожидаемое сокращение составит:

$$12 + 2,2 + 3,4 + 1,5 = 19,1 \%$$

Тогда коэффициент ожидаемого сокращения и потери соответственно:

$$\beta = \frac{26,1}{26,1 - 19,1} = 3,7 \text{ раз;}$$

$$\Sigma t_{орг} = \frac{8,2}{3,7} = 2,2 \text{ мин/шт.}$$

Аналогично потери на переналадку:

$$\beta = \frac{12,7}{12,7 - (3,0 + 0,6 + 0,5)} = 1,5;$$

$$\Sigma t_{пер} = \frac{3,9}{1,5} = 2,6 \text{ мин/шт.}$$

Собственные потери не изменились $\Sigma t_c = 2 \text{ мин/шт.}$

Тогда:

$$\Phi_{16} = \frac{1}{15} \cdot \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,98}{11,1 + 2,0 + 2,2 + 2,6} = 1,76.$$

В табл. 3 приведены результаты расчетов по остальным вариантам. Из таблицы видно, что рост производительности весьма различен – от 13 % до 76 %. Характерно, что ни одна функция АСУ в отдельности не может дать такого эффекта.

11. Расчет ожидаемых затрат при создании ГПС с АСУ
ТII. Выполняется путем суммирования затрат на модернизацию основного оборудования, создание вспомогательного оборудования. Расчет производится прямым методом. Ориентировочно стоимость отдельных функций АСУ можно оценить по затратам машинного времени на их выполнение.

Количество станков по базовому варианту легко определить:

$$m_{\sigma} = \frac{Q_{mp}}{Q_{\sigma}} = \frac{220}{15} = 15 \text{ шт.}$$

Дополнительные затраты на модернизацию оборудования пропорциональны m , их целесообразно выразить через долю стоимости оборудования ζ_i . Так, примем, что ожидаемые затраты на автоматизацию функции «транспортирование» составят 6000 у.е. на один станок, функции «загрузка» – 9000 у.е.

Следовательно для функций (табл. 3):

- «транспортировка» $\zeta = 6000 : 120000 = 0,05$;
- «загрузка» $\zeta = 0,08$;
- «транспортировка + загрузка» $\zeta = 0,13$.

Ожидаемый фонд зарплаты $Зп$ и степень его сокращения по уравнению с исходным вариантом ε рассчитывается исходя из норм обслуживания и среднего достигнутого уровня зарплаты по категориям.

Годовой фонд зарплаты по базовому варианту:

$$Зп = 15 \cdot \left(\frac{140}{1} + \frac{180}{6} + \frac{120}{5} \right) \cdot 1,14 \cdot 12 \cdot 2 = 79500 \text{ у.е.}$$

Сокращение фонда зарплаты можно определить из следующих соображений. Автоматизация загрузки позволит сократить число операторов до двух в смену, автоматизация транспортирования – вспомогательных рабочих до двух в смену.

Дополнительный фонд зарплаты работников по обслуживанию АСУ – 820 у.е. в месяц.

Например, для варианта 16 коэффициент сокращения (можно рассчитывать по месячному фонду зарплаты):

$$\varepsilon = \frac{15 \cdot \left(\frac{140}{1} + \frac{180}{6} + \frac{120}{5} \right)}{140 \cdot 2 + 180 \cdot 3 + 120 \cdot 2 + 820} = 1,56.$$

12. Расчет требований к технико-экономическим характеристикам ГПС. Он производится исходя из гарантированного обеспечения экономической эффективности ($\varepsilon \geq 0$) и сводится к определению φ_{\min} , за счет которого возможна окупаемость затрат в нормальные сроки.

Используется формула:

$$\varphi_{\min} = \frac{Km(1+\zeta)a + K_{ACV}b + 3n/\varepsilon}{Kma + 3n + (\gamma_i - \gamma_6)M_1Q_z}, \quad (4)$$

где α – коэффициент, учитывающий амортизационные отчисления, текущий ремонт, нормативный коэффициент окупаемости капвложений; $\alpha = 0,32 \dots 0,35$; b – коэффициент, включающий те же затраты для АСУ ТП; $b = 0,35 \dots 0,4$; K_{ACV} – ожидаемые дополнительные затраты на собственно АСУ ТП.

В рассматриваемом примере часть показателей в (4) постоянна, например:

$K = 120000$ у.е.; $m_6 = 15$ станков; $\alpha = 0,32$; $b = 0,4$; $3n = 79500$ у.е.; $\gamma_i - \gamma_6 = 0,03$; $M_1 = 3,5$ у.е./шт.; $Q_z = 94000$ шт./год, тогда:

$$\varphi_{\min} = \frac{576 \cdot (1 + \zeta) + 0,4 \cdot K_{ACV} + 80/\varepsilon}{666}.$$

В табл. 3 приведены расчеты ζ , ε , K_{ACV} , φ_{\min} для каждого варианта.

13. **Отбор экономически целесообразных вариантов.** Производится путем сравнения ожидаемых параметров φ_i с требуемыми $\varphi_{\min i}$.

Экономически эффективны только те варианты, для которых:

$$\varphi_i > \varphi_{\min i}. \quad (5)$$

По табл. 3 отбираем варианты 9, 12, 15, 16. Близки к требованию (5) варианты 13 и 14; они могут быть исследованы дополнительно.

14. **Отбор рациональных вариантов из числа экономически эффективных.** Формально можно для каждого варианта рассчитать предельные затраты Z_i и выбрать вариант с $Z_i \rightarrow \min$.

Но недостоверность исходных данных может внести ошибку в расчет. Поэтому целесообразнее из всех экономических вариантов выбрать группу вариантов с наилучшими показателями.

$$\Delta\varphi_i = (\varphi_i - \varphi_{\min i}) \rightarrow \max. \quad (6)$$

В группу отбираются варианты, у которых $\Delta\varphi_i$ достаточно близки (отличаются не более чем на 2-3 %).

Для исследуемых вариантов: $\Delta\varphi_9 = 0,04$; $\Delta\varphi_{12} = 0,09$; $\Delta\varphi_{15} = 0,17$; $\Delta\varphi_{16} = 0,20$.

Можно сразу выбрать оптимальный вариант – № 16. Но если на этапе 14 будет отобрано несколько вариантов, то необходимо выполнить этап 15.

15. Выбор оптимального варианта построения ГПС. Окончательное решение принимается с учетом неформальных критериев (экспертные оценки, производственная площадь, число обслуживающих рабочих, сроки поставки и т.д.).

В нашем примере выбран вариант со следующими характеристиками:

- число станков, шт.	15
- число функций АСУ, шт.	6
- дополнительные капиталовложения, у.е.	1200000
- производительность, шт./смену	400
- годовой фонд зарплаты, у.е.	48000

Рассмотренный пример показывает неправомерность выбора уровня автоматизации АСУ ТП, не подтвержденного расчетами и не привязанного к конкретным типам изделий и условиям их производства.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями (п. 2) и примером выбора оптимального уровня автоматизации ГПС (п. 3).

2. Получить у преподавателя задание. Структура номера варианта для расчета состоит из 4 цифр (соответственно данные из таблиц П1–П4). Недостающие исходные данные можно принимать самостоятельно ориентируясь на пример расчета (п. 3). В связи с большим объемом расчетных работ целесообразно выполнять задание подгруппами из 2-3 студентов.

3. По результатам хронометража и исходным данным определить для базового варианта производительность Q_6 и основные виды потерь Σt_c , $\Sigma t_{орг}$, $\Sigma t_{неп}$.

4. Составить перечень реализуемых функций АСУ ГПС. *Функции автоматического управления последовательностью работы основного технологического оборудования, хранение управляющих программ в памяти ЭВМ, а также автоматического регулирования процессов обработки* принять в безусловном порядке во всем вариантах. Из оставшихся отобрать не более 3-4 наиболее перспективных для автоматизации функции (иначе размерность и трудоемкость задачи значительно увеличится).

5. Проанализировать возможное улучшение параметров работы оборудования после его модернизации и встраивания в ГПС. Результаты свести в таблицу (табл. 2).

6. Сформировать совокупность технически целесообразных вариантов построения ГПС. По каждому варианту рассчитать его основные характеристики – T , $\Sigma t_{орг}$, $\Sigma t_{неп}$, Φ_L , ζ , ε , Φ_{min} . Для наиболее развитого (по числу функций) варианта расчет параметров представить подробно, для остальных – свести в таблицу

(табл. 3). Расчет ожидаемых капитальных затрат $K_{АСУ}$ произвести из следующих соображений:

- стоимость капитальных затрат на создание АСУ ГПС принять для минимального уровня автоматизации (автоматизированы только функции автоматического управления последовательностью работы основного технологического оборудования, хранение управляющих программ в памяти ЭВМ, а также автоматического регулирования процессов обработки) – $K_{АСУ} = 850$ тыс. у.е.;

- автоматизация других функций дополнительно увеличивает величину $K_{АСУ}$ (см. табл. 1).

7. Произвести отбор наиболее рационального варианта.

8. Оформить отчет по работе.

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходные данные для расчета.
2. Расчет характеристик базового варианта.
3. Перечень отобранных функций для автоматизации с кратким обоснованием выбора.
4. Анализ возможных улучшений параметров работы оборудования при его встраивании в ГПС (табл. 2).
5. Формирование совокупности целесообразных вариантов построения ГПС.
6. Расчет ожидаемого роста производительности ГПС (для наиболее развитого варианта).
7. Расчет ожидаемых затрат на создание ГПС (для наиболее развитого варианта).
8. Расчет требований к технико-экономическим характеристикам ГПС (для наиболее развитого варианта).
9. Расчет параметров по п. 6, 7, 8 для остальных вариантов (табл. 3).
10. Выбор рациональных вариантов и отбор оптимального варианта.
11. Выводы по работе.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните термины: целевая функция, управляющие переменные, управляемые переменные, константы проектирования.
2. Поясните общий принцип формирования общей совокупности возможных вариантов.
3. Что является управляющими переменными и какие значения они могут принимать в данной методике?
4. Перечислите основные функции АСУ ГПС. Как их автоматизация может влиять на изменение производительности ГПС и качество выпускаемой продукции?
5. Как рассчитывается время цикла T для ОЦ?
6. Как по результатам хронометража можно рассчитать параметры базового варианта?

7. Как можно определить коэффициенты возможного сокращения потерь β_i ?

8. Какие варианты ГПС считаются экономически целесообразными?

9. По какому критерию производится отбор рациональных и оптимального вариантов?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные для расчета

Общие исходные данные.

Стоимость 1 обрабатывающего центра – 1200000 у.е.

Зарплата (в месяц) и нормы обслуживания рабочих:

- оператор - 140 у.е., обслуживает 1 станок;
- наладчик - 180 у.е., обслуживает 6 станков;
- вспомогательный рабочий - 120 у.е., обслуживает 5 станков.

Дополнительный фонд зарплаты работников по обслуживанию АСУ – 900 у.е. в месяц.

Режим работы – 2 смены. Для ГПС можно принять 3 смены.

Переменные исходные данные по вариантам представлены в табл. П1–П4.

Таблица П1

Характеристика организационных потерь по вариантам, в %

Элементы потерь времени	Вариант				
	1	2	3	4	5
Нет заготовок в цехе	5	6	4	5	6
Нет заготовок у станка	15	12	13	10	14
Нет УП	2	3	4	3	2
Нет оператора	5	6	4	7	4
Нет режущего инструмента	4	3	5	4	5
Нет наладчика	4	5	4	6	6
Нет ремонтника	3	4	4	5	3
Нет энергии (любой)	0	1	0	1	0

Таблица П2

Характеристика собственных потерь по вариантам, в %

Элементы потерь времени	Вариант				
	1	2	3	4	5
Устранение отказов режущего инструмента	1,4	2	1,2	1,6	1,5
Устранение отказов механизмов	0,2	0,4	0,5	0,3	0,4
Устранение отказов СУ	0,9	0,8	1	1,1	1,2
Подготовка оборудования к работе	1,1	1,3	1,2	1,3	0,9
Уборка и очистка	1,2	1	1,3	1,3	1,1
Профилактические осмотры	1,2	1	1,2	1	1,1

Таблица П3

Характеристика потерь на переналадку по вариантам, в %

Элементы потерь времени	Вариант				
	1	2	3	4	5
Замена приспособления	3	2,5	3,3	3,5	2,8
Замена комплекта инструмента	2	1,8	2,2	2,5	1,9
Замена УП	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4
Обработка пробной детали, подналадка	7,2	8	6,9	5,8	6

Таблица П4

Характеристика обрабатываемого комплекта деталей

Элементы времени цикла обработки	Вариант				
	1	2	3	4	5
Производственная программа в смену, шт.	250	245	210	240	230
Стоимость одной заготовки, у.е.	3,6	4,0	3,5	3,7	3,0
Среднее время обработки 1 перехода, час	0,04	0,05	0,06	0,045	0,055
Среднее число переходов на 1 деталь, шт.	15	17	14	16	11
Время смены заготовки, час	0,06	0,05	0,055	0,08	0,07
Время смены координаты, час	0,01	0,015	0,012	0,011	0,014
Время смены инструмента, час	0,03	0,025	0,027	0,024	0,031
Среднее число инструментов на 1 деталь, шт.	6	5	7	4	8
Средний размер партии запуска, шт.	50	40	35	60	30
Коэффициент выхода годной продукции γ , в %	95	96	94	93	95

Практическая работа № 7 Расчет показателей надежности элементов и систем

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление студентов с практическими методами расчета количественных показателей надежности элементов и систем.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Основные термины

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах все параметры, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных пределах эксплуатации.

В настоящее время теория надежности быстро развивается, что связано:

- с автоматизацией, многократным усложнением машин и их соединением в крупные комплексы;
- с задачами безлюдной технологии;
- с непрерывным форсированием машин, уменьшением их металлоемкости, повышением их силовой, тепловой, электрической напряженности.

Теория надежности рассматривает следующие обобщенные объекты:

- **система** – совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для выполнения заданных функций;
- **элемент** – простейшая часть системы, которая имеет самостоятельную характеристику надежности и выполняет частную функцию в интересах системы.

Это деление зависит от поставленной задачи. Например, электродвигатель может рассматриваться как система, состоящая из статора, ротора, подшипникового щита, обмоток и пр., но при исследовании систем автоматического регулирования двигатель обычно рассматривается как элемент.

Объекты делятся на **восстанавливаемые** (могут быть восстановлены потребителем – станок, автомобиль и пр.) и

невосстанавливаемые (подлежат замене – электрические лампы, подшипники качения и пр.).

Надежность характеризуется следующими показателями (ГОСТ 13377-82).

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен нормально выполнять заданные функции с параметрами, установленными в технической документации.

Исправность – состояние объекта, при котором он удовлетворяет не только всем основным, но и вспомогательным требованиям. Исправный объект всегда работоспособен.

Неисправность – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований технической документации. Различают неисправности, не приводящие к отказам (например, перегорание сигнальной лампочки на пульте управления – неисправность, но сама система управления продолжает функционировать) и неисправности, приводящие к отказам.

Отказ – событие, заключающееся в полной или частичной потере работоспособности. Отказы делят на отказы функционирования, то есть объект прекращает выполнение своих функций (поломка зубьев шестерни) и отказы параметрические, при которых некоторый параметр объекта выходит за допустимые пределы (биение шпинделя станка).

По характеру проявления отказы делятся на:

- внезапные – скачкообразное изменение параметров системы (элемента). Примеры – обрыв электрических соединений, короткое замыкание, поломка вала;
- постепенные (износные) – медленное изменение параметров системы в процессе эксплуатации. Примеры – износ, коррозия, окисление и пр.

Отказы можно классифицировать по значительному числу признаков:

- по причинам возникновения: конструкционные, технологические, эксплуатационные;

- по разрушаемости объекта: с разрушением, без разрушения;
- по последствиям: легкие, средние, тяжелые (вызывающие ТОричные разрушения);
- по периоду возникновения: приработочные, при нормальной эксплуатации, износные.

Сбой – кратковременный самоустраняющийся отказ. Опасен для ЭВМ, т.к. может привести в неконтролируемой потере части информации.

Надежность объектов характеризуется рядом свойств.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта длительно сохранять работоспособность до предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность – приспособленность объекта к обнаружению и устранению отказов.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять работоспособность после хранения и транспортировки.

2.2. Показатели надежности

2.2.1. Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет. Вероятность безотказной работы меняется в интервале $0 \leq P(t) \leq 1$ и на практике определяется по формуле:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где N_0 – число изделий, поставленных на испытание; $n(t)$ – число изделий, отказавших на момент времени t .

Работоспособность и отказ представляют собой полное событие, поэтому **вероятность отказа $Q(t)$** можно определить:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (2)$$

Средняя наработка на отказ Т – математическое ожидание наработки до отказа невосстанавливаемого объекта. Под наработкой понимается продолжительность или объем выполненной работы. Средняя наработка на отказ определяется по формуле:

$$T = \int_0^{\infty} t \cdot a(t) \cdot dt, \quad (3)$$

где **a(t)** – частота отказов.

Но для практических целей удобнее использовать формулу:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (4)$$

где **t_i** – время безотказной работы **i** –го изделия.

Процесс наработки до отказа по некоторому параметру **X** для группы изделий проиллюстрирован на рис. 4. Процесс изменения значения выходного параметра **X** во времени **t** носит постепенный характер (в работе примем линейную зависимость), скорость изменения для различных изделий в испытываемой партии различна, поэтому на графике эти процессы представлены семейством наклонных линий. Считаем, что по достижению параметром значения **X = X_{max}** происходит отказ. В технических условиях величину допустимого изменения параметра **X** ограничивают значением **X_{экстр} < X_{max}**, чтобы гарантировано не допустить отказ. Таким образом, можно ввести коэффициент запаса надежности:

$$K_{над} = \frac{X_{max}}{X_{экстр}} \geq 1 \quad (5)$$

Актуальна задача обоснованного определения в технической документации на изделие гарантированного срока

службы. Очевидно, если назначить $t \leq T_0$, то для всех изделий гарантировано $X_i \leq X_{\text{экстр}}$. При $t = T_0$ определенная часть изделий выйдет из строя по параметру X (их доля равна доли площади $Q(t)$ в общей площади гистограммы, построенной по заданной плотности отказов изделий для исследуемого параметра. Для средней наработки на отказ T характерно равенство площадей $Q(t)$ и $P(t)$.

Частота отказов $a(t)$ – плотность распределения времени безотказной работы. Практически используют формулу:

$$a(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (6)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших изделий в интервале времени

$$\left\langle \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right), \left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) \right\rangle.$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – показатель надежности невосстанавливаемых изделий, равный отношению среднего числа отказавших в единицу времени изделий к числу изделий, оставшихся работоспособными:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (7)$$

где $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ – среднее число исправно работающих изделий в интервале времени Δt .

При $P(t) \geq 0,99$ $a(t) \approx \lambda(t)$.

Типовой график интенсивности отказов приведен на рис. 1. График имеет три зоны:

- зона 1 – приработка, высокое начальное значение интенсивности отказов;
- зона 2 – нормальная эксплуатация, число отказов минимальное (есть только внезапные отказы);
- зона 3 – старение изделия, начинает вырастать доля износных отказов.

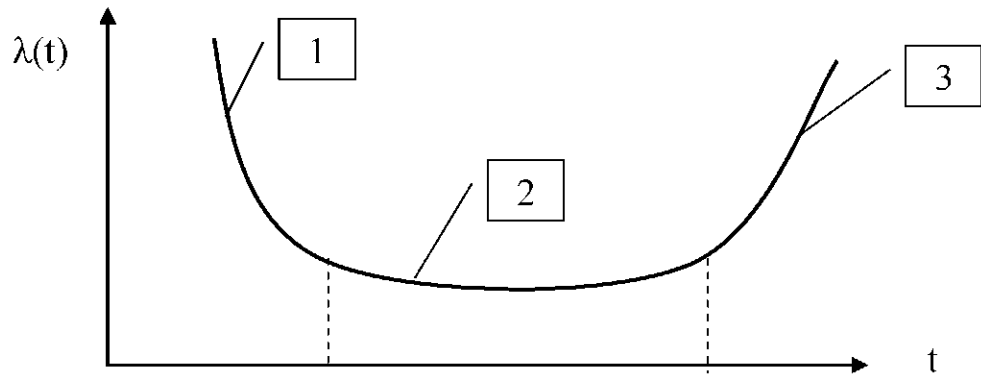


Рис.1. Типовой график интенсивности отказов

Параметр потока отказов $\omega(t)$ — математическое ожидание числа отказов, произошедших в единицу времени, начиная с времени t :

$$\omega(t) = \frac{n_I(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (8)$$

где $n_I(\Delta t)$ — число изделий, отказавших в интервале времени $\langle (t - \frac{\Delta t}{2}), (t + \frac{\Delta t}{2}) \rangle$, при условии, что отказавшие изделия немедленно заменяются новыми.

2.2.2. Показатели долговечности

Срок службы — календарная наработка изделия до предельного состояния (обычно измеряется в годах).

Технический ресурс (ресурс) — наработка объекта от начала эксплуатации или возобновления эксплуатации после капитального ремонта до предельного состояния. Измеряется в различных величинах, например, в часах (для двигателей), в километрах (для автомобилей), в единицах выпущенной продукции и т.д.

Гамма-процентный ресурс T_γ — характеризует долговечность изделия при заданной вероятности сохранения работоспособности. Устанавливается в зависимости от ответственности изделия. Если отказ изделия опасен для жизни,

устанавливают 100% - гамма-ресурс, для подшипников обычно – 90% и т.д.

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задача. Рассчитать параметры надежности изделий для следующих условий. На испытание по параметру X было поставлено N_0 невосстанавливаемых изделия. Отказ первого изделия произошел через t_1 часов работы, последнего – через t_n часов работы. Период времени между t_n и t_1 разделен на 10 интервалов наблюдений. В таблице П1 приведены исходные данные по вариантам.

Рассмотрим решение, используя первый вариант.

Необходимо:

1. Рассчитать и построить графики зависимостей $P(t)$, $Q(t)$, $a(t)$, $\lambda(t)$.
2. Определить значения:
 - средней наработки до отказа T ;
 - наработки T_0 , при которой для любого изделия $K_{\text{над}} \geq K_{\text{над}}^{\text{зад}}$;
 - гамма-процентного ресурса T_γ .

Решение. Для построения графиков $P(t)$, $Q(t)$, $a(t)$, $\lambda(t)$ заполним таблицу 1, используя формулы (1), (2), (6), (7).

Таблица 1 – Расчетная таблица

Величина ¹	Номер интервала									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n(\Delta t)$	260	110	50	10	10	20	30	110	170	230
A_i	740	630	580	570	560	540	510	400	230	0
B_i	260	370	420	430	440	460	490	600	770	1000
$N_{\text{ср}}$	870	685	605	575	565	550	525	455	315	115
$P(t)_i$	0,74	0,63	0,58	0,57	0,56	0,54	0,51	0,4	0,23	0
$Q(t)_i$	0,26	0,37	0,42	0,43	0,44	0,46	0,49	0,6	0,77	1
$a(t)_i$	0,026	0,011	0,005	0,001	0,001	0,002	0,003	0,011	0,017	0,023
$\lambda(t)_i$	0,030	0,016	0,008	0,002	0,002	0,004	0,006	0,024	0,054	0,200

¹ В таблице обозначено:

- $n(\Delta t)$ – число изделий, отказавших в i -ом интервале;
- A_i – общее число исправных изделий к концу i -го интервала;
- B_i – общее число отказавших изделий к концу i -го интервала;
- $N_{\text{ср}}$ – среднее число исправных изделий в i -ом интервале.

При построении совместим соответственно графики $P(t)_i$ и $Q(t)_i$ (рис. 2) и $a(t)_i$ и $\lambda(t)_i$ (рис. 3).

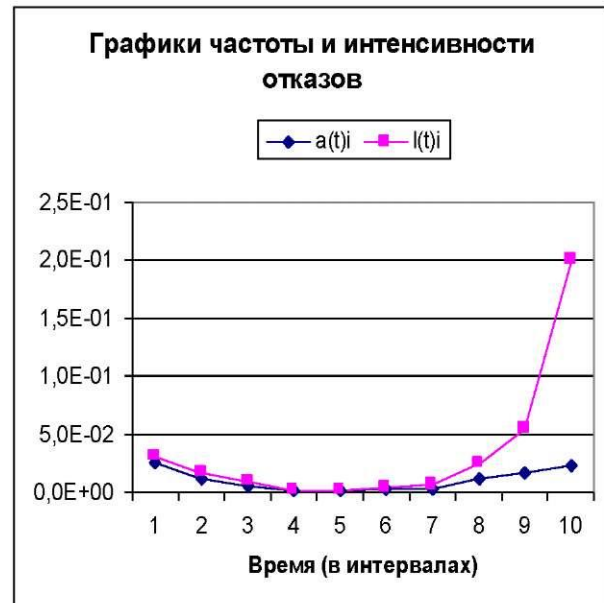
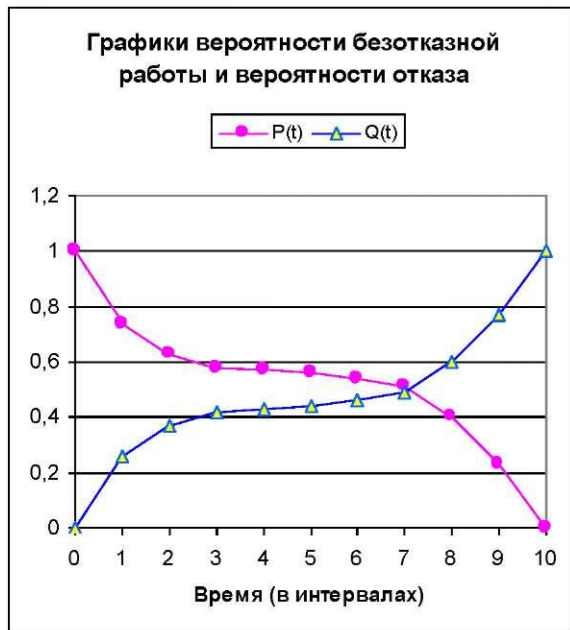


Рис.2. Графики $P(t)_i$ и $Q(t)_i$

Рис.3. Графики $a(t)_i$ и $\lambda(t)_i$

Для определения показателей T_0 , T , T_γ построим расчетную схему (рис. 4).

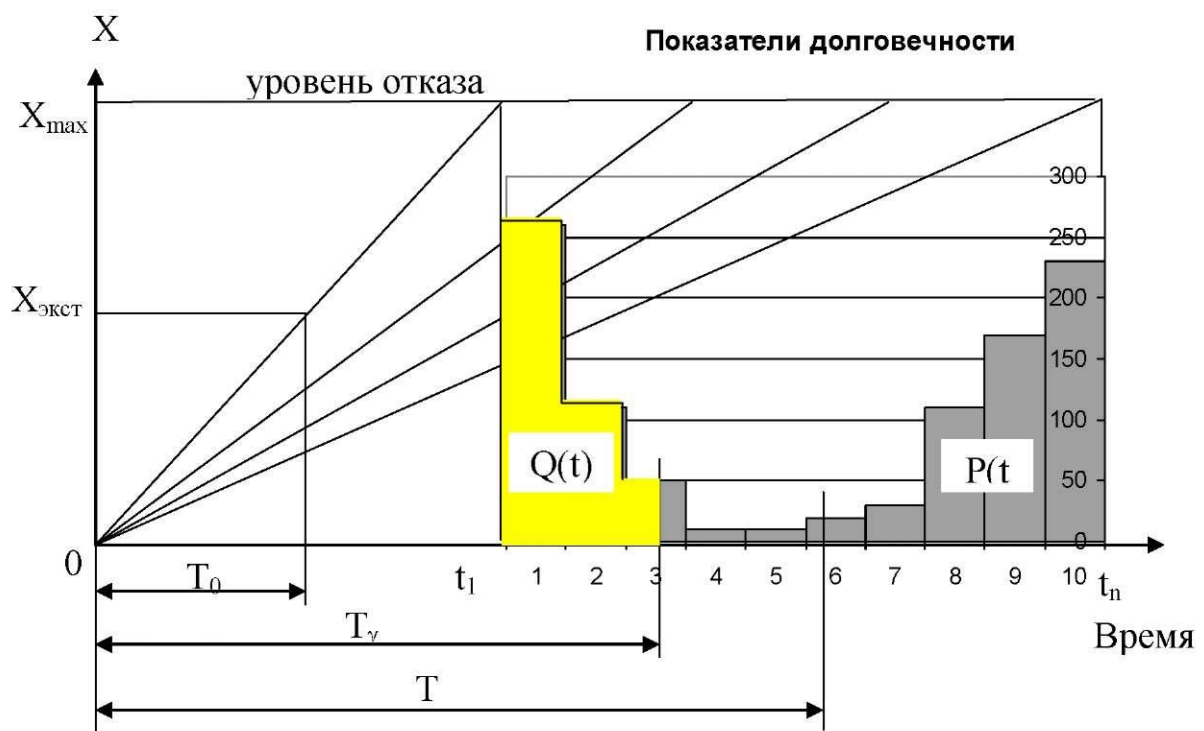


Рис. 4. Расчетная схема для определения показателей долговечности

Величину T_0 определим с учетом формулы (5) из подобия треугольников:

$$T_0 = t_1 / K_{\text{над}}^{\text{зад}} = 100 / 2 = 50 \text{ ч.}$$

Среднюю наработку на отказ удобнее определять по формуле:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i \cdot n(\Delta t)_i}{N_0} = \frac{105 \cdot 260 + 115 \cdot 110 + \dots + 195 \cdot 230}{1000} = 153 \text{ ч.}$$

где t_i – время середины i -го интервала наблюдения, час.

Для определения T_γ примем следующие рассуждения. Это значение срока службы должно делить площадь гистограммы (рис. 4) в заданном γ -процентом отношении (в задании – $Q(t) : P(t) = 40\% : 60\%$).

Определим заданное число отказавших изделий $N_{\text{отк}}$ и сравним его со строчкой B_i табл. 1:

$$N_{\text{отк}} = N_0 \cdot (100 - \gamma) / 100 = 1000 \cdot 40 / 100 = 400 \text{ шт.}$$

Видно, что указанное событие может произойти по истечении некоторого числа интервалов наблюдений. Обозначим целое число интервалов наблюдений, прошедших до того момента, когда произойдет отказ $N_{\text{отк}}$ изделий – m . Тогда для расчета T_γ можно использовать следующую аналитическую формулу:

$$\begin{aligned} T_\gamma &= t_1 + \frac{(t_n - t_1)}{10} \cdot m + \frac{(N_0 \cdot (100 - \gamma) / 100 - B_m) \cdot (t_n - t_1) / 10}{n_{m+1}} = \\ &= 100 + 10 \cdot 2 + \frac{(400 - 370) \cdot 10}{50} = 126 \text{ ч.} \end{aligned}$$

Рассчитанные показатели долговечности в соответствующем масштабе откладываются на расчетной схеме (рис.4).

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет выполняется на миллиметровке, все графические построения выполняются в масштабе. Рекомендуемый формат отчета – А3. Допускается при оформлении отчета использовать распечатку программных листов Excel. Отчет должен содержать следующее:

1. Номер варианта задания и исходные данные для расчета.
2. Расчетную таблицу (табл. 1).
3. Графики $P(t)_i$, $Q(t)_i$ (рис. 2) и $a(t)_i$, $\lambda(t)_i$ (рис. 3).
4. Расчет значений показателей долговечности T_0 , T , T_γ .
5. Расчетную схему для показателей долговечности (рис. 4).
6. Выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните основные термины, используемые в теории надежности (надежность, работоспособность, отказ и т.д.).
2. Чем отличается параметрический отказ от функционального, отказ от сбоя или неисправности?
3. Что такое средняя наработка на отказ, для чего используется этот показатель?
4. Объясните типовой график интенсивности отказов.
5. Что характеризует гамма-процентный ресурс?

Приложение

Таблица П1

Исходные данные для расчета

Вариант Т	N ₀ , шт.	t ₁ , ч.	t _н , ч.	K _{над} ^{зад}	γ, %	Число отказавших изделий n(Δt) в интервале i									
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1000	100	200	2	60	260	110	50	10	10	20	30	110	170	230
2	500	150	250	3	70	95	70	60	15	10	5	20	40	85	100
3	1000	150	300	2,5	90	230	170	110	30	20	10	10	50	110	260
4	500	200	400	3,5	75	20	40	60	120	70	40	30	40	30	50
5	1000	250	350	1,75	85	100	60	80	60	60	140	240	120	100	40
6	750	120	250	2	60	165	120	80	30	15	10	10	30	100	190
7	500	120	200	1,5	60	130	55	25	5	5	10	15	55	85	115
8	1000	180	300	3	75	260	180	20	10	0	10	20	60	60	380
9	600	250	400	3,5	85	115	60	55	40	45	40	35	50	65	95
10	500	225	375	1,25	80	50	30	40	30	40	70	120	60	40	20
11	750	85	275	2	60	75	45	45	75	120	240	60	45	15	30
12	800	150	200	2,5	65	208	144	16	8	0	8	16	48	48	304
13	500	170	250	1,5	70	190	30	30	10	5	2	5	10	90	130
14	1000	210	300	1,75	85	40	20	60	80	320	160	100	60	60	100
15	550	120	230	2	70	130	70	60	50	40	20	60	50	40	30
16	650	90	220	2,5	75	140	80	70	60	50	30	60	70	50	40
17	700	150	300	3	65	30	40	60	60	120	130	90	70	60	40
18	800	140	290	1,5	85	50	60	80	100	130	120	90	70	55	45
19	900	100	250	1,75	90	130	120	100	80	40	20	60	120	130	100
20	1000	160	300	1,5	75	200	160	130	80	40	30	70	90	110	90

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. пособие / А. Н. Трусов. - Кемерово: КузГТУ, 2010.
2. Трусов Александр Николаевич. Автоматизация производственных процессов: методические указания для практических работ по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении», для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения» / А. Н. Трусов Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); зв.; цв.; 12 см. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 95; (CD-ROM-дисковод); мышь. - Загл. с экрана.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ИЗДЕЛИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ.....	2
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	2
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	2
3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	9
3.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	9
3.2. КОДИРОВАНИЕ ДЕТАЛИ ПО КАЖДОЙ ОПЕРАЦИИ	9
3.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ.....	10
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2	19
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА	19
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ.....	19
2. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	21
2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	21
2.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	21
2.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	23
2.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	24
2.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	25
3. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МЗУ	25
3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	25
3.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	25
3.3. <i>Расчет МЗУ на производительность</i>	<i>26</i>
3.4. <i>Расчет МЗУ на отсутствие заклинивание</i>	<i>28</i>
3.5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	29
3.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	30
3.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	30
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВБЗУ	31
4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	31
4.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	31
4.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	39
4.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	39
4.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	40
5. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА АЗУ	41
5.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	41

5.2	ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ ДЕТАЛИ.....	41
5.3	РАСЧЕТ МЗУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОСТАВА АЗУ	44
5.4	РАСЧЕТ ВБЗУ	47
	ПРИЛОЖЕНИЕ	53
	ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. ПОСТРОЕНИЕ ЦИКЛОГРАММ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	62
1.	ЦЕЛЬ РАБОТЫ	62
2.	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	62
3.	ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	64
4.	ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	66
5.	СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	67
6.	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	67
	ПРИЛОЖЕНИЕ	68
	ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. БАЛАНС ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	76
1.	ЦЕЛЬ РАБОТЫ	76
2.	ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	76
3.	ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	77
4.	СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	79
5.	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	79
6.	ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	79
6.1.	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	79
6.2.	РАСЧЕТ БАЛАНСА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	79
	ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТАНКА 16K20MФ3	86
1.	ЦЕЛЬ РАБОТЫ	86
2.	ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	86
4.	ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	91
5.	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	93
6.	СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	93
	ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6 ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПС.....	102
1.	ЦЕЛЬ РАБОТЫ	102

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	102
3. ПРИМЕР ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ГПС.....	108
3.1. ФОРМИРОВАНИЕ СОВОКУПНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ГПС	108
3.2. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ГПС И ОЦЕНКА ЕГО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ДРУГИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА.....	114
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	132
5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	134
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ	135
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ	137
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	137
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	137
2.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ.....	137
2.2. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ	139
2.2.1. ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ.....	139
2.2.2. ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ	142
3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	143
4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	146
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	146