

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»
(НГТУ)

А.Н. ПЕТРОВСКИЙ
Е.А. КУЛИКОВА

КОМПЛЕКС УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

**«АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ПРОИЗВОДСТВ»**

*Рекомендовано Ученым советом Нижегородского государственного
технического университета в качестве учебно-методического пособия
для студентов безотрывных форм обучения
по направлению подготовки бакалавров*

*15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроитель-
ных производств»*

Профиль подготовки:
«Технология машиностроения»

Нижний Новгород 2016

Комплекс учебно-методических материалов по изучению дисциплины «Автоматизация технологических процессов в машиностроении» / А.Н. Петровский, Е.А. Куликова; НГТУ, Н. Новгород, 2016. – 135 с.

Пособие содержит рабочую учебную программу, опорный комплект лекций, описание лабораторных работ и методические указания по их выполнению. Приведены вопросы для самоконтроля, глоссарий терминов и перечень литературы, рекомендуемой для глубокого изучения дисциплины.

Редактор

Подп. в печать XX.XX.20XX. Формат 60×84 1/16. Бумага
офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. ...

Уч. изд. л. 7. Тираж XXX/ Экз. Заказ XXX.

Нижегородский государственный технический университет.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, ГСП-41, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный
технический университет, 2016

© Петровский А.Н., Куликова Е.А., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Пояснительная записка.....	5
Рабочая учебная программа дисциплины	6
Опорный конспект лекций	19
Введение.....	19
1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении – основные термины, определения и задачи автоматизации.....	19
1.1. Критерии целесообразности современного производства.....	19
1.2. Классификация производственных процессов по видам энергии.....	20
1.3. Основные термины и определения.....	20
1.4. Классификация автоматизированных СТО по логике управления и уровню организации.....	21
2. Производственный процесс как объект автоматизации.....	22
2.1. Производственные потоки и их взаимодействие.....	22
2.2. Конструктивно–технологические основы автоматизации.....	24
2.3. Классификация и кодирование деталей.....	26
2.4. Отбор деталей в технологические группы.....	27
2.5. Отработка технологичности деталей	27
2.6. Комплексная деталь	30
2.7. Комплекс признаков.....	31
2.8. Матрица поверхностей.....	31
2.9. Групповой план обработки поверхностей.....	33
2.10. Формирование маршрута группового технологического процесса.....	34
3. Показатели нормирования, загрузки и типов автоматизированного производства	36
3.1. Техническое нормирование автоматизированного производства.....	36
3.2. Структура штучного времени автоматизированной операции.....	37
3.3. Показатели трудоемкости, станкоемкости и их отношения.....	41
3.4. Рабочее место и его специализация.....	42
3.5. Типы производства.....	43
3.6. Расчет коэффициента закрепления операций.....	45
3.7. Загрузка персонала.....	48
3.8. Загрузка оборудования.....	49
3.9. Пооперационный мониторинг участка.....	49
4. Комплексная автоматизация массового и крупносерийного производства...51	51
4.1. Технологические автоматические машины.....	51
4.2. Движение предметов и инструмента в технологической машине.....	51
4.3. Автоматические линии, их структура и компоновка	53
4.4. Транспортировка и ориентация предметов в автоматических линиях	55
4.5. Роторные линии.....	61
4.6. Циклические, рефлекторные и самонастраивающиеся автоматические машины.....	63
5. Комплексная автоматизация серийного и мелкосерийного производства	64

5.1. Гибкие производственные системы, их структура и особенности.....	64
5.2. Автоматизированная транспортно-складская система.....	67
5.3. Промышленные роботы.....	70
5.4. Управление промышленными роботами.....	71
5.5. Классификация промышленных роботов.....	72
5.6. Структурная схема промышленного робота.....	72
5.7. Технические характеристики промышленных роботов.....	73
5.8. Производительность и надежность автоматизированных СТО.....	75
6. Размерные связи в автоматизированных технологических процессах.....	77
6.1. Виды размерных связей.....	77
6.2. Анализ размерных связей и достижение точности замыкающих звеньев.....	78
6.3. Пример установочной размерной цепи.....	79
6.4. Примеры операционных размерных цепей.....	81
6.5. Примеры межоперационных размерных цепей.....	81
6.6. Изготовление деталей на спутниках.....	87
6.7. Выверка положения заготовки на спутнике и станке.....	88
6.8. Этапы достижения точности обработки в ГПС.....	89
7. Временные связи в автоматизированном производстве.....	90
7.1. Цель и задачи построения временных связей процесса.....	90
7.2. Циклограмма автоматизированного цикла.....	91
7.3. Понятие о действительных фондах и затратах времени как о случайных величинах.....	92
7.4. Структура подготовительно-заключительного времени ГПМ.....	93
7.5. Особенности загрузки ГПМ.....	96
8. Автоматизация процессов сборки.....	96
8.1. Сущность и этапы автоматического сборочного процесса.....	96
8.2. Технологичность конструкций для автоматической сборки.....	97
8.3. Достижения точности при автоматической сборке.....	100
8.4. Методы и средства транспортирования и ориентирования деталей.....	105
9. Информационное обеспечение автоматизированного производства.....	108
9.1. Структура интегрированной автоматизированной системы управления.....	109
9.2. Уровни управления автоматизированного производства.....	110
9.3. Структура, функции и порядок разработки управляющих программ.....	110
Описание практических занятий.....	114
Контроль знаний.....	125
Глоссарий.....	127
Список литературы.....	134

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Комплекс учебно-методических материалов по изучению дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств» содержит рабочую программу дисциплины, опорный конспект лекций преподавателя, методические указания к лабораторным работам и практическим занятиям, вопросы для контроля знаний студентов, глоссарий основных терминов и понятий дисциплины, список используемой литературы.

К комплексу приложены дополнительные обучающие средства в электронном виде: библиотека литературы по дисциплине, программные средства, обучающие файлы, архив чертежей для заданий, примеры выполнения графических заданий, фото- и видеоматериалы автоматизированного технологического оборудования, презентации по отдельным разделам дисциплины.

Состав и содержание дополнительных обучающих средств определяется преподавателем.

Комплекс учебно-методических материалов разработан на основе ранее изученных студентами дисциплин: «Основы технологии машиностроения», «Управление системами и процессами», «Теория автоматического управления», «Металлорежущие станки», «Основы автоматизированного проектирования».

В результате изучения дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств» студенты должны знать:

- основные термины и определения автоматизированных технологических процессов и производств в машиностроении;
- технические, экономические и социальные преимущества автоматизации по сравнению с неавтоматизированным производством;
- основные цели, задачи, принципы и методы построения автоматизированных производственных процессов;
- способы и оборудование для хранения и транспортирования изделий;
- особенности жестких и гибких автоматизированных производств;
- конструктивно-технологические основы выбора и подготовки изделий для автоматизированных производств;
- особенности интегрированных производственных комплексов (ИПК);
- особенности формирования информационных, временных и размерных связей в автоматизированном производственном процессе;
- особенности обработки на станках с ЧПУ;
- условия обеспечения точности при обработке на станках с ЧПУ;
- структуру и функции управляющих программ станков с ЧПУ;
- особенности и методы автоматизированной сборки.

Знания, полученные студентами должны использоваться при изучении курсов: "Технология машиностроения", "Технологические основы ГАП", "Проектирование машиностроительных производств", "САПР технологических процессов".

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины - обучение принципам и методам построения автоматизированных технологических процессов изготовления деталей и сборки изделий в машиностроении.

Задачи:

- изучение методов и средств автоматизации технологических процессов машиностроительных производств;
- изучение принципов и методов построения автоматизированных технологических процессов в машиностроении.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

Дисциплина относится к профессиональному циклу (БЗ) к дисциплинам по выбору (ДВ5).

На «входе» дисциплины студенты должны иметь достаточную подготовку в области следующих дисциплин профессионального цикла:

- «Основы технологии машиностроения» (технологический процесс и его характеристики, показатели качества машиностроительной продукции, базирование и базы, технологичность конструкций машин);
- «Технологические процессы в машиностроении» (классификация технологических процессов и производств в машиностроении, теоретические основы и оборудование технологических процессов в машиностроении).

Полученные в процессе изучения дисциплины знания и навыки используются студентами при изучении при написании выпускной квалификационной работы и в профессиональной деятельности.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВПО и ООП ВПО по данному направлению подготовки:

а) общекультурных (ОК):

- способность к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3).

б) профессиональных (ПК):

- способность собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления машиностроительной продукции, средств технологического оснащения, автоматизации и управления (ПК-5);
- способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе на основе анализа вариантов оптимального, прогнозировании последствий решения (ПК-7);
- способность разрабатывать (на основе действующих стандартов) техническую документацию (в электронном виде) для регламентного эксплуатационного обслуживания средств и систем машиностроительных производств (ПК-13).

В результате изучения дисциплины студент должен:

ЗНАТЬ

- особенности формирования размерных связей в автоматизированном технологическом процессе;
- особенности обработки на станках с ЧПУ;
- условия обеспечения точности при обработке на станках с ЧПУ;
- структуру и функции управляющих программ станков с ЧПУ;

- особенности автоматизации технологических процессов.

УМЕТЬ

- разрабатывать, нормировать и анализировать автоматизированные технологические процессы;
- обоснованно выбирать вид, состав и количество оборудования автоматизированных технологических процессов;
- разрабатывать управляющие программы для станков с ЧПУ;
- решать вопросы, связанные с обеспечением автоматизированных технологическим процессом.

ИМЕТЬ НАВЫКИ

- разработки автоматизированных технологических процессов;
- в решении задач обеспечения необходимого уровня автоматизации технологических процессов.

Приобрести опыт деятельности по разработке автоматизированных технологических процессов в машиностроении.

4. Содержание и структура дисциплины

4.1. Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Введение.	Цели и основные задачи курса. Критерии целесообразности автоматизации технологических процессов. Этапы, проблемы и тенденции развития автоматизации технологических процессов в машиностроении.	РК, ПЗ, ЛР
2	Технологические процессы, подлежащие автоматизации.	Классификация технологических процессов. Классификация автоматизированных средств технологического оснащения. Классификация и кодирование предметов труда. Показатели технологичности для автоматизированных технологических процессов. Групповой технологический процесс. Графическое представление технологической группы деталей. Комплексная деталь и комплекс признаков. Матрица поверхностей. Групповой план обработки. Назначение операций и выбор оборудования. Описание группового технологического процесса.	РК, ПЗ, ЛР
3	Техническое нормирование в автоматизированном технологическом процессе	Структуры штучного времени для автоматизированных технологических операций. Основные показатели нормирования автоматизированного технологического процесса. Трудоемкость, станкоёмкость и многостаночное обслуживание. Рабочее место и его специализация. Расчет коэффициента закрепления операций. Такт, ритм и синхронизация автоматизированного процесса. Определение и анализ показателей загрузки для персонала и оборудования. Рациональный выбор уровня автоматизации. Анализ временных связей. Циклограммы работы средств автоматизации. Методы повышения эффективности исполь-	РК, ПЗ, ЛР

		зования оборудования.	
4	Размерные связи в автоматизированном технологическом процессе	Размерные связи на операции и по технологическому процессу. Размерные связи при изготовлении деталей на спутниках. Автоматизация установки заготовок на спутниках. Состав информационных задач при различных способах достижения установки заготовки и спутника. Выбор способа и средств обеспечения требуемой точности установки. Этапы достижения точности изготовления деталей на станках с ЧПУ. Понятие статической и динамической настройки автоматизированных средств производства. Анализ размерных связей при изготовлении деталей.	РК, ПЗ, ЛР
5	Автоматизированные машины и системы производства.	Классификация машин основного и вспомогательного назначения. Надежность и производительность автоматизированных машин. Системы управления машинами автоматизированного производства. Машины, механизмы и автоматизированные системы транспортировки, складирования, инструментального обеспечения. Автоматические линии (АЛ), их классификация. Структура и компоновка. Оборудование и оснастка АЛ. Надежность и производительность АЛ. Гибкие производственные системы (ГПС), их структура и особенности. Гибкость и производительность станочных систем. Роботизированные станочные системы и их структура. Основные типы механизированных и автоматизированных складов, применяемых в ГПС.	РК, ПЗ, ЛР
6	Автоматизация технологических процессов сборки	Сущность и этапы автоматического сборочного процесса. Технологичность конструкций для условий автоматической сборки. Особенности выбора и реализации методов достижения точности при автоматической сборке. Методы и средства транспортирования и сборки изделий, ориентирования деталей, режимы их работы. Гибкие автоматические сборочные системы, автоматические и адаптивные сборочные устройства. Загрузочно-транспортные устройства.	РК, ПЗ, ЛР
7	Информационное обеспечение автоматизированных технологических процессов	Классификация основных потоков информации в производственном процессе. Состав информационных задач на этапах проектирования и управления производственным процессом. Информационное обеспечение автоматизированного производства. Уровни управления. Структура и функции управляющих программ станков с ЧПУ. Порядок разработки управляющих программ. Методы и средства разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.	РК, ПЗ, ЛР

4.2 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

Наименование работы	В часах трудоемкости
	По семестрам (7 семестр)
Общая трудоемкость	180
Аудиторная работа	72
Лекции (ЛК)	18
Практические занятия (ПЗ)	18
Лабораторный практикум (ЛР)	36
Самостоятельная работа	108
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)	-
Расчетно-графическое задание (РГЗ)	-
Реферат (Р)	-
Самостоятельное изучение разделов	29
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	71
Подготовка и сдача зачета	8
Вид промежуточного контроля	зачет

Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеауд. работа СР
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1	Введение.	2,6	0,6	0	0	2
2	Технологические процессы, подлежащие автоматизации.	23,7	1,6	4	8,1	10
3	Техническое нормирование в автоматизированном технологическом процессе	23,5	2,4	1,6	8,5	11
4	Размерные связи в автоматизированном технологическом процессе	17,5	4,3	0,1	4,1	9
5	Автоматизированные машины и системы производства.	43,7	4,5	7,1	7,1	25
6	Автоматизация технологических процессов сборки	6,7	1,5	1,1	1,1	3
7	Информационное обеспечение автоматизированных технологических процессов	25,3	3,1	4,1	7,1	11
ИТОГО:		143	18	18	36	71

Тематический план освоения дисциплины по видам учебной деятельности

№ п.п	Наименование разделов дисциплины	Номер и наименование темы	Количество часов (форма обучения)					Самостоятельная работа (СР)	Часов	
			Аудиторная работа							
			всего	ЛК	ПЗ	ЛР	Другие виды			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Введение	1.1.Цели и основные задачи курса.	0,1	0,1						2,6
		1.2.Критерии целесообразности автоматизации технологических процессов.	1,2	0,2					1	
		1.3.Этапы, проблемы и тенденции развития автоматизации технологических процессов в машиностроении.	1,2	0,2					1	
	Аттестация		0,1	0,1						
2	Технологические процессы, подлежащие автоматизации	2.1.Классификация технологических процессов.	1,1	0,1					1	23,7
		2.2.Классификация и кодирование предметов труда.	1,9	0,3	0,6				1	
		2.3.Показатели технологичности для автоматизированных технологических процессов.	5,9	0,4	1,5	2			2	
		2.4.Групповой технологический процесс.	4,9	0,3	0,6	2			2	
		2.5.Групповой план обработки.	4,8	0,2	0,6	2			2	
	2.6.Комплексная деталь и комплекс признаков.	4,8	0,2	0,6	2			2		
	Аттестация		0,3	0,1	0,1	0,1				
3	Техническое нормирование в автоматизированном технологическом процессе	3.1.Структуры штучного времени для автоматизированных технологических операций.	1,6	0,2		0,4			1	23,5
		3.2.Основные показатели нормирования автоматизированного технологического процесса.	1,8	0,3		0,5			1	

		3.3.Трудоемкость, станкоёмкость и много-станочное обслужива-ние.	1,6	0,1		0,5		1	
		3.4.Рабочее место и его специализация. Рас-чет коэффициента за-крепления операций.	1,6	0,1		0,5		1	
		3.5.Такт, ритм и син-хронизация автоматизи-рованного процесса.	1,6	0,1		0,5		1	
		3.6.Определение и анализ показателей за-грузки для персонала и оборудования.	4,3	0,3		2		2	
		3.7.Рациональный вы-бор уровня автоматиза-ции.	2,3	0,3		1		1	
		3.8.Анализ временных связей. Циклограммы работы средств автома-тизации.	7,1	0,6	2	3		2	
		3.9.Методы повыше-ния эффективности ис-пользования оборудова-ния.	1,3	0,3				1	
	Аттеста-ция		0,3	0,1	0,1	0,1			
4	Размер-ные связи в автома-тизиро-ванном техноло-гическом процессе	4.1.Размерные связи на операции и по техно-логическому процессу.	1,6	0,6				1	7,5
		4.2.Размерные связи при изготовлении дета-лей на спутниках.	1,6	0,6				1	
		4.3.Автоматизация установки заготовок на спутниках.	1,6	0,6				1	
		4.4.Состав информа-ционных задач при раз-личных способах дости-жения установки заго-товки и спутника.	1,3	0,3				1	
		4.5.Выбор способа и средств обеспечения требуемой точности установки.	1,5	0,5				1	
		4.6.Этапы достижения точности изготовления деталей на станках с ЧПУ.	2,4	0,4		1		1	
		4.7.Понятие статиче-	2,6	0,6		1		1	

		ской и динамической настройки автоматизированных средств производства.							
		4.8.Анализ размерных связей при изготовлении деталей.	4,6	0,6		2			2
	Аттестация		0,3	0,1	0,1	0,1			
5	Автоматизированные машины и системы производства	5.1.Классификация машин основного и вспомогательного назначения.	4,1	0,1					4
		5.2.Надежность и производительность автоматизированных машин.	1,6	0,1		0,5			1
		5.3.Системы управления машинами автоматизированного производства.	3,8	0,3		0,5			3
		5.4.Машины, механизмы и автоматизированные системы транспортировки, складирования, инструментального обеспечения.	5,1	0,6	1	0,5			3
		5.5.Автоматические линии (АЛ), их классификация. Структура и компоновка.	4,4	0,4	1,5	0,5			2
		5.6.Оборудование и оснастка АЛ.	4,1	0,6	1	0,5			2
		5.7.Надежность и производительность АЛ.	2,7	0,2		0,5			2
		5.8.Гибкие производственные системы (ГПС), их структура и особенности.	5,3	0,8	1	1,5			2
		5.9.Гибкость и производительность станочных систем.	4,3	0,3	0,5	1,5			2
		5.10.Роботизированные станочные системы и их структура.	6,5	0,5	2	1			3
		5.11.Основные типы механизированных и автоматизированных складов, применяемых в ГПС.	1,5	0,5				1	
								43,7	

	Аттестация		0,3	0,1	0,1	0,1			
6	Автоматизация технологических процессов сборки	6.1.Сущность и этапы автоматического сборочного процесса.	1,2	0,2				1	6,7
		6.2.Особенности выбора и реализации методов достижения точности при автоматической сборке	1,6	0,6				1	
		6.3.Гибкие автоматические сборочные системы, автоматические и адаптивные сборочные устройства.	3,6	0,6	1	1		1	
	Аттестация		0,3	0,1	0,1	0,1			
7	Информационное обеспечение автоматизированных технологических процессов	7.1.Классификация основных потоков информации в производственном процессе.	1,1	0,1				1	25,3
		7.2.Состав информационных задач на этапах проектирования и управления производственным процессом.	1,2	0,2				1	
		7.3.Информационное обеспечение автоматизированного производства.	3,6	0,6		1		2	
		7.4.Структура и функции управляющих программ станков с ЧПУ	6,7	0,7	2	2		2	
		7.5.Порядок разработки управляющих программ.	7,7	0,7	2	3		2	
		7.6.Методы и средства разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.	4,7	0,7		1		3	
	Аттестация		0,3	0,1	0,1	0,1			
Итого:			143	18	18	36		71	143

4.3 Лабораторные работы

Таблица 6

№ п.п	Номер темы дисциплины	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1	3.1-3.8	1.Анализ показателей загрузки машин автоматизированного технологического процесса	4
2	5.8.-5.10, 6.3	2.Анализ гибкости производственной системы	4
3	7.3-7.6	3.Моделирование токарной обработки	4
4	7.3-7.6	4.Моделирование фрезерно-сверлильной обработки	4
5	2.3-2.6	5.Анализ группы деталей	4
6	2.4-2.6	6.Разработка группового технологического процесса	4
7	4.6-4.8	7. Анализ межоперационных размерных связей автоматизированного технологического процесса	4
8	3.6-3.8	8.Анализ межоперационных временных связей автоматизированного технологического процесса	4
9	5.2-5.9	9.Исследование автоматизированной производственной системы	4
ИТОГО:			36

4.4 Практические занятия

Таблица 7

№ п.п	Номер темы дисциплины	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1	2.2-2.6	1.Освоение системы конструктивно-технологического кодирования	2
2	2.3	2.Обеспечение технологичности конструкции детали для автоматизированного процесса	2
3	5.5, 5.8	3.Построение вариантов компоновок автоматизированной производственной системы	2
4	5.4, 5.6, 6.3	4.Выбор технологического оборудования и транспортных средств автоматической производственной системы	2
5	5.5, 5.6, 5.9, 6.3	5.Проектирование гибкой автоматической линии	2
6	5.10	6.Проектирование робототизированного технологического комплекса	2
7	7.4, 7.5	7.Разработка управляющей программы для токарной обработки	2
8	7.4, 7.5	8.Разработка управляющей программы для фрезерно-сверлильной обработки	2
9	3.8	9.Построение циклограммы работы автоматизированной системы	2
ИТОГО:			18

4.5 Курсовой проект (курсовая работа)

Не предусмотрено.

4.6 Самостоятельная работа бакалавра при изучении разделов дисциплины

4.6.1. Подготовка к аудиторным занятиям:

- самостоятельное изучение;
- проработка лекционного материала и рекомендуемой литературы (см. разделы 7.1-7.4);
- подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям (см. раздел 7.5).

4.6.2. Перечень тем для самостоятельного изучения студентами

Таблица 8

№ раздела	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	2	3
5	Классификация промышленных роботов.	2
	Конструкция промышленных роботов.	2
	Конструкции промышленных роботов.	3
	Системы управления промышленными роботами.	3
	Методы программирования промышленных роботов.	3
	Робототизированные комплексы заготовительного производства.	3
7	Автоматизация программирования автоматизированного оборудования.	2
	Структура систем программирования.	2
	Описание объектов производства.	3
	Описание средств технологического оснащения.	3
	Описание технологии.	3
ИТОГО:		29

4.6.3. Другие виды самостоятельной работы студентов

- подготовка к зачету (8 часов).

5 Образовательные технологии

На занятиях используются интерактивные образовательные технологии в форме презентаций, реализуемых с помощью мультимедийных средств. Презентации посвящены иллюстрации возможностей и принципов работы автоматизированных систем и средств автоматизации процессов.

5.1 Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Таблица 9

Перечень интерактивных образовательных технологий

Се-местр	Вид занятия	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
7	Л, ПЗ, ЛР	Презентации с использованием мультимедийных средств.	18
ИТОГО:			18

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

6.1. Образец оценочных средств для рубежного контроля в виде заданий по темам лекционных занятий

Перечислите производственные процессы в машиностроении.

Какое назначение имеют информационные потоки в автоматизированном производстве?

Какие функции выполняют промышленные роботы в автоматизированном производстве?

6.2. Образцы оценочных средств в виде вопросов для текущего контроля по отдельным разделам дисциплины

Перечислите формы организации автоматизированных производственных процессов.

Поясните известные вам подходы к автоматизации производственных процессов в машиностроении. Приведите и поясните примеры.

Каким образом решаются задачи автоматизации производственных процессов в машиностроении?

6.3. Образец оценочных средств для текущего контроля в виде перечня вопросов, задаваемых после проведения практической работы

Перечислите параметры работы транспортных средств автоматизированного производства.

Поясните известные вам формы организации автоматизированных систем транспортировки.

Какие факторы ограничивают применение промышленных роботов?

6.4. Образец оценочных средств для текущего контроля в виде перечня вопросов, задаваемых после проведения лабораторной работы

Перечислите показатели эффективности средства автоматизации.

Назовите показатели надежности автоматических линий.

Какая связь существует между показателями надежности и производительности автоматизированных производственных систем

6.5. Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (зачет)

1. Особенности и тенденции развития современного производства.
2. Критерии целесообразности современного производства.
3. Классификация производственных процессов по видам энергии.
4. Классификация автоматизированных СТО по логике управления.
5. Классификация автоматизированных СТО по уровню организации.
6. Производственные потоки и их взаимодействие.
7. Разъясните конструктивно–технологические основы автоматизации.
8. Виды унификации машин и механизмов.
9. Сущность секционирования, лонгирования, агрегатирования.
10. Сущность базового агрегатирования, компаундирования, конвертирования. Сущность модифицирования и параметризации.
11. Перечислите показатели нормирования и загрузки производства.
12. Типы производства и их основные характеристики.
13. Как определяется загрузка персонала автоматизированного участка?
14. Как определяется загрузка оборудования автоматизированного участка?

15. Расскажите о матричном методе контроля участка.
16. Классификация и особенности основных классов автоматических машин.
17. Автоматические линии, их структура и компоновка.
18. Транспортировка и ориентация предметов в автоматических линиях.
19. Основные принципы работы накопителей, питателей и бункеров.
20. Этапы автоматизации производства как переход от автоматической загрузки к автоматической транспортно-ориентирующей системе.
21. Роторные линии и их особенности.
22. Циклические, рефлекторные и самонастраивающиеся автоматические машины.
23. Гибкие производственные системы, их структура и особенности.
24. Автоматизированная транспортно-складская система – назначение, особенности, основные характеристики.
25. Классификация промышленных роботов.
26. Транспортные роботы и особенности их применения.
27. Структурная схема промышленного робота.
28. Технические характеристики промышленных роботов и их выбор.
29. Временные связи в автоматизированном производстве. Цель и задачи построения временных связей.

7 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература

Таблица 10

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
1	Схиртладзе А.Г. Воронов В.Н. Борискин В. П.	Автоматизация производственных процессов в машиностроении	Старый Оскол: ООО "ТНТ", 2007. - 148 с	Учебник: В 2-х т. Печатный. Рекомендован Министерством образования и науки РФ	Т.1 – 20 шт. Т.2 – 20 шт
2	Петровский А.Н. Куликова Е. А.	Комплекс учебно-методических материалов по изучению дисциплины "Автоматизация производственных процессов в машиностроении"	Н.Новгород: Изд-во НГТУ, 2006. - 120 с.	Пособие. Печатное. Рекомендовано Ученым советом Нижегородского государственного технического университета в качестве учебно-методического пособия	361

7.2 Дополнительная литература

Таблица 11

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
1	Житников Ю. З. и др.	Автоматизация производственных процессов в машиностроении	Старый Оскол: ООО "ТНТ" 2011. – 656с.	Учебник: 2-е изд. перераб. и доп. Печатный. Рекомендован Министерством образования и науки РФ	8
2	Иванов А.А	Автоматизация технологических процессов и производств	М.: Форум, 2011. - 223 с.	Учеб. пособие. Печатное. Рекомендовано УМО вузов по образованию в обл.автоматизированного машиностроения (УМО АМ)	25
3	Рачков М.Ю.	Технические средства автоматизации	Моск.гос.индустриальный ун-т. - М. : МГИУ, 2009. – 186 с.	Учебник: 2-е изд.,стер. Печатный Рекомендовано УМО вузов по образованию в обл.автоматизированного машиностроения (УМО АМ)	5

7.3 Периодические издания

Журнал «СТИН»

Журнал «Технология машиностроения»

7.4 Интернет-ресурсы

1. Автоматизация производства <http://www.ortems.ru/>
2. Разработка систем автоматизации <http://www.rekord-eng.com/>
3. Комплексная автоматизация <http://www.petroglif.ru/>

7.5 Методические указания и материалы по видам занятий

Таблица 12

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библ.
	А.Н. Петровский, Е.А. Куликова	Автоматизация производственных процессов в машиностроении	НГТУ, Н.Новгород 2016г.	Комплекс учебно-методических материалов Электронная версия	На кафедре

7.6 Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий

Операционная система Windows XP

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерный класс ИПТМ оснащенный Pentium в количестве 12 шт., компьютерный проектор.

ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Современный рынок машиностроительной продукции – рынок острой конкуренции, а главное свойство его товаров – конкурентоспособность.

Конкурентоспособность - это совокупность показателей качества и стоимости товаров, определяющая их предпочтительность для потребителя. Иными словами необходимо, чтобы потребительские свойства, цена, условия поставки и эксплуатационные гарантии выпускаемых изделий были лучше, чем у вполне доступных и не менее качественных конкурирующих образцов. Поэтому главная задача современного машиностроительного предприятия заключается в том, чтобы создать конкурентоспособную продукцию, превзойти конкурентов в продажах и получить достаточные для развития доходы.

Конкурентоспособность достигается высоким уровнем подготовки производства, его технологического оснащения, организации и управления. Каждое из этих направлений включает сложные задачи, которые в целях достижения превосходства над конкурентами должны решаться в короткие сроки и с минимальными затратами ресурсов.

Сходство и повторяемость производственных задач позволяет применять типовые, унифицированные и стандартные решения, по которым накоплен богатый опыт автоматизации. Современное производство представляет собой интегрированный производственный комплекс (ИПК) автоматизированных средств и систем всех стадий создания и производства товара – исследований, опытно-конструкторских работ, технологической подготовки, производственных процессов, сбыта, организации и управления.

Структурными единицами ИПК являются автоматизированные производственные процессы обработки деталей и сборки изделий. Они определяют *рентабельность, эффективность и конкурентоспособность* предприятия и его продукции.

1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ, ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1. Критерии целесообразности современного производства

Главный критерий целесообразности современного производства – конкурентоспособность продукции. Конкурентоспособность характеризуется *коэффициентом конкурентоспособности*:

$$K = \frac{\text{Э}}{\text{Ц}}, \quad (1)$$

Э – доходы потребителя от использования изделия, руб.;

Ц – затраты потребителя на приобретение и эксплуатацию изделия, руб.

Количественная оценка конкурентоспособности позволяет моделировать

жизненный цикл товаров, прогнозировать сбыт, управлять качеством продукции и своевременно совершенствовать производственные процессы.

Для достижения конкурентоспособности машиностроительное производство должно быть *рентабельным*, а его продукция *эффективной*.

Рентабельность характеризуется прибылью, полученной на единицу затрат, а *эффективность* – прибылью полученной на единицу продукции.

Достижение высоких показателей рентабельности и эффективности связано с *автоматизацией производственных процессов*, т.е. использованием технических средств, ограничивающих или исключаящих затраты живого труда и влияние персонала на производительность труда и качество продукции.

1.2. Классификация производственных процессов по видам энергии

Производственные процессы в машиностроении характеризуются высокой энергоемкостью и материалоемкостью. Они выполняются на базе разнообразных машин технологического назначения – станков, кранов, транспортеров, роботов и т. д., посредством которых человек использует физическую энергию неживой природы и воздействует на предметы труда.

Соотношение энергии людей и неживой природы в производственных процессах положено в основу их классификации (табл.1). Различают: ручные, механизированные, автоматизированные и автоматические процессы.

Таблица 1

Соотношение энергии людей и неживой природы в производственных процессах

Производственные процессы	Энергия воздействия	Энергия управления
Ручные	Человек	Человек
Механизированные	Неживая природа	Человек и искусственная логическая система
Автоматизированные		
Автоматические		Искусственная логическая система

1.3. Основные термины и определения

Термины, определения и обозначения понятий автоматизации, применяемые в отечественном машиностроении и приборостроении, установлены ГОСТ 23004-78 «Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении».

Живой труд – физический и интеллектуальный труд человека.

Ручной метод выполнения технологического процесса – используется энергия людей без применения средств технологического оснащения.

Кооперировано-ручной метод выполнения технологического процесса – применение средств технологического оснащения, приводимых в действие энергией людей.

Механизация – применение энергии неживой природы в производственных процессах, управляемых людьми.

Автоматизация – применение энергии неживой природы в производственных процессах, частично управляемых людьми.

Автоматический производственный процесс – это процесс, в котором для управления и воздействия на предметы труда используется энергия неживой природы и не требуется труд человека в течение длительного времени для выполнения и повторения технологических операций.

Безлюдный производственный процесс – автоматический производственный процесс, продолжительность которого превышает одну рабочую смену.

Средства автоматизации – средства технологического оснащения (СТО), управляемые логическими устройствами искусственного происхождения. К ним относятся: полуавтоматические приспособления, автоматические приспособления, полуавтоматы и автоматы, обслуживающие и транспортные роботы, агрегатные станки, станки с числовым программным управлением (ЧПУ), автоматизированные и автоматические линии, роторные линии, роботы, автоматические измерительные устройства, логические устройства и системы управления. По функциональному назначению автоматизированные СТО объединяют в модули, комплексы и системы.

В учебной и специальной литературе распространены следующие сокращения: РТК – робото-технологический комплекс; АТСС – автоматизированная транспортно-складская система; АСИО – автоматизированная система инструментального обеспечения; АСУО – автоматизированная система удаления отходов; САК – система автоматизированного контроля; АСУ – автоматизированная система управления; САПР – система автоматизированного проектирования; АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства; АСНИ – автоматизированные системы научных исследований; МПУ – местные посты управления; ЦПУ – центральный пост управления; ЦУ – центры управления.

1.4. Классификация автоматизированных СТО по логике управления и уровню организации

Выделяют два вида систем управления технологическими процессами – жесткие и гибкие (табл.2).

Таблица 2

Применение жестких и гибких систем управления в СТО

Жесткие системы управления (постоянная логика управления)	Гибкие системы управления (адаптируемая логика управления)
П/ автоматические приспособления	Станки с ЧПУ
Автоматические приспособления	Промышленные роботы
П/автоматы	РТК
Автоматы	АТСС
П/ автоматические комплексы	АСИО
Автоматические линии	АСУО
Роторные линии	САК

Жесткая система управления – не переналаживаемая или переналаживаемая в узких пределах система управления, создаваемая на базе кинематических цепей машин и механизмов, обеспечивающих заданные законы движения исполнительных звеньев.

Гибкая система управления – переналаживаемая в широком диапазоне система управления, создаваемая на базе электронно-вычислительных машин с комплектом управляющих программ, адресующих сигналы управления приводным устройствам для обеспечения заданных законов движения исполнительных звеньев.

Автоматизированные СТО объединяют в *линии, участки, цехи и заводы* (табл.3).

Линия – расположение оборудования в порядке выполнения операций.

Участок – расположение оборудования по предметному и/или технологическому принципу.

Цех – объединение линий и участков по видам изделий и/или процессов.

Завод – объединение цехов и участков по совместно выпускаемой продукции.

Таблица 3

Уровни организации автоматизированных СТО

Организация производства	Вид управления	Сокращение в литературе
Автоматические линии, в.т.ч. гибкие	МПУ	АЛ и ГАЛ
Автоматические участки, в.т.ч. гибкие	ЦПУ	АУ и ГАУ
Автоматические цехи, в.т.ч. гибкие	ЦУ цеха	АЦ и ГАЦ
Заводы-автоматы, в.т.ч. гибкие	ЦУ завода	АЗ и ГАЗ

2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1. Производственные потоки и их взаимодействие

Производственные процессы характеризуются наличием, движением и взаимодействием *материальных и информационных потоков* (рис.1).

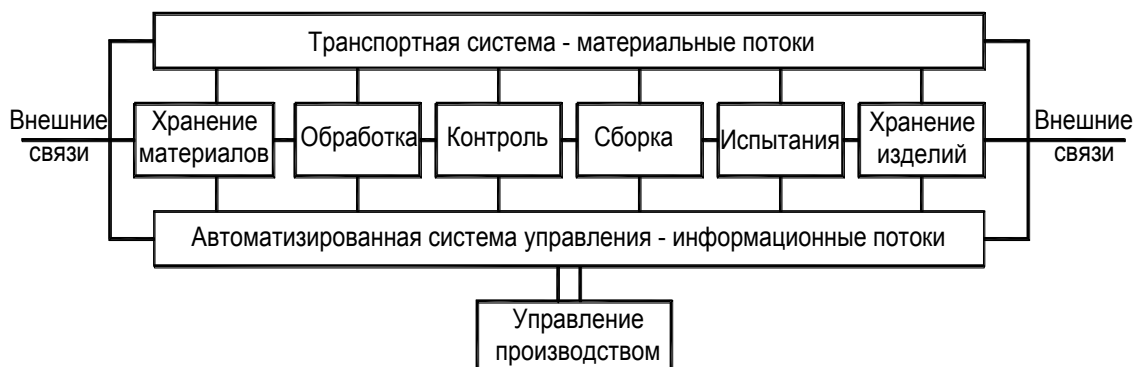


Рис. 1. Материальные и информационные потоки

Объекты материальных потоков – материалы, заготовки, детали, сборочные единицы, готовые изделия, комплекты, вспомогательные материалы, формообразующий, контрольный, измерительный инструмент, технологическая оснастка и отходы производства.

Материалы и заготовки перемещаются в соответствии с предписанными технологическими маршрутами. Поступая на предприятие, они хранятся на складе, откуда следуют на заготовительные участки, проходят полный цикл обработки, становятся деталями и узлами, поступают на сборку.

Формообразующий, контрольный и измерительный инструмент приобретается, готовится к применению, (собирается, настраивается, затачивается, контролируется), направляется в инструментальный склад, затем доставляется на рабочие места, устанавливается в станках или приспособлениях. Рабочее состояние инструмента контролируется. По истечении периода стойкости инструмент демонтируется со станка, изымается с рабочего места, восстанавливается, повторно поступает на склад, откуда цикл его применения повторяется.

Технологическая оснастка разрабатывается, модернизируется, изготавливается, хранится, доставляется на станок или рабочее место, используется при обработке, переналаживается или меняется, проходит аттестацию и ремонт, повторно используется.

Изделия и комплекты собираются из деталей и узлов, упаковываются, хранятся на складе готовой продукции и отгружаются потребителям.

Отходы производства – стружка, использованная упаковка, отработанные масла, СОЖ, изношенное оборудование и инструмент, производственный мусор – утилизируются.

Объекты информационных потоков – конструкторская и технологическая документация, программы обработки и испытаний, управляющие программы, проекты планов, производственных заданий, сводки, отчеты и т. д.

Информация о деталях, сборочных единицах, изделиях и комплектах оформляется в виде чертежей и спецификаций.

Информация о технологических процессах оформляется в виде описаний технологических процессов, технологических карт, ведомостей, контрольных карт, эскизов, управляющих программ, программ испытаний.

Управляющая информация об объемах, сроках и направлении движения объектов материальных и информационных потоков, а также персонала оформляется в виде приказов, распоряжений, нарядов, сводок, производственных отчетов и учетных документов.

Информация хранится и представляется на бумажных, магнитных и электронных носителях, а ее движение образует информационные потоки, которые параллельны материальным потокам и управляют ими.

В неавтоматизированном производстве многие информационные процессы оказываются скрытыми и неформальными, поскольку они осуществляются людьми, которые могут дополнять недостающую информацию благодаря своим знаниям, опыту и связям.

В автоматизированном производстве логические операции должны быть формализованы и автоматизированы, а вмешательство человека ограничено.

Автоматизация современного производства заключается в автоматизации материальных и информационных потоков.

Автоматизация материальных потоков осуществляется применением автоматизированных средств и их систем.

Автоматизация информационных потоков осуществляется применением компьютеров и контроллеров, их программного обеспечения и каналов связи (электрических, оптоволоконных, индуктивных, акустических, электромагнитных и др.), датчиков, воспринимающих параметры процессов, преобразователей параметров в электрические сигналы, блоков управления, обрабатывающих сигналы контроля и вырабатывающих сигналы управления, а также отчетные формы.

Управляющие компьютеры и контроллеры образуют посты и центры управления, которые объединены в единую сеть информации и управления.

Взаимодействие материальных и информационных потоков происходит в пространстве и во времени с изменением свойств материалов, формы и размеров предметов обработки. Поэтому для реализации автоматизированного производственного процесса необходимо согласовать размерные, временные и информационные связи, посредством автоматизированных систем аппаратных и программных средств, управляющих единым производственным комплексом.

Автоматизированные средства технологического оснащения и системы аппаратных и программных средств, используемые на всех стадиях создания и производства изделия (исследования, конструкторская и технологическая подготовка производства, организация и управление), совместно осуществляющие автоматизированный производственный процесс, образуют интегрированный производственный комплекс (ИПК).

2.2. Конструктивно – технологические основы автоматизации

Известно, что использование в изделии одинаковых составных частей позволяет в 1,5 – 2 раза сократить сроки разработки и объемы испытаний изделий, а также в 2-3 раза уменьшить оборот технической документации. За счет сокращения общего числа типоразмеров выпускаемых изделий увеличивается серийность производства, что позволяет применять более эффективные технологические процессы, специализировать производственные подразделения, сокращать номенклатуру оборудования, оснастки и всех видов инструмента.

Экономичность и эффективность автоматизированного производственного процесса закладывается на ранних этапах подготовки производства за счет конструктивно - технологического анализа номенклатуры на предмет:

типизации – сокращения количества конструктивно-технологических признаков относительно числа изделий и технологических объектов;

унификации – сокращения количества оригинальных изделий выпускаемой номенклатуры, а также технологических объектов в производстве;

стандартизации – применения технических решений, изделий и технологических объектов, свойства и параметры которых прошли длительную провер-

ку практикой и приняты в качестве международных, государственных или отраслевых стандартов.

Задачи типизации, унификации и стандартизации решаются на стадии разработки новых моделей и их опытных образцов. Разработку всех без исключения изделий технические службы должны начинать с анализа на предмет заимствования стандартных, покупных и уже освоенных производством изделий.

Унификация представляет собой эффективный и экономичный способ создания на базе исходной модели ряда производных изделий различного назначения или с различными характеристиками. Основная цель унификации – повысить серийность производства.

Основные требования к унификации изделий определяются ГОСТ 23945.0-80 «Унификация изделий. Основные требования». Стандарт рассматривает процесс унификации как обязательный и регламентирует его контроль службой стандартизации предприятия. Последовательность конструкторской унификации представляется следующим образом: комплекс – изделие – узел – деталь – конструктивные элементы. (Комплекс – совокупность изделий, объединенных общими функциями или применением.)

Существует несколько методов унификации, которые часто применяются совместно.

Секционирование – разделение изделий на одинаковые секции и образование новых изделий набором унифицированных секций: цепи, конвейеры, теплообменные аппараты, фильтры, двигатели и т.п.

Лонгирование - увеличение размера изделия в одном направлении при сохранении поперечного сечения: конвейеры, шестеренчатые насосы, зубчатые передачи, вальцовочные машины и т. п.

Агрегатирование – создание изделий путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы, устанавливаемые в различных комбинациях и количестве на общей станине или в общем корпусе: дизель-генераторы, агрегатные станки, электронасосы и т. п.

Базовое агрегатирование – применение унифицированной базовой машины для установки на нем специального оборудования различного назначения: тракторы и автомобили специального назначения.

Компаундирование (многопоточность) – параллельная установка машин, механизмов и их узлов для совместной эксплуатации: несколько двигателей на летающем аппарате, несколько насосов на одну напорную сеть, несколько одинаковых приводных механизмов в одной машине, многоместные технологические приспособления, многошпиндельные станки, многорукие роботы и т.п.

Конвертирование – применение базовой модели изделия в новых условиях, с новым рабочим телом или по новому назначению: переоснащение двигателей внутреннего сгорания для работы с различными видами топлива или применения в качестве автотракторного, судового, авиационного и т.п.

Модифицирование – приспособление изделия к новым условиям работы без изменения конструкции: хладостойкие материалы, антикоррозионные материалы, дополнительные системы подготовки рабочего тела, специальные покрытия, уплотнения и т.п.

Параметризация – создание параметрических рядов изделий одинакового назначения, с показателями и размерами, изменяющимися в соответствии заданным размерным или размерно-подобным рядом. Иногда диапазону ряда ставят в соответствие изделия другого типа, тогда говорят о типоразмерных рядах: подшипники, трубопроводная арматура, крепеж, редукторы, насосы, фильтры и т.п.

Типизация, унификация и стандартизация – рассматриваются как конструктивно-технологические основы автоматизации так как обеспечивают рост серийности производства, применяемости автоматизированных СТО и сокращение удельных производственных затрат.

2.3. Классификация и кодирование деталей

Известное множество конструктивно-технологических признаков различных изделий описано в классификаторе ЕСКД и технологическом классификаторе деталей машиностроения и приборостроения. Каждому конструктивно-технологическому признаку классификаторы ставят в соответствие коды классификационных группировок (коды признаков).

Конструкторско-технологический код (КТК) детали состоит из 20 знаков, которые характеризуют основные признаки по форме, размерам, методу изготовления и виду деталей. Структура КТК детали, состоящая из кодов конструктивных и технологических признаков, представлена на рис.2.



Рис.2. Структура конструктивно-технологического кода

Кодирование позволяет дать описание конструктивно-технологических свойств деталей и формализовать их для последующей автоматизированной обработки. КТК используется для автоматизации решения следующих задач: систематизация и учет конструктивно-технологических признаков; отработка деталей на технологичность; типизация, унификация и стандартизация изделий; типизация технологических процессов; разработка групповых технологических процессов; организация поддетально-специализированных производств; учет технической документации; автоматизация проектирования; автоматизация управления проектами; автоматизация управления технологическими процес-

сами; автоматизация информационных потоков; автоматизация материальных потоков.

Распределение признаков по позициям кода представлено в табл. 4.

Таблица 4

Основные признаки группирования

Позиции кода	Признаки
1 - 6	Форма деталей
7, 8, 9	Размеры
10, 11	Материал
12	Метод изготовления
13, 14	Вид заготовки
15, 16, 17, 18	Точность изготовления
19	Дополнительная обработка
20	Масса

2.4. Отбор деталей в технологические группы

КТК позволяет группировать детали в технологические группы по различным признакам (кодам) классификации. Для целей группирования массив КТК сводится в базу данных, которую последовательно сортируют по различным позициям кода, формируя группы с общими конструктивно-технологическими признаками. Для эффективного управления целесообразно сгруппировать изделия по каждой позиции КТК. Это позволяет иметь полную систематизированную информацию о множестве используемых конструктивно-технологических признаков и соответствующих им группах изделий.

Наиболее крупные технологические группы представляют собой наиболее перспективные объекты автоматизации

Детали с общими конструктивно-технологическими признаками объединяют для обработки в *групповые технологические процессы*.

Групповой технологический процесс – изготовление группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками на базе общих СТО. Детали группы рекомендуется представлять таблицей, в колонках которой показывают: 1) номер детали в группе; 2) номер чертежа; 3) технологический код детали; 4) эскиз детали с основными размерами; 5) качество наиболее точной поверхности; 6) наименьшую шероховатость; 7) материал; 8) массу; 9) программу производства. Если все детали группы выполняют из одного материала и/или имеют одинаковую массу, то эти данные указывают в основной надписи. Пример таблицы с группой деталей приведен на рис. 3.

2.5. Отработка технологичности деталей

После группирования деталей производят их отработку на технологичность, которую осуществляют в группах последовательно: от наиболее – к

наименее сложной детали, для группы деталей, для всех сформированных групп.

50-71-001-101-1201-01-ТМУ-12-05			Эскиз детали						Число зубьев, Z	Модуль, m	Квали- тет	Ra, мкм	Масса детали, кг	Годовой выпуск шт
N	Обознач.	КТК												
1	5П85ТМ.72-6	72.15128Г112431414439							24	2	6	0,8	1,29	3000
2	5П85ТМ.72-5	72.13228Е11243141443А							24	2	7	1,25	1,45	3000
3	1МЛМ1 53-29	72.13228Г112431414439							21	2	7	1,25	0,64	3000
4	1МЛМ1 53-14	72.13228Е112431414439							24	2	7	1,25	0,66	3000
5	1МЛМ1 53-42	72.13229Е11243141443А							28	2	7	1,25	1,42	3000

ДП-НГТУ-1201-(01-ТМУ)-12-05			
Исполн.	Провер.	Матр.	Метр.
Упр.	Специал.	Упр.	Масштаб
Техн.	Технология	Матр.	1:1
Матр.	Матр.	Матр.	Матр.
Матр.	Матр.	Матр.	Матр.
Группа деталей			НГТУ СВФ
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71			

Рис.3. Оформление чертежа группы деталей

При отработке технологичности деталей рекомендуется рассмотреть следующий перечень возможностей:

1. Сокращение номенклатуры материалов.
 2. Сокращение видов заготовок и методов их получения.
 3. Сокращение видов и режимов химико-термической обработки.
 4. Сокращение типоразмеров деталей.
 5. Сокращение близких размеров приведением их к одной величине.
 6. Сокращение видов механической обработки.
 7. Сокращение типоразмеров технологического оборудования.
 8. Сокращение применяемой оснастки и инструмента.
 9. Сокращение объемов слесарной обработки.
 10. Минимизация припусков.
 11. Обеспечение доступа и выхода инструмента для всех поверхностей.
 12. Соответствие линий контура траекториям движения инструмента.
 13. Применение односторонней обработки.
 14. Применение симметричных конструкций.
 15. Применение одинаковых галтелей, канавок, фасок, отверстий и т.п.
 16. Применение многоместной и многоинструментальной обработки.
 17. Применение разрезных деталей и заготовок.
 18. Совмещение конструктивных и технологических баз.
 19. Соответствие размеров рядам предпочтительных чисел.
 20. Исключение имитации литейных и штамповочных уклонов, галтелей.
 21. Исключение завышения точности размеров.
 22. Исключение занижения шероховатости поверхностей.
 23. Исключение лишней обработки за счет кантов, приливов, бобышек, и т. п.
 24. Задание фасонных поверхностей математическими соотношениями.
 25. Наличие технологических отверстий и канавок для выхода инструмента.
 26. Обработка на проход.
 27. Обеспечение безударной работы режущего инструмента.
 28. Обеспечение соотношений экономически-целесообразной точности :
$$T_{\delta} = 0.5T_p; T_{\text{пар}} = 0.6T_p; T_{\text{ц}} = 0.3T_p; T_{\text{п}} = 0.05T_{\text{пар}}; R_a = 0.05T_p; R_a = 0.1T_{\delta},$$
где T_p – допуск на размер; T_{δ} – допуск на биение; $T_{\text{пар}}$ – допуск на параллельность; $T_{\text{ц}}$ – допуск на цилиндричность; $T_{\text{п}}$ – допуск на плоскостность; R_a – шероховатость.
- Повышение точности должно быть обосновано конструктором.
29. Рациональное применение совместной обработки и обработки в сборе.
 30. Исключение повреждения заготовок, деталей и узлов при межоперационном транспортировании и закреплении.

В результате отработки технологичности удастся сократить нерациональные конструктивно-технологические решения и номенклатуру деталей, произвести типизацию конструктивных элементов, параметризацию и унификацию изделий. Следует стремиться к сокращению конструктивно-технологических групп, особенно небольших и требующих дорогостоящего оборудования. Не

следует стараться делать все детали в собственном производстве. Непрофильные изделия следует размещать на специализированных предприятиях.

2.6. Комплексная деталь

Групповые технологических процессы разрабатывают на основе общего множества признаков с использованием понятия комплексной детали.

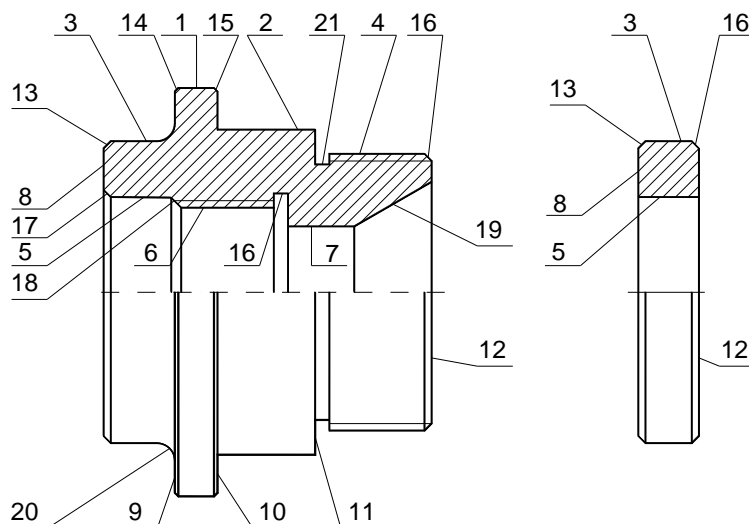
Комплексная деталь – реальная или условная деталь, содержащая все признаки, характерные для деталей группы, и являющаяся их конструктивно-технологическим представителем.

Под основными признаками понимаются поверхности, определяющие конфигурацию деталей и технологические процессы их обработки. Каждой поверхности ставится в соответствие множество объектов производства: СТО, их наладки, режимы обработки, фрагменты управляющих программ и т.д. Это множество является критерием выделения поверхностей комплексной детали – изменение множества требует выделения отдельной поверхности.

Конструирование условной комплексной детали производится методом наложения. Из чертежей деталей группы выбирается деталь с наибольшим числом поверхностей – деталь представитель. Затем рассматриваются детали, отличающиеся от нее наличием оригинальных поверхностей, которые наносят на чертеж детали-представителя. В результате рассмотрения всех чертежей получается условная комплексная деталь, содержащая все поверхности деталей группы. Поверхности комплексной детали нумеруются.

Рекомендуется следующая последовательность нумерации: наружные и внутренние поверхности, перпендикулярные каждой из осей координат, конические и наклонные к осям координат поверхности, конструктивные элементы (канавки, галтели, пазы и т. п.). Конструктивные элементы, формируемые методом копирования, считают одной фасонной поверхностью.

Номера поверхностей комплексной детали переносятся на соответствующие поверхности деталей группы. Так как детали группы содержат не все поверхности комплексной детали, номера отсутствующих поверхностей на эскизах деталей пропускаются. На рис. 4 представлена комплексная деталь и одна из возможных деталей группы.



2.7. Комплекс признаков

Для деталей сложной конфигурации и деталей, образующих параметрические ряды, создание комплексной детали вызывает технические трудности. Формальное наложение поверхностей приводит к утрате формы и признаков базирования. В этом случае может быть рекомендован метод комплекса основных конструктивно-технологических признаков.

Комплекс признаков – размеры и характеристики поверхностей, систематизированные в таблице, с представлением форм деталей общим или отдельным для каждого изделия эскизом. Для разработки таблицы все обрабатываемые поверхности деталей группы представляют в общей системе координат и последовательно нумеруют так же, как и у комплексной детали. Табличный метод позволяет выявить дополнительные резервы типизации и унификации, а также рационально отобрать поверхности для групповой обработки. Сделанная в электронном виде (Excel), таблица становится расчетным массивом для последующих матричных расчетов, что компенсирует трудоемкость ее составления. В таблице рекомендуется оставлять свободные позиции для ее дополнения.

Пример графического оформления комплекса основных признаков для рассмотренной выше группы валов-шестерен приведен на рис.5.

Анализ этого комплекса показывает, что у деталей группы достаточно рационально заданы номинальные размеры, точность и качество наружных поверхностей. Они однородны и могут быть обработаны на общем оборудовании. Однако наличие у первой детали развитых внутренних поверхностей и ее небольшая доля (20%) в программе выпуска указывают на то, что обработку внутренних поверхностей не следует включать в групповой технологический процесс.

Метод комплекса основных признаков позволяет с необходимой степенью подробностей описать технологическую группу для разработки технологических процессов с высокой степенью автоматизации.

2.8. Матрица поверхностей

Между комплексной деталью, комплексом признаков и отдельными деталями группы устанавливают соответствие с помощью матрицы поверхностей:

$$[L] = (l_{ji}), \quad (2)$$

где l_{ji} – наличие (1) или отсутствие (0) у j -й детали i -й поверхности.

Матрица поверхностей – математическая модель технологической группы. Описание деталей задается матрицей-столбцом (или матрицей-строкой) из m элементов, где m – число элементарных поверхностей (признаков) в комплексной детали. Для комплексной детали столбец заполнен единицами, а для деталей группы – как единицами, так и 0.

Матрицы используются для решения самых различных задач групповой обработки. Примером может служить проверка принадлежности детали к груп-

пе. Новая деталь относится к группе при условии, что все ее поверхности имеются у комплексной детали или входят в комплекс признаков.

ДП-НГТУ-1201-(01-ТМУ)-12-05																
№	Поверхности	D	L(R)	b	t	Квалитет	Ra	m	z	α°	x	Zw	W	Исходный контур	n	
1	Зубчатые наружные	42	25			5-6-B-H	2.5	2	21	17	0	3	15,3489	Специальная	1	
2		48	18			6-B	2.5	2	24	17	0	3	15,4329	Специальная	1	
3		48	50			6-B	2.5	2	24	20	0	3	15,3489	ГОСТ 13755-81	2	
4		56	45			6-B	2.5	2	28	20	0	4	21,4492	ГОСТ 13755-81	1	
5																
6	НЦП	46	25			h7	2.5								1	
7		52	18			h7	2.5								1	
8		52	50			h7	2.5								2	
9		60	45			h7	2.5								1	
10																
11	НЦП правые	50	7			h12	6.3								1	
12		45	24			n6	1.25								1	
13		40	12			h12	6.3								3	
14		30	17			n6	1.25								3	
15		28	38			h12	6.3								1	
16	20	15			n6	1.25								2		
17																
18	НЦП левые	45	13			n6	1.25								1	
19		42	21			f7	1.25								1	
20		40	11			h12	6.3								1	
21		30	16			n6	1.25								1	
22		30	25			n6	1.25								1	
23		28	12			h12	6.3								1	
24		28	30			h12	6.3								1	
25		24	50			m6	1.25								2	
26																
27		20	12			n6	1.25								1	
28	18	23			h12	6.3								1		
29	14	40			m6	1.25								1		
30																
31	Зубчатые внутренние	32	25			6-6-H	3.2	1	32	20	0	1.5	30,4294	ГОСТ 13755-81	1	
32																
33	ВЦП левые	36	20			H12	12.5								1	
34																
35	ВР	M8	12			7H	6.3								1	
36																
37	Фаски наружные правые	20	1			$\pm P14/2$	6.3			45					2	
38		30	1			$\pm P14/2$	6.3			45					3	
39		46	4			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
40		52	4			$\pm P14/2$	6.3			45					3	
41		60	4			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
42	Фаски наружные левые	14	1			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
43		18	1			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
44		20	1			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
45		24	1			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
46		30	1			$\pm P14/2$	6.3			45					2	
47		42	4			$\pm P14/2$	6.3			30					1	
48		45	2			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
49		46	4			$\pm P14/2$	6.3			45					3	
50		52	4			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
51		60	4			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
52																
53	Фаски внутренние левые	30	2			$\pm P14/2$	6.3			30					1	
54		M8	1.6			$\pm P14/2$	6.3			45					1	
55																
56	Канавки наружные	20	2	0.5		$\pm P14/2$	6.3								4	
57		30	2	0.5		$\pm P14/2$	6.3								1	
58		40	2	0.5		$\pm P14/2$	6.3								1	
59		42	2	0.5		$\pm P14/2$	6.3								1	
60																
61	Канавки шпоночные	14	25	6	3.5	P9	3.2								1	
62		20	25	6	3.5	P9	3.2								1	
63		24	25	10	4	P9	3.2								2	
64	Галтели правые	28	2			$\pm P14/2$	6.3								2	
65		40	2			$\pm P14/2$	6.3								2	
66	Галтели левые	28	2			$\pm P14/2$	6.3								2	
67		40	2			$\pm P14/2$	6.3								2	
68	Торцовые поверхности правые	20	10			± 0.5	6.3								2	
69		28	4			$\pm P14/2$	3.2								2	
70		30	15			± 0.5	6.3								2	
71		40	5			$\pm P14/2$	3.2								2	
72		45	2.5			$\pm P14/2$	6.3								2	
73		46	7			$\pm P14/2$	6.3								1	
74		50	2			$\pm P14/2$	6.3								1	
75	52	6			$\pm P14/2$	6.3								3		
76	60	5			$\pm P14/2$	6.3								1		
77																

N	Поверхности	D	L(R)	b	t	Квалитет	Ra	n	
78	Торцовые поверхности левые	14	7			$\pm P14/2$	3.2	3.2	
79		18	2			± 0.5	6.3	6.3	
80		20	1			$\pm P14/2$	3.2	3.2	
81		24	12			± 0.5	6.3	6.3	
82		28	3			± 0.5	6.3	6.3	
83		30	3			$\pm P14/2$	3.2	3.2	
84		40	5			$\pm P14/2$	6.3	6.3	
85		42	5			$\pm P14/2$	6.3	6.3	
86		45	1.5			$\pm P14/2$	6.3	6.3	
87		46	9			$\pm P14/2$	6.3	6.3	
88		52	12			$\pm P14/2$	6.3	6.3	
89		60	10			$\pm P14/2$	6.3	6.3	
90		Торцовые поверхности внутренние	36	18			$\pm P14/2$	6.3	1
91			30	6			$\pm P14/2$	6.3	1
92									

Наружные поверхности

Внутренние поверхности, канавки, фаски

Шпоночные пазы

Принятые сокращения
D - диаметр.
L/R - длина для цилиндрических поверхностей/радиальная ширина для торцовых поверхностей.
b - ширина фасок, канавок.
t - глубина пазов, канавок.
Ra - шероховатость.
m - модуль
z - число зубьев
 α° - угол исходного контура
x - коэффициент смещения
Zw - число зубьев в длине общей нормали
W - длина общей нормали
d - диаметр ролика
M - размер по ролика
НЦП - наружные цилиндрические поверхности
ВЦП - внутренние цилиндрические поверхности
ВР - внутренние резьбовые поверхности

ДП-НГТУ-1201-(01-ТМУ)-12-05			
Исполн.	Проверк.	Утвержд.	Дата
Проект.	Конструктор	Инженер	Дата
Исполн.	Проверк.	Утвержд.	Дата
Комплекс признаков		Лист	Масштаб 1:1
Сталь 40Х		Лист 1	Всего 1
ГОСТ 4543-71		НГТУ СВФ	

Рис.5. Вариант графического оформления комплекса признаков

После описания и нумерации всех поверхностей для новой детали определяется логическая функция вида:

$$r_i = (a \oplus d_i) \wedge d_i, \quad (3)$$

где a – матрица-столбец для комплексной детали или комплекса;
 d_i – матрица-столбец для новой детали.

Логическая функция представлена последовательными операциями логического сложения (\oplus) и логического умножения (\wedge).

Правила логического сложения:

$$\begin{aligned} 0 \oplus 0 &= 0 \\ 1 \oplus 1 &= 0 \\ 0 \oplus 1 &= 1 \\ 1 \oplus 0 &= 1 \end{aligned}$$

Правила логического умножения:

$$\begin{aligned} 0 \wedge 0 &= 0 \\ 0 \wedge 1 &= 0 \\ 1 \wedge 0 &= 0 \\ 1 \wedge 1 &= 1 \end{aligned}$$

Значение функции r_i отвечает на вопрос: имеет ли деталь поверхности, не включенные в комплексную деталь. Если $r_i = 0$ – такой поверхности нет; $r_i \neq 0$ – такие поверхности есть.

Примеры матрицы и решения задачи о принадлежности детали к группе приведены в табл. 6, из которой следует, что деталь d_{11} принадлежит к группе комплексной детали a ($r_{11}=0$), а деталь d_{12} не входит в эту группу ($r_{12}\neq 0$).

Таблица 6
 Матрица поверхностей

$i \backslash j$	Матрица поверхностей $[L]=(l_{ji})$										Σ	Матрицы-столбцы				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		a	d_{11}	d_{12}	r_{11}	r_{12}
1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	8	1	0	1	0	0
2	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	7	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	8	1	1	1	0	0
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7	1	1	1	0	0
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9	1	1	1	0	0
6	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	7	1	0	1	0	0
7	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	6	1	1	1	0	0
8	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	7	1	0	0	0	0
9	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	7	1	1	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Σ	8	5	7	8	6	6	6	8	8	4	66	Контрольная сумма				

2.9. Групповой план обработки поверхностей

Обработка каждой поверхности производится *поэтапно*.

Этап – часть технологического процесса, характеризующаяся определенной точностью и качеством получаемой поверхности.

Экономически рациональным является этап, содержащий один переход. Количество переходов одного этапа может быть увеличено при недостатке точ-

ности и жесткости применяемого оборудования. Содержание, последовательность и количество этапов определяют планом обработки поверхностей.

Отличают типовые, индивидуальные и групповые планы обработки.

Типовой план обработки – план, начинающийся черновым этапом, включающий последовательность основных этапов обработки и заканчивающийся этапом особо высокой точности, см. табл. 7, [11].

В него не входят обдирочный этап и этапы специальной обработки. К этапам специальной обработки относят полирование, хонингование, раскатывание и т.п.

Таблица 7

Типовой план обработки

Этапы	Обозначение	Точность <i>IT</i>	Класс точности СТО
Черновой	Э чр	13 ... 12	Н
Получистовой	Э пч	11	Н
Чистовой	Э ч	10 ... 9	Н
Повышенной точности	Э п	8 ... 7	П
Высокой точности	Э в	6	В
Особо высокой точности	Э ов	5	А

Индивидуальный план обработки – план обработки одной поверхности, включающий часть или все этапы типового плана, а при необходимости обдирочный и специальные этапы. Объем использования типового плана для каждой поверхности определяется требованиями к ее точности и качеству. В частных случаях типовой и индивидуальный план обработки совпадают.

Групповой план обработки – таблица, содержащая индивидуальные планы обработки всех поверхностей деталей, входящих в технологическую группу.

Групповой план представляют в столбцах, дополняющих справа таблицу комплекса признаков. В них указывают этапы и методы обработки. Наличие этапа обозначается сокращенным наименованием метода обработки. Фрагмент таблицы комплекса признаков с групповым планом обработки представлен в табл. 8.

Таблица 8

Фрагмент группового плана обработки

№	Поверхности	<i>D</i>	<i>L(R)</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>IT</i>	<i>Ra</i> ,	Планы обработки поверхностей						
								Эобд	Эчр	Эпч	Эч	Эп	Эв	Эов
...
9	НЦП	60	45			<i>h9</i>	2,5	Т	Т	Т	Т	-	-	-
10														
11	НЦП	50	7			<i>h12</i>	6,3	Т	Т	-	-	-	-	-
12		45	24			<i>n6</i>	0,63	Т	Т	Т	Т	Ш	Ш	-
13	правые	40	12			<i>h12</i>	6,3	Т	Т	-	-	-	-	-
...

2.10. Формирование маршрута группового технологического процесса

Групповой план обработки деталей служит основанием для назначения операций, выбора оборудования и формирования маршрута группового технологического процесса.

На основании выделенных этапов обработки формируются потенциальные операции, представляющие собой совокупность переходов одного этапа обработки основных поверхностей. Потенциальные операции формируют последовательной сортировкой строк группового плана: по методам обработки; в методах обработки – по этапам; в этапах – по операциям (станкам); в операциях – по установам; в установах – по переходам.

Разработка потенциальной технологической операции для конкретного метода обработки включает выбор модели станка и структуры операции, обеспечивающей получение заданной формы, точности и качества поверхностей. Основными критериями выбора рациональной структуры операции считают:

- максимальный объем обработки, соответствующий технологическим возможностям оборудования;
- минимальное число установов, обеспечивающее заданную точность обработки в операции;
- минимальное число позиций, обеспечивающее качество обработки в установе;
- минимальное количество переходов в позиции или установе.

В соответствии с требуемой производительностью выбирают типы станков. Модели станков выбирают по каталогам производителей и справочной литературе с учетом размеров деталей и точности обработки (см. табл. 7).

На станке определенной модели в соответствии с классом его точности может быть выполнено несколько этапов обработки. Однако в целях сохранения точности станков и рационального использования возможностей оборудования не следует концентрировать на одном станке более двух этапов. Если совокупность основных этапов данного метода обработки не может быть выполнена на станке одной модели, то подбираются другие модели станков. Это характерно для фрезерно-центровых станков, многорезцовых токарных полуавтоматов и автоматов, экономическая целесообразность которых ограничена черновым этапом. Последующие этапы обработки поверхностей выполняются на станках более точных моделей.

Перечень операций технологического процесса в последовательности их исполнения с указанием применяемого оборудования представляет собой *маршрутное описание технологического процесса*.

В табл. 9 представлен фрагмент маршрутного описания технологического процесса, полученный как результат сортировки группового плана (табл. 8), по методам обработки, этапам и операциям. Маршрутное описание группового технологического процесса включает матрицу поверхностей, в которой удобно вести последующие расчеты режимов резания, техническое нормирование, а также анализ показателей загрузки и типов производства. Подобные матрицы позволяют значительно ускорить проектирование групповых технологических процессов и вести пооперационный производственный контроль.

Более детально процесс проектирования технологических процессов изложен в работе [11].

Таблица 9

Фрагмент маршрутного описания технологического процесса

№ опер	Наименование	Станок	Этапы	Поверхности	Детали группы				
					1	2	3	4	5
...
15	Токарная	16А20Ф3	Э обд Э чр	...	...	...	...	...	...
				9	0	0	0	0	1
				10	0	0	0	0	0
				11	0	0	0	0	1
				12	0	0	0	0	1
13	1	1	0	0	1				
...	
20	Токарная	16А20Ф3	Э пч Э ч	...	...	...	...	...	...
				9	0	0	0	0	1
				10	0	0	0	0	0
				11	0	0	0	0	1
				12	0	0	0	0	1
13	1	1	0	0	1				
...	
25	Шлифовальная	3М151Ф2	Э п Э в	...	...	...	...	...	...
				9	0	0	0	0	0
				10	0	0	0	0	0
				11	0	0	0	0	1
				12	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0				
...	
...	

Групповые технологические процессы встречаются в трех основных вариантах:

1) изделия группы имеют одну общую операцию – получение заготовки, термическая обработка, нанесение покрытия и т.д. До и после групповой операции изделия обрабатываются в составе других групп или по единичному процессу;

2) изделия группы имеют общий групповой многооперационный технологический процесс. Отдельные изделия могут пропускать отдельные операции;

3) изделия нескольких групп, каждая из которых охватывает весь технологический маршрут, объединяются на нескольких операциях.

Групповой метод организации производства был разработан известным российским ученым Сергеем Петровичем Митрофановым.

3. ПОКАЗАТЕЛИ НОРМИРОВАНИЯ, ЗАГРУЗКИ И ТИПОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Техническое нормирование автоматизированного производства

Каков бы ни был уровень автоматизации производственных потоков, они управляются и контролируются людьми, занятыми на рабочих местах, подготовленных для исполнения различных операций. Неполная занятость исполнителей в автоматизированных производственных процессах ставит перед технологической службой предприятий задачу справедливого учета квалификации и затрат труда, организации рациональной загрузки оборудования и персонала.

При разработке автоматизированного производственного процесса необходимо учитывать особенности их технического нормирования.

Техническое нормирование – установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов: рабочего времени персонала и оборудования, материалов, энергии и т.д.

Важнейшей задачей технического нормирования является определение трудоемкости и станкоемкости производственного процесса, которые в значительной степени определяют расход других ресурсов и используются для решения основных задач проектирования, управления и организации производства.

Трудоемкость – время работы исполнителей.

Станкоемкость – время работы оборудования.

Трудоемкость и станкоемкость рассчитывают для каждой технологической операции и последующим суммированием определяют для производственных процессов.

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на единице технологического оборудования. Операция охватывает все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми изделиями.

Расчеты трудоемкости в автоматизированном производстве должны учитывать, что производственный персонал взаимодействует с автоматизированными средствами технологического оснащения и системой автоматизированного управления (АСУ) в общем *цикле технологического процесса*.

Цикл технологического процесса $T_{\text{ц}}$ – интервал времени от начала до окончания технологического процесса изготовления или ремонта изделия.

Цикл технологической операции – интервал времени от начала до окончания периодически повторяющейся технологической операции – части цикла технологического процесса.

Число изделий в цикле, $N_{\text{ц}}$ – число изделий, обрабатываемых одновременно в одном цикле.

3.2. Структура штучного времени автоматизированной операции

Штучное время, $T_{\text{ш}}$ – интервал времени, определяемый отношением времени цикла к числу изделий в цикле:

$$T_{\text{ш}} = \frac{T_{\text{ц}}}{N_{\text{ц}}},$$

(4)

Структура штучного времени автоматизированной операции приведена в табл. 10.

Ручное время, T_p – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом при выполнении технологической операции, без применения СТО.

Кооперировано – ручное время, $T_{кр}$ – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом при выполнении технологической операции с применением СТО, но без использования энергии неживой природы.

Неперекрытое ручное время, $T_{рн}$ – сумма ручного и кооперировано – ручного времени:

$$T_{рн} = T_p + T_{кр}. \quad (5)$$

Машинно-ручное время, $T_{мп}$ – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом в период применения автоматизированных СТО.

Полное ручное время, $T_{рп}$ – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом:

$$T_{рп} = T_{мп} + T_{рн} = T_{мп} + T_p + T_{кр}. \quad (6)$$

Неперекрытое машинное время, $T_{мн}$ – часть штучного времени, равная времени функционирования автоматизированных СТО без участия персонала.

Полное машинное время, T_m – часть штучного времени, равная времени функционирования автоматизированных СТО с участием и без участия персонала.

$$T_m = T_{мп} + T_{мн}. \quad (7)$$

Время управления, T_y – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом при наблюдении за технологической операцией и воздействиях на средства управления.

Свободное производственное время, T_c – часть штучного времени, неиспользуемая персоналом для участия в технологическом цикле.

Таблица 10

Структура штучного времени автоматизированной операции

Машинное $T_m ; (T_m/T_{шт})$	Неперекрытое машинное $T_{мн} ; (T_{мн}/T_{шт})$	Свободное производственное $T_c ; (T_c/T_{шт})$		Штучное время $T_{шт} ; (1,00)$
		Управления $T_y ; (T_y/T_{шт})$		
Машинно-ручное $T_{мп} ; (T_{мп}/T_{шт})$		Полное ручное $T_{рп} ; (T_{рп}/T_{шт})$		
Кооперировано-ручное $T_{кр} ; (T_{кр}/T_{шт})$				
Ручное $T_p ; (T_p/T_{шт})$				
		Неперекрытое ручное $T_{рн} ; (T_{рн}/T_{шт})$		

Приступая к разработке автоматизированного технологического процесса, рекомендуется представить структуру штучного времени базового технологического процесса в виде табл. 10 с указанием численных значений как самого $T_{шт}$, так и его составляющих. Помимо абсолютных значений, следует привести относительную долю каждой составляющей в штучном времени. Наибольшие

составляющие полного ручного времени указывают на наиболее перспективные объекты автоматизации.

В нормировании автоматизированного процесса штучное время удобно представлять его основными составляющими:

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{мн}} + T_{\text{мр}} + T_{\text{рн}}. \quad (8)$$

Применение средств автоматизации увеличивает долю неперекрытого машинного времени и уменьшает долю ручного времени. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении трудоемкости. Для целей нормирования труда персонала применяют показатели уровня автоматизации труда:

$$d_{\text{т}} = T_{\text{мн}} / T_{\text{ш}}. \quad (9)$$

и уровня автоматизации средств технологического оснащения:

$$d_{\text{п}} = T_{\text{м}} / T_{\text{ш}}. \quad (10)$$

Из приведенных выше соотношений следует, что полное ручное время определяется выражением:

$$T_{\text{рп}} = T_{\text{ш}} (1 - d_{\text{т}}). \quad (11)$$

ГОСТ 23004-78 устанавливает 7 категорий автоматизации в зависимости от уровня автоматизации СТО (табл. 11).

Таблица 11

Категории автоматизации

№	Категории автоматизации	Диапазон изменения $d_{\text{п}}$
0	Нулевая	0 – нет автоматизации
1	Низшая	0.00 – 0.25
2	Малая	0.25 – 0.45
3	Средняя	0.45 – 0.60
4	Большая	0.60 – 0.75
5	Повышенная	0.75 – 0.90
6	Высокая	0.90 – 0.99
7	Завершенная	1.00

В серийном автоматизированном производстве сохраняется подготовительно-заключительное время, $T_{\text{пз}}$ – необходимое для изучения документации, настройки управляющих программ, подготовки рабочих мест, оборудования, приспособлений, инструмента, устройств контроля готовых изделий, возврата на хранение документации и инструмента. Применение средств автоматизации может увеличить подготовительно-заключительное время по отношению к неавтоматизированному процессу, так как требуется дополнительное время для подготовки средств автоматизации – переобучение (перепрограммирование) роботов, переналадки устройств загрузки, крепления, средств контроля и т.п.

Уровень подготовительно-заключительного времени определяется выражением:

$$\alpha = \frac{T_{\text{пз}}}{NT_{\text{ш}}}, \quad (12)$$

где N – число изделий в партии.

Уровень времени управления определим, как

$$\beta = \frac{T_y}{T_{ш}}. \quad (13)$$

Таким образом, для серийного автоматизированного производства:

$$T_{шк} = T_{ш} + \frac{T_{пз}}{N} \quad (14)$$

или

$$T_{шк} = T_{ш} (1 + \alpha). \quad (15)$$

Для неавтоматизированных операций используется другая структура штучного времени, которая, однако, не противоречит структуре штучного времени автоматизированной операции (табл. 12).

Основное время – часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояния предмета труда, т. е. время непосредственного воздействия на предмет труда (деталь, сборочную единицу или изделие в целом).

Вспомогательное время – часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предметов труда: установка, закрепление, раскрепление, снятие, ручное управление СТО, подвод и отвод инструмента, измерения и т.д.

Оперативное время – сумма основного и вспомогательного времени. При этом к оперативному времени относят только ту часть вспомогательного времени, которая не перекрывается основным временем.

Таблица 12

**Сравнение структур штучного времени
неавтоматизированной и автоматизированной операций**

Составляющие штучного времени				
Неавтоматизированная операция		Автоматизированная операция		
Оперативное	Основное	Машинное	Неперекрытое машинное	Свободное производственное
			Машинно-ручное		Управления
	Вспомогательное	Кооперировано-ручное		Ручное неперекрытое
Обслуживания	Технического	Ручное		
	Организационного			
Отдыха и естественных потребностей		Не нормируется		
Подготовительно - заключительное				

Время обслуживания рабочего места – часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание СТО в работоспособном состоянии и уход за рабочим местом.

Время технического обслуживания – время, затрачиваемое на смену инструмента, его заправку и регулировку, наладку оборудования, активное наблюдение и перемещения при многостаночном обслуживании.

Время организационного обслуживания - время, затрачиваемое на подготовку рабочего места к началу работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и уборку оборудования, другие аналогичные действия в конце смены.

В проектных расчетах время обслуживания рабочего места берут в процентах от оперативного (или машинного времени). Для времени технического обслуживания – до 6%, для времени организационного обслуживания – до 8%. Более точные результаты получают расчетом по нормативам на приемы обслуживания или хронометражем.

Время на личные потребности – часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и при утомительных работах на дополнительный отдых. В проектных расчетах это время принимают до 2,5 % от оперативного времени.

В автоматизированном производстве время на личные потребности, как правило, не нормируется. Их удовлетворение относят за счет части свободного производственного времени.

3.3. Показатели трудоемкости, станкоемкости и их отношения

Трудоемкость автоматизированной операции определяется выражением:

$$T = T_p + T_{пз} + T_y = T_{мп} + T_{рн} + T_{пз} + T_y \quad (16)$$

или через относительные показатели:

$$T = T_{ш} (1 - d_t + \alpha + \beta). \quad (17)$$

Станкоемкость автоматизированной операции определяется штучно-калькуляционным временем:

$$T_c = T_{шк} = T_{ш} (1 + \alpha). \quad (18)$$

Отношение станкоемкости и трудоемкости называют *коэффициентом многостаночного обслуживания*:

$$K_s = \frac{1 + \alpha}{(1 - d_t + \alpha + \beta)}. \quad (19)$$

Коэффициент K_s показывает расчетное число станков, которые может обслужить один рабочий на одной маршрутной операции, а величина обратная K_s – расчетное число рабочих, необходимое для выполнения этой операции:

$$P_p = \frac{1}{K_s} = \frac{1 - d_t + \alpha + \beta}{1 + \alpha}. \quad (20)$$

Из выражений (17), (19) следует, что рост уровня автоматизации сопровождается снижением трудоемкости и ростом коэффициента многостаночного обслуживания, но оба показателя могут быть существенно ухудшены завышением времени управления. Стремясь обеспечить постоянный надзор за дорогостоящим оборудованием, предприятия часто завышают время управления, которое при относительно высокой надежности оборудования и соответствующей стойкости инструмента превращается в свободное производственное время, что снижает эффективность автоматизации.

Таким образом, при нормировании автоматизированных операций следует

учитывать относительное снижение трудоемкости на величину уровня автоматизации d_t , рационально назначать время управления и использовать свободное производственное время для организации многостаночного обслуживания.

3.4. Рабочее место и его специализация

Рабочее место – это элементарная структурная единица предприятия, подготовленная для выполнения технологических операций, где размещены исполнители работ, обслуживаемое оборудование, а на ограниченное время – производственная и техническая документация, оснастка, инструмент и предметы труда.

Производственный участок – несколько рабочих мест, размещенных в одном производственном помещении и подготовленных для выполнения сходных, последовательных или однотипных технологических операций.

Оборудование и предметы обработки производственного участка образуют двумерный массив (матрицу) возможных технологических операций:

$$O_{ns} = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1j} & \dots & O_{1n} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2j} & \dots & O_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{i1} & O_{i2} & \dots & O_{ij} & \dots & O_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{s1} & O_{s2} & \dots & O_{sj} & \dots & O_{sn} \end{bmatrix}, \quad (21)$$

где n – число наименований изделий (номенклатура); s – число станков; j – номер изделия; i – номер станка.

Массив (21) может быть представлен демонстрационной таблицей распределения (номенклатуры) по единицам оборудования (рис.6).

№	1	2	...	j	...	
1	☒●	☒○	☒○	☒● ●	☒●	☒●
2	☒●	☒●	☒●	☒● ●	☒●	☒●
...	☒●	☒●	☒●	☒● ●	☒●	☒●
i	☒●	☒●	☒●	☒● ●	☒●	☒○
...	☒●	☒●	☒●	☒● ●	☒○	☒●
s	☒●	☒●	☒●	☒○	☒●	☒○

Рис.6. Демонстрационная таблица номенклатуры
☒ - оборудование; ● - изделие; ○ - отсутствие изделия

Каждая ячейка таблицы соответствует возможной операции, но не все возможные операции используются в технологическом процессе.

Максимальное число операций, которое можно выполнить на производственном участке равно числу элементов двумерного массива O_{ns} и определяется номенклатурой и количеством оборудования:

$$O_{ns} = nS. \quad (22)$$

Уровень специализации – готовности участка – для производства работ характеризуется средним *коэффициентом закрепления операций*, который рассчитывается для планируемого периода (обычно календарный месяц):

$$K_{30} = \frac{O}{P}, \quad (23)$$

где O – число различных операций; P – число рабочих мест.

Средний коэффициент закрепления операций показывает отношение числа различных операций к числу занятых рабочих. Он также отражает характер (монотонность-разнообразие) труда, частоту смены операций и связанную с этим периодичность обслуживания рабочего места информационными и материальными ресурсами.

За одним рабочим местом может быть закреплено несколько операций, в том числе, выполняемых одновременно, и для одной операции может быть предусмотрено несколько рабочих мест. Таким образом, коэффициент закрепления операций может быть как меньше, так и больше единицы.

3.5. Типы производства

Уровень специализации рабочих мест определяет тип производства:

1) *массовое производство* – одна операция выполняется одним или несколькими исполнителями, $K_{30} < 1$;

2) *крупносерийное производство* – несколько различных ритмично повторяющихся операций выполняются одним исполнителем, $1 \leq K_{30} < 10$;

3) *среднесерийное производство* – определенное планируемое множество операций выполняется одним исполнителем, $10 \leq K_{30} < 20$;

4) *мелкосерийное производство* – определенное не планируемое множество операций выполняется одним исполнителем $20 \leq K_{30} < 40$;

5) *единичное производство* – неопределенное множество неповторяющихся операций выполняется одним исполнителем, $K_{30} > 40$.

Тип производства – комплексная характеристика технических, организационных и социально-экономических особенностей производства, обусловленная специализацией, объемом и постоянством номенклатуры изделий, а также характером движения материальных и информационных потоков между рабочими местами. Тип производства оказывает решающее влияние на особенности его оснащения, организации, управления и экономические показатели. Общая характеристика типов производства приведена в табл. 13.

Рост объема выпуска стимулирует переход от единичного к серийному и массовому типам производства. Это обуславливает уменьшение доли расходов

на оплату персонала и рост доли расходов, связанных с содержанием и эксплуатацией оборудования. В целом себестоимость изделий с ростом серийности снижается.

Различие себестоимости изделия в различных типах производства определяется сложным взаимодействием разнообразных факторов: концентрацией ресурсов, повышением технологичности конструкций, применением групповых технологических процессов, средств автоматизации, высоким уровнем организации труда и управления производством

Вместе с тем, соответствующий рост энерговооруженности предприятия и применение автоматизированных СТО сокращают число рабочих мест для исполнителей низкой квалификации, т. е. имеет место противоположная тенденция – движение от массового к серийному производству.

Таблица 13

Общая характеристика типов производства

Признаки типов производства	Единичное К_{зо} > 40 Мелкосерийное 20 ≤ К_{зо} ≤ 40	Среднесерийное 10 ≤ К_{зо} < 20	Крупносерийное 1 < К_{зо} < 10 Массовое К_{зо} ≤ 1
Номенклатура	Неограниченная	Ограничена сериями	Одно-несколько изделий
Повторяемость выпуска	Не повторяется	Периодически повторяется	Постоянно повторяется
Обрабатывающее оборудование	Универсальное	Универсальное Специальное, переналаживаемое в широком диапазоне	Специальное, переналаживаемое в узком диапазоне Специальное
Вид управления оборудованием	Ручное Гибкое (ЧПУ)	Гибкое (ЧПУ)	Жесткое (Кинематические цепи)
Транспортное оборудование	С ручным управлением	С ручным управлением Транспортные роботы	Конвейеры
Склады	Механизированные	Механизированные Автоматизированные	Автоматизированные
Уровень автоматизации	0 ... 0.2	0.2 ... 0.7	0.7 ... 1.0
К-т многостаночного обслуживания	≤ 1.25	1.25 ... 5	> 5
Расположение оборудования	Групповое	Групповое и цепное	Цепное
Технологическая документация	Для узлов	Для деталей	Для операций
Применяемый инструмент	Преимущественно универсальный	Универсальный и специальный	Преимущественно специальный
Квалификация персонала	Высокая	Средняя	Высокая у наладчиков Низкая у операторов
Взаимозаменяемость	Пригонка	Неполная	Полная
Себестоимость	Высокая	Средняя	Низкая

С точки зрения социальных условий серийный тип производства следует считать наиболее оптимальным, так как за каждым рабочим местом закреплено умеренное число различных операций, выполняемых с нормальной физической нагрузкой и использованием автоматизированных СТО.

Неизбежное изменение номенклатуры, величины и структуры программы выпуска, состава и состояния СТО, а также потери рабочего времени персонала требуют постоянного контроля загрузки рабочих мест, оборудования и обеспечения плановой производительности.

3.6. Расчет коэффициента закрепления операций

В целях текущего контроля и анализа производства используются развернутые соотношения для среднего коэффициента закрепления операций и входящие в них показатели, которые также применяют в проектных расчетах и технических обоснованиях подготовки и модернизации производства.

Действующее производство. В действующем производстве коэффициент закрепления операций устанавливается для каждого рабочего места по данным отчетности или наблюдений. В зависимости от числа операций, фактически закрепленных за рабочим местом, последние группируют по типам производства. Преобладающая группа рабочих мест определяет тип производства в целом.

Рабочий проект. Рабочий проект производственного участка должен содержать подробные сведения о величине и структуре штучного или штучно-калькуляционного времени каждой технологической операции, трудоемкости и станкочасности изделия. Наличие таких данных позволяет определить необходимое число рабочих мест [17]:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^n N_j T_j}{P_{\text{вып}} F_p}, \quad (24)$$

где N_j – объем выпуска j -го изделия за планируемый период;

T_j – трудоемкость j -го изделия;

$P_{\text{вып}}$ – коэффициент выполнения норм времени;

F_p – действительный фонд времени рабочего в планируемом периоде.

Используя формулы (22) и (24), выражение (23) для среднего коэффициента закрепления операций можно привести к виду:

$$K_{30} = ns \frac{P_{\text{вып}} F_p}{\sum_{j=1}^n N_j T_j}. \quad (25)$$

Формула (25) позволяет рассчитать коэффициент закрепления операций через показатели трудоемкости изделий. Соотношение между действительным коэффициентом закрепления операций и средним характеризует степень достижения целей проектирования.

Аналитические задачи. В аналитических целях средний коэффициент закрепления операций удобно представлять через относительные показатели

нормирования. Для преобразования формулы (25) воспользуемся основным принципом построения автоматизированного производства.

Участки автоматизированного производства строятся по поточному принципу, где предметы перемещаются в едином технологическом цикле с заданным тактом.

Такт – интервал времени, через который периодически производят выпуск изделий.

$$\tau_j = \eta \frac{F_j}{N_j}, \quad (26)$$

где F_j – период работы с j -м изделием, ч.; η – коэффициент использования оборудования - учитывает потери времени, связанные с временным отсутствием ресурсов для работы оборудования, ремонтом и другими отклонениями эксплуатационного характера.

Значения коэффициента использования оборудования в проектных расчетах принимается в интервале 0,70 ... 0,95.

Если станкочемкость операции в отчетном периоде превосходит фонд рабочего времени, применяют обработку на станках-дублерах. Расчетное число станков-дублеров определяется отношением:

$$S_p = \frac{\sum_{j=1}^n N_j T_{\text{шк } ij}}{\eta F_p c}, \quad (27)$$

где c – число рабочих смен.

Если число станков-дублеров получается большим (свыше 4 ... 5), переходят к обработке на многошпиндельных или агрегатных станках.

Именно этот переход часто приводит к смене типа производства.

Действительное количество станков-дублеров S_k определяют округлением полученного значения S_p до большего целого числа.

$$S_k = \text{Округл}(S_p). \quad (28)$$

Общее число станков, используемых в технологическом процессе, определяется их суммированием по числу t маршрутных операций, т. е. операций, выполняемых с единицей номенклатуры:

$$s = \sum_{k=1}^m S_k, \quad (29)$$

где k – номер маршрутной операции.

Станки-дублеры работают со своим средним тактом:

$$\tau_{ij} = \frac{T_{\text{шк } ij}}{S_k}. \quad (30)$$

Очевидно, что такт одиночных станков совпадает с их штучно-калькуляционным временем.

Условием рациональной организации технологического потока является кратность времени каждой операции такту. Это условие позволяет полнее загружать станки-дублеры. Достичь полного совпадения тактов станков с тактом

выпуска невозможно, ввиду применения разных методов обработки и типоразмеров станков. Но сократить расхождение необходимо – для более полной загрузки оборудования. С этой целью в качестве такта выпуска изделия принимается наибольший из тактов станков:

$$\tau_j = \text{MAX}(\tau_{ij}). \quad (31)$$

Приведение тактов станков к такту выпуска называют *синхронизацией*, а отношение такта станка или группы станков-дублеров к такту выпуска – *коэффициентом синхронизации*:

$$\eta_{cij} = \frac{\tau_{ij}}{\tau_j}. \quad (32)$$

Значения коэффициента синхронизации следует обеспечивать в интервале 0,7 ... 1,0. Если выполнить это условие не удастся, то операции с низким коэффициентом синхронизации рекомендуется выводить на другие станки или участки, где может быть достигнута большая загрузка.

В натуральных единицах производительность автоматизированной операции или участка (линии, цеха) определяется *ритмом выпуска*.

Ритм выпуска, ρ_j – количество изделий, выпускаемое в единицу времени. Такт выпуска и ритм выпуска – величины обратные.

$$\tau_j = \frac{1}{\rho_j}. \quad (33)$$

Выражая штучно-калькуляционное время каждой операции через такт, получим с учетом (31), (32) выражение для ее трудоемкости:

$$T_{ij} = S_k \tau_j \frac{\eta_{cij}(1 - d_{\tau ij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}. \quad (34)$$

При $\alpha = 0$ из этой и последующих формул получают значение показателей для массового производства, в котором подготовительно-заключительное и штучно-калькуляционное время не определяются.

Трудоемкость обработки N_j изделий одного наименования получим суммированием трудоемкостей операций по всем станкам:

$$T_j = N_j \tau_j \sum_{i=1}^s \frac{\eta_{cij}(1 - d_{\tau ij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}, \quad (35)$$

а полная трудоемкость программы, включающей n наименований, рассчитывается суммированием полученных номенклатурных значений:

$$T = \sum_{j=1}^n N_j \tau_j \sum_{i=1}^s \frac{\eta_{cij}(1 - d_{\tau ij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}. \quad (36)$$

Отметим, что число станков s включает как станки-дублеры, занятые на параллельных предметных потоках, так и разнотипные последовательно работающие станки.

Такт выпуска изделий τ_j задан системой управления автоматизированного производства и не подлежит изменению персоналом. Следовательно, коэффициент выполнения норм:

$$P_{\text{вып}} = 1$$

С учетом полученных соотношений, формула (25) для коэффициента закрепления операций приводится к виду:

$$K_{30} = \left(\frac{ns}{c} \right) \frac{1}{\sum_{j=1}^n \delta_j \sum_{i=1}^s \frac{\eta_{cij}(1-d_{tij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}}, \quad (37)$$

где δ_j – коэффициент загрузки оборудования j -м изделием:

$$\delta_j = \frac{N_j \tau_j}{cF_p}. \quad (38)$$

Формула (37) позволяет определять средний коэффициент закрепления операций как для действующего технологического процесса – по фактическим показателям, так и вновь проектируемого – по расчетным, которые могут быть представлены нормативными или плановыми показателями. Формула выражает коэффициент закрепления операций через относительные величины, которые удобны для сравнения разнотипных технологических операций и процессов.

С учетом рассмотренных соотношений (37) может быть представлено в удобном для предварительных расчетов виде:

$$K_{30} \approx \left(\frac{n}{c\delta} \right) K_{sc}, \quad (39)$$

где K_{sc} – средний для всех станков коэффициент многостаночного обслуживания.

Формула (39) предполагает использование K_{sc} в составе исходных данных в качестве планируемого показателя, который должен быть обеспечен применением автоматизированных СТО.

3.7. Загрузка персонала

Формулы для расчета коэффициента закрепления операций включают в развернутом виде показатели загрузки персонала и оборудования. В выражении (37) дробь под знаком суммы определяет расчетное число рабочих, необходимое для выполнения операции с учетом коэффициента синхронизации:

$$P_{ij} = \frac{\eta_{cij}(1-d_{tij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}. \quad (40)$$

Суммирование P_{ij} по s станкам дает расчетное число рабочих, необходимое для обслуживания технологического процесса изготовления j -го изделия:

$$P_{sj} = \sum_{i=1}^s \frac{\eta_{cij}(1-d_{tij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}. \quad (41)$$

Расчетное число рабочих для j -го изделия в планируемом периоде составит:

$$P_{pj} = c\delta_j \sum_{i=1}^s \frac{\eta_{cij}(1-d_{tij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}. \quad (42)$$

Суммирование по номенклатуре n определяет расчетное число рабочих, необходимое для выполнения программы:

$$P_p = c \sum_{j=1}^n \delta_j \sum_{i=1}^s \frac{\eta_{cij}(1 - d_{ij} + \alpha_{ij} + \beta_{ij})}{1 + \alpha_{ij}}. \quad (43)$$

Число рабочих, занятых в одной смене, определяется округлением до ближайшего большего целого числа максимального из значений P_{sj} .

$$P_c = \text{Округл}[\text{МАХ}(P_{sj})]. \quad (44)$$

Число рабочих, занятых в сутки:

$$P = cP_c. \quad (45)$$

Отношение

$$\varphi_{sj} = \frac{P_{sj}}{P} \quad (46)$$

определяет коэффициент загрузки персонала в процессе обработки j – го изделия.

$$\varphi = \frac{P_p}{P} \quad (47)$$

определяет средний коэффициент загрузки персонала в планируемом периоде.

Коэффициент загрузки персонала в автоматизированном процессе следует обеспечивать в пределах 0.60 – 0.9. Ввиду сложности обслуживаемого оборудования, не следует стремиться к полной загрузке, а оставшееся время использовать как технологический резерв.

Обеспечение нормальной загрузки персонала достигают сокращением недогруженных рабочих мест за счет повышения уровня автоматизации и снижения станкоемкости технологических операций.

3.8. Загрузка оборудования

Формула (38) определяет коэффициент загрузки автоматизированного оборудования j -м изделием. Суммирование по номенклатуре n дает коэффициент загрузки автоматизированного оборудования программой отчетного периода:

$$\delta = \sum_{j=1}^n \delta_j. \quad (48)$$

Следует отличать коэффициент загрузки и коэффициент использования оборудования. Первый из них показывает, какую часть отчетного периода оборудование занято в производстве и характеризует уровень организации технологического процесса. Второй показывает, какую часть отчетного периода оборудование находится в рабочем состоянии, и характеризует ремонтпригодность оборудования и уровень работы ремонтно-эксплуатационных служб предприятия.

Для нормальной работы предприятия необходимо, чтобы коэффициент использования оборудования превышал коэффициент загрузки.

3.9. Пооперационный мониторинг участка

Из формулы (37) следует, что средний коэффициент закрепления операций – многопараметрическая функция, характеризующая подготовку и организацию производства. Он зависит от размера и структуры программы выпуска изделий, уровней автоматизации, уровней подготовительно-заключительного времени, уровней времени управления каждой операцией, коэффициентов синхронизации, загрузки и использования оборудования, числа рабочих смен и т.д. Параметры функции (37) отражают социальные, организационные и технические факторы, влияющие на производственный процесс, что позволяет вести пооперационный мониторинг и анализ производственного участка. Текущий контроль (мониторинг) рассмотренных показателей обеспечивает своевременный учет изменений в производственном процессе для принятия мер, обеспечивающих конкурентоспособное производство.

Матричное представление показателей формулы (37) удобно для их представления и обработки в составе электронных таблиц (в том числе Excel). Сформированная на стадии рабочего проектирования, электронная таблица используется в дальнейшем для моделирования различных вариантов проекта и производственных ситуаций, а также для контроля состояния производства по каждой операции с поддержкой текущих проектных и производственных отчетов на матрице размерностью $n \times s$, т. е. в системе «изделие-станок».

Пример диаграммы распределения трудоемкости для участка из пяти станков, выполняющих три маршрутные операции (1-2-2) с 7 изделиями номенклатуры, представлен на рис. 7.

Анализ показателей нормирования, загрузки и типов производства выполняется в расчетно-графической работе. На его основе решается задача оценки эффективности поддержания или изменения уровня автоматизации. Решение об увеличении уровня автоматизации должно удовлетворять критериям целесообразности, т. е. быть экономичным, эффективным и конкурентоспособным.

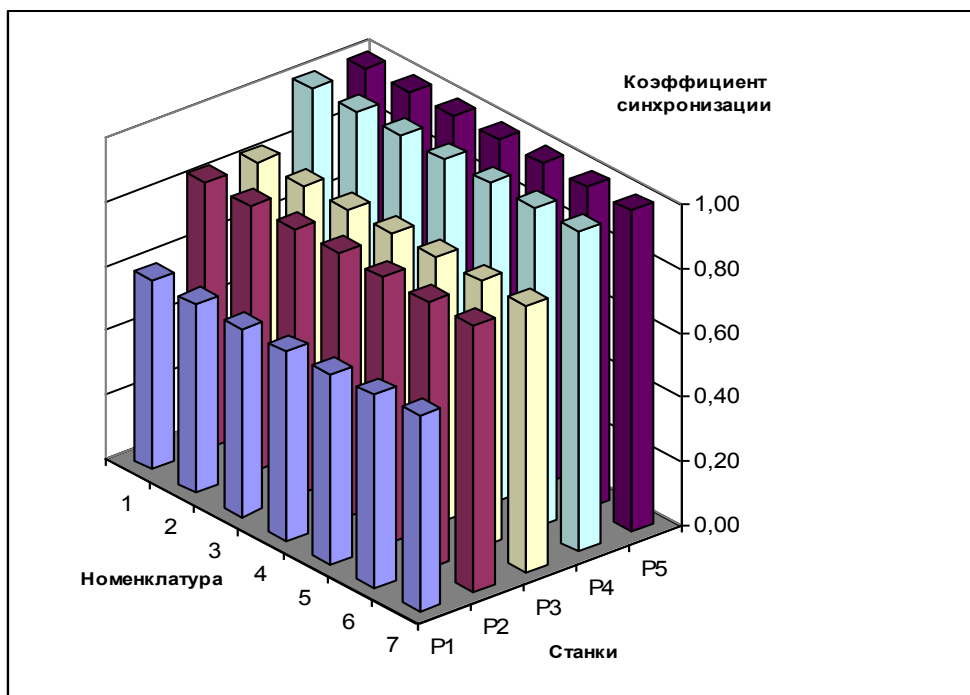


Рис.7. Диаграмма коэффициентов синхронизации на массиве 7 (изделий) × 5 (станков)

4. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ МАССОВОГО И КРУПНОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1. Технологические автоматические машины

Высокая серийность и ограниченность номенклатуры массового и крупносерийного производства определяет предпочтительное применение высокопроизводительных автоматических и полуавтоматических машин с жесткой логикой управления.

Автомат – машина, которая неоднократно осуществляет технологический цикл без участия человека, т. е. автоматически.

Если автомат представляет собой металлорежущий станок, то на нем, как минимум, автоматически выполняются: 1) ввод заготовок в рабочую зону, их ориентация, установка и закрепление; 2) обработка; 3) вспомогательные движения рабочих органов (холостые перемещения суппортов, столов, салазок, бабок и т. п.); 4) снятие обработанных изделий и 5) удаление отходов (стружки) из зоны обработки.

Человек осуществляет наладку автомата, заполнение заготовками и материалами загрузочных устройств, периодический контроль обработки, подналадку, а также смену инструмента.

На автоматах отдельных типов контроль обработки, подналадка, а также смена инструмента могут также выполняться автоматически.

Полуавтомат отличается от автомата тем, что он автоматически выполняет только один рабочий цикл и для его повторения требуется вмешательство рабочего. Например, металлорежущие полуавтоматы не имеют автоматической загрузки и рабочий должен в каждом цикле снимать детали и устанавливать заготовки вручную.

4.2. Движение предметов и инструмента в технологической машине

По характеру движения предметов и инструмента различают технологические машины дискретного, непрерывного и квазинепрерывного действия, которые относят к трем классам (табл. 14) [10].

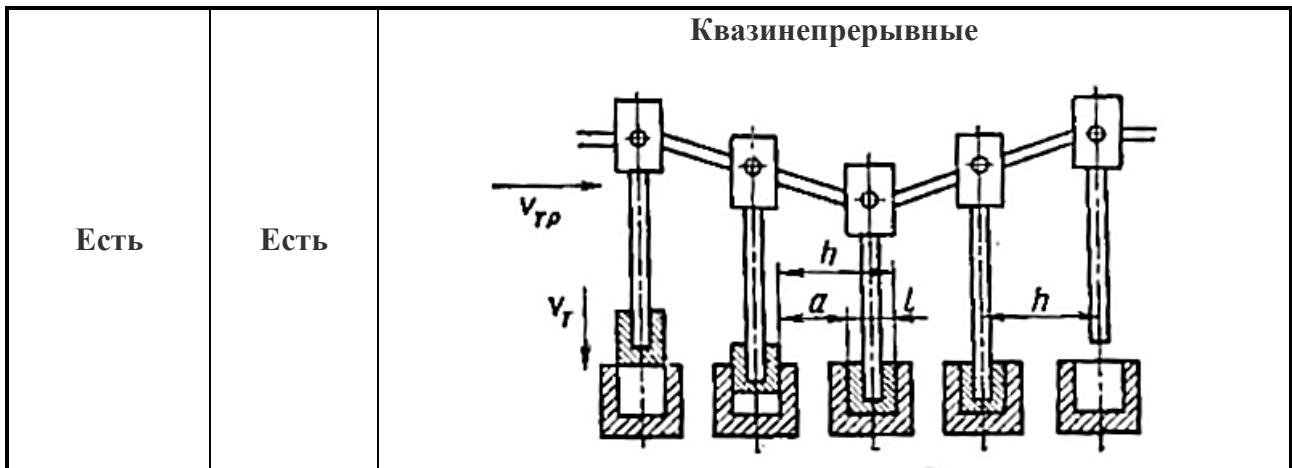
I класс – машины дискретного действия, которые требуют остановки изделия на рабочей позиции на период выполнения рабочего процесса (обычные токарные, сверлильные, фрезерные и другие станки, контрольные и сборочные автоматы и т. п.);

II класс – машины непрерывного действия, в которых орудия труда неподвижны, а предмет труда безостановочно движется (бесцентровошлифовальные станки при шлифовании на проход, станки или приспособления для непрерывного фрезерования, некоторые типы контрольных и сборочных автоматов и т. п.);

III класс – машины непрерывного действия, в которых перемещается как предмет труда, так и орудие труда, т. е. изделие и инструмент; в дальнейшем мы их будем называть квазинепрерывными.

Таблица 14
Классификация технологических машин по характеру движения [10]

Транспортное движение		Характер основных движений и класс машин
Инструмент	Деталь	
Нет	Нет	<p style="text-align: center;">Дискретные</p>
Нет	Есть	<p style="text-align: center;">Непрерывные</p>



Производительность машины I класса определяется формулой:

$$Q = \frac{1}{T_{ц}}. \quad (49)$$

$$T_{ц} = t_p + t_x + t_3 + t_o + t_{Tp}, \quad (50)$$

где t_p – время рабочих ходов; t_x – время холостых ходов (возврат инструмента); t_3 – время фиксации и зажима; t_o – время освобождения; t_{Tp} – время транспортирования.

Производительность машины I класса ограничивается временем технологического цикла и может быть увеличена либо за счет его уменьшения, либо за счет увеличения числа рабочих позиций.

Производительность машины II класса определяется формулой:

$$Q = \frac{V_T}{l+a}, \quad (51)$$

где V_T — скорость технологического движения подачи;
 l — размер детали, измеренный в направлении движения;
 a — расстояние между двумя изделиями.

Производительность машин II класса не ограничивается временем технологического цикла, а зависит лишь от скорости подачи, совпадающей со скоростью транспортирования, размера изделия и конструктивного размера a . В машинах II класса составляющие штучного времени перекрываются, следовательно, производительность этих машин значительно выше.

Производительность машин III класса определяется по формуле:

$$Q = \frac{V_{Tp}}{l+a}, \quad (52)$$

где V_{Tp} — скорость транспортного движения.

В машинах III класса скорости транспортного и технологического движения независимы друг от друга, поэтому производительность теоретически мо-

жет быть сколь угодно высокой. Но технологические скорости определяют размеры линии, так как технологический путь должен иметь длину, достаточную для выполнения всей обработки, а это может сделать машину весьма громоздкой.

Рассматривая типы машин по признаку непрерывности процесса, не следует упускать из вида точность обработки, что особенно важно для металлорежущего оборудования. К ним предъявляются особые требования по жесткости, отсутствию вибраций и т. п. Эти требования не могут быть выдержаны, если инструментальный узел и изделие находятся в движении. Значит, машины III класса могут применяться для выполнения процессов, к которым не предъявляются высокие требования к точности обработки.

Большую точность обеспечивают машины II класса, т. е. машины непрерывного действия с неподвижным инструментом, так как при сохранении весьма прогрессивного принципа непрерывности и сравнительно высокой производительности они имеют неподвижный инструмент, а значит, могут давать высокую точность обработки.

Наивысшую точность и качество поверхностей дают машины дискретного действия.

4.3. Автоматические линии, их структура и компоновка

Автоматическая линия – система автоматически управляемых машин, механизмов, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования, которая в определенной последовательности и с определенным тактом производит продукцию.

Основной признак АЛ – технологические и транспортные движения производятся силами неживой природы без участия человека. Участие человека в выполнении отдельных операций характеризуется степенью автоматизации процесса, и в этом случае линия считается автоматизированной.

В зависимости от назначения, степени автоматизации и условий работы линии имеют различную структуру и конструктивное исполнение.

По типу встроенных в линию станков различают: линии станков общего назначения, линии агрегатных станков, линии специальных станков, комбинированные и роторные.

По расположению оборудования АЛ бывают замкнутые и незамкнутые. Замкнутые линии характеризуются общим местом загрузки заготовок и выгрузки изделий. В незамкнутых линиях эти места разнесены.

Поток предметов в АЛ организуется в трех основных вариантах:

- 1) жесткая подача предметов – станки заблокированы транспортной системой, и сбой одного станка или системы приводит к простоя всей линии;
- 2) гибкая подача предметов – станки соединены с транспортной системой через накопители, которые при сбоях отдельных станков или системы поставляют предметы работающим станкам;
- 3) комбинированная подача предметов – станки заблокированы транспортной системой в небольшие группы, а между группами установлены накопители,

которые питают линию при сбое станков или системы в отдельных группах.

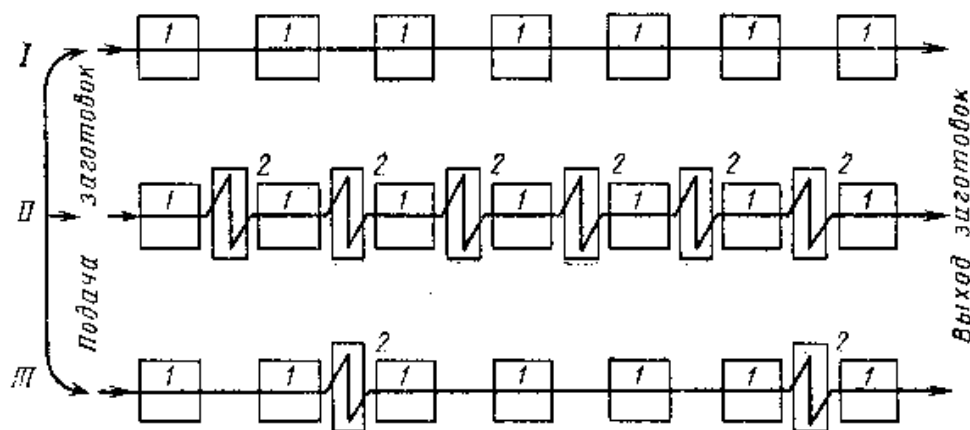


Рис.8. Компоновка автоматических линий [10]

Количество и объем накопителей определяется из условия бесперебойной работы линии - накопители должны обеспечить устранение сбоя оборудования без остановки линии. Необходимое время работы накопителя без подзагрузки определяется по ремонтным нормам или хронометражем ремонтных операций.

Конфигурация линий может быть любой и определяется планом производственных помещений, принципом доступности мест обслуживания, пожарной безопасностью, эргономическими и санитарно-техническими нормами.

Обработка деталей в АЛ может быть последовательной, параллельной и последовательно-параллельной. Участки параллельных потоков позволяют сократить время отдельных длительных операций.

4.4. Транспортировка и ориентация предметов в автоматических линиях

Перемещение предметов в АЛ производится механизмами, которые относятся к следующим группам: магазины, бункеры - ориентаторы, транспортеры.

Внедрение устройств каждой группы определяет этапы автоматизации технологических линий.

1 этап автоматизации – применение магазинных загрузочных устройств с ручной ориентацией предметов.

Магазин – устройство для ручной ориентации предметов, их хранения и подачи в позицию предоперационного базирования. Основные узлы магазина – *накопитель и питатель*.

Накопитель – предназначен для хранения и подачи к питателю предварительно ориентированных предметов. Накопители выполняют в виде: лотков, кассет, столов, решеток, цепей, каруселей, винтов, спиралей и т.п. Предметы в магазинах ориентируют ручной укладкой.

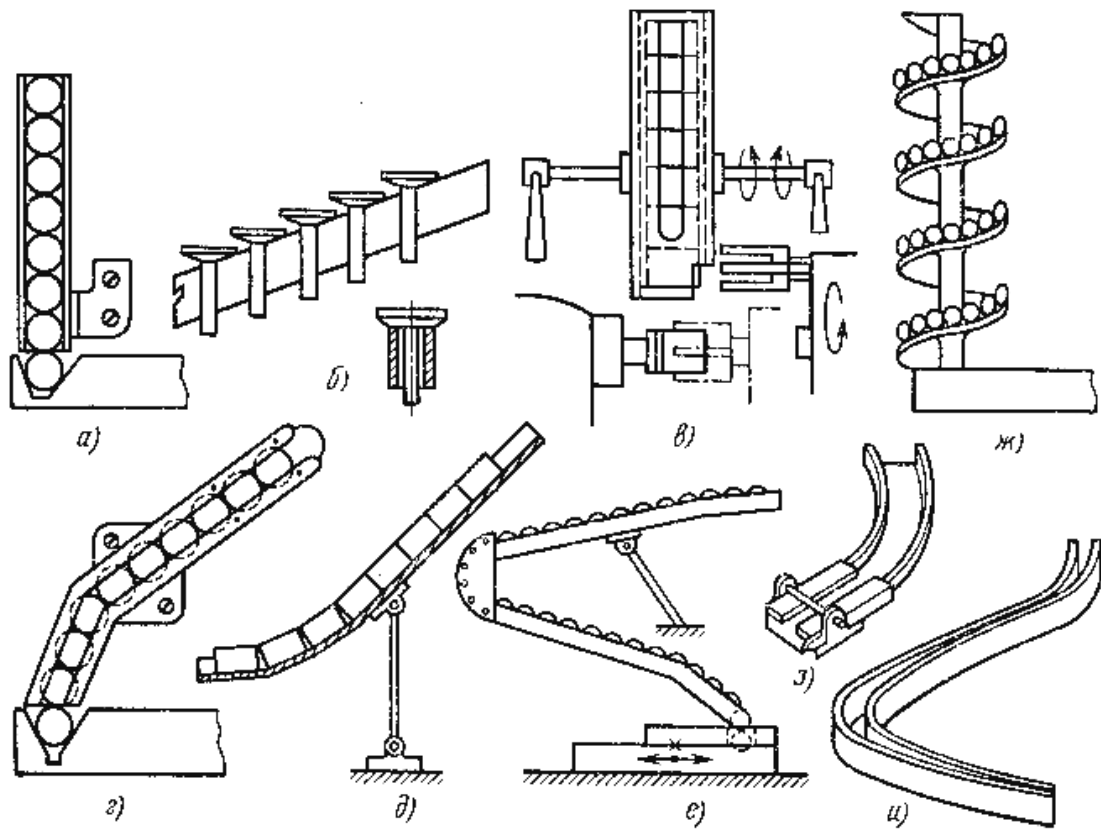


Рис.9. Гравитационные магазины, [9]

a – вертикальный; *б* – наклонный; *в* – поворотный; *г* – наклонный угловой; *д* – наклонный с радиальным торможением; *е* – угловой с регулятором наклона; *ж* – винтовой; *з* – наклонный боковой правый; *и* – наклонный зигзагообразный левый

Конструкции магазинов разнообразны, но выделяют две группы: с перемещением предметов под действием силы тяжести (гравитационные) и с принудительным перемещением посредством приводного устройства.

Накопители гравитационных магазинов выполняют в виде лотков различной конфигурации с сечениями, соответствующими контуру (или части) контура предметов. Лотки располагаются вертикально или под наклоном, чтобы обеспечить последовательный выход всех предметов в питатель под действием сил тяжести, (рис. 9).

Для предотвращения выпадения предметов из накопителя лотки гравитационных магазинов оснащают *отсекателями 1* (рис. 10).

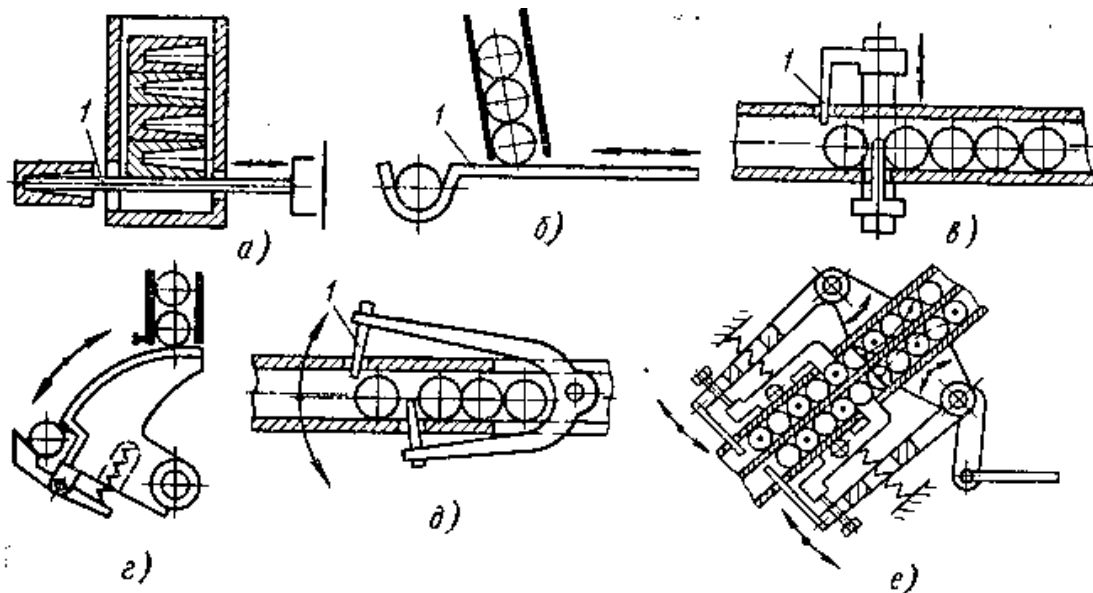


Рис.10. Конструкции отсекателей [9]

- a* – штыревой; *б* – шиберный прямой; *в* – прямой с двойным упором;
г – шиберный поворотный; *д* – поворотный с двойным упором;
е – поворотный с двойным упором двухпоточный

Лотки гравитационных магазинов могут быть сменными и устанавливаться в корпус магазина вместе с деталями – в этом случае они применяются как сменные кассеты.

Кассета – сменное устройство для ручной ориентации, хранения и транспортировки предметов. Кассетная конструкция магазина позволяет сократить время загрузки, удалить загрузку от станка, обеспечивает удобство перемещения и хранения деталей.

Магазинные накопители всех типов оснащаются питателями.

Питатель – устройство подачи предметов из накопителя к рабочему органу, для последующего базирования (рис. 11).

Как следует из рисунков, разработчики средств автоматизации стремятся объединять питатели и отсекатели в одном узле. Привод питателей и отсекателей обычно пневматический, электромагнитный, гидравлический или электрический.

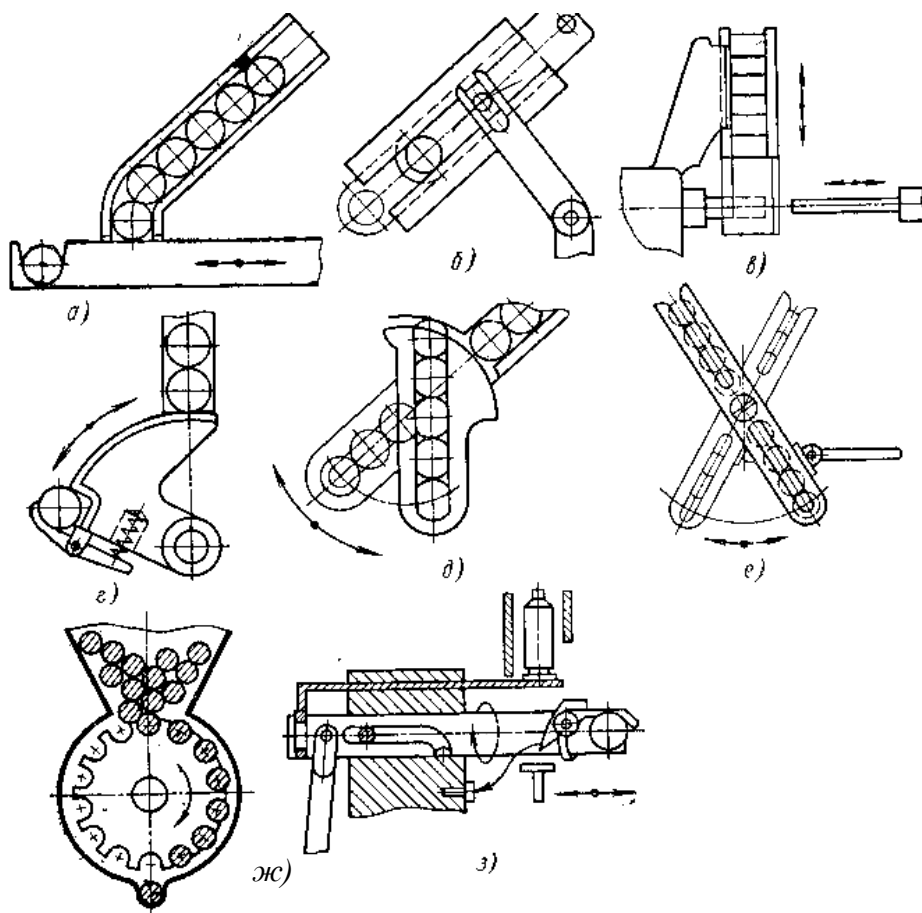


Рис.11. Конструкции питателей [9]

а – шиберный; *б* – шиберный наклонный; *в* – с подводом магазина к толкателю; *г* – шиберный поворотный; *д, е* – шиберные поворотные многоместные; *ж* – с вертикальным барабаном; *з* – байонетный

Гравитационные магазины особенно удобны для относительно легких предметов до 0,5 кг. Более тяжелые предметы при движении в гравитационных накопителях вызывают значительные ударные нагрузки, вибрацию, шум и повреждение предметов.

Тяжелые предметы лучше загружать из магазинов с принудительным движением, в качестве которых применяют тактовые столы, карусели, барабаны, транспортеры и т. п.

Наиболее универсальны тактовые столы со сменной наладкой для ориентирования и базирования различных предметов. В качестве привода применяются пневмоцилиндры, гидроцилиндры, электродвигатели, а в качестве тактовых механизмов храповые, мальтийские, зубчатые. В классификации механизмов эти приводные устройства известны как механизмы с остановами или механизмы питателей. На практике стараются применять наиболее простые и доступные устройства.

Применение магазинов эффективно при достаточно длительных операциях, когда магазин позволяет организовать многостаночное обслуживание, обеспечивает длительную загрузку станка, а пополнение магазина в расчете на одну деталь составляет незначительную долю штучного времени.

При коротких операциях: нарезание резьбы, подрезка торцов, точение фасок, запрессовка, завинчивание и т.д. – количество предметов в магазине оказывается недостаточным для длительной загрузки станка и организации много-станочного обслуживания. В этом случае применяют автоматическую ориентацию и загрузку предметов в магазин из бункерных устройств большой емкости, переходя ко второму этапу автоматизации.

2 этап автоматизации – применение бункерных загрузочных устройств с автоматической ориентацией деталей.

Основной элемент бункерного загрузочного устройства – емкость под засыпку предметов. В бункере размещен захватывающий орган, способный захватывать предметы и перемещать в лоток магазина. Захватывающий орган, движение и форма бункера обеспечивают ориентацию предметов (рис. 12).

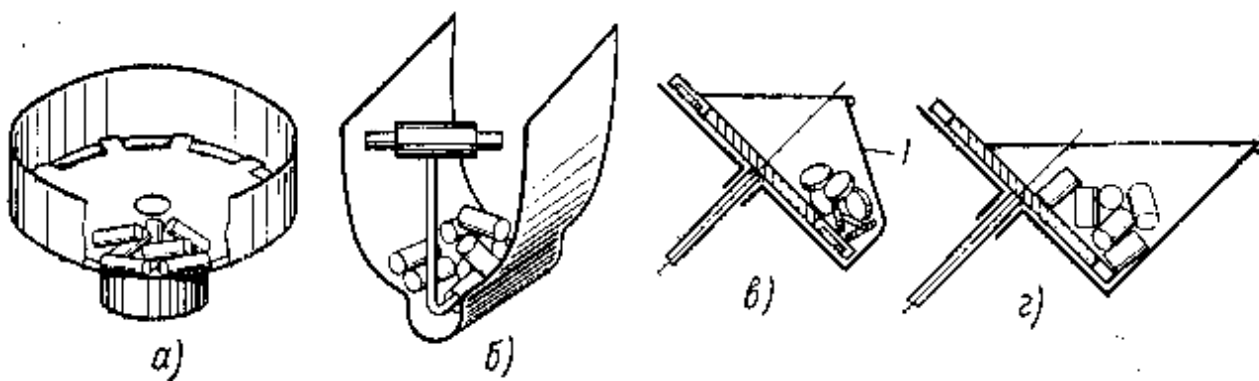


Рис.12. Конструкции бункеров [9]

a – подвижный с центральным ориентирующим отверстием; *б* – неподвижный с крючковым ворошителем-захватом; *в* – неподвижный наклонный закрытый с дисковым ворошителем. *г* – неподвижный наклонный открытый с дисковым ворошителем

В местах, прилегающих к выходу предметов из бункера, образуются своды – взаимное заклинивание деталей, которые блокируют их движение к захватывающему устройству (рис. 13).

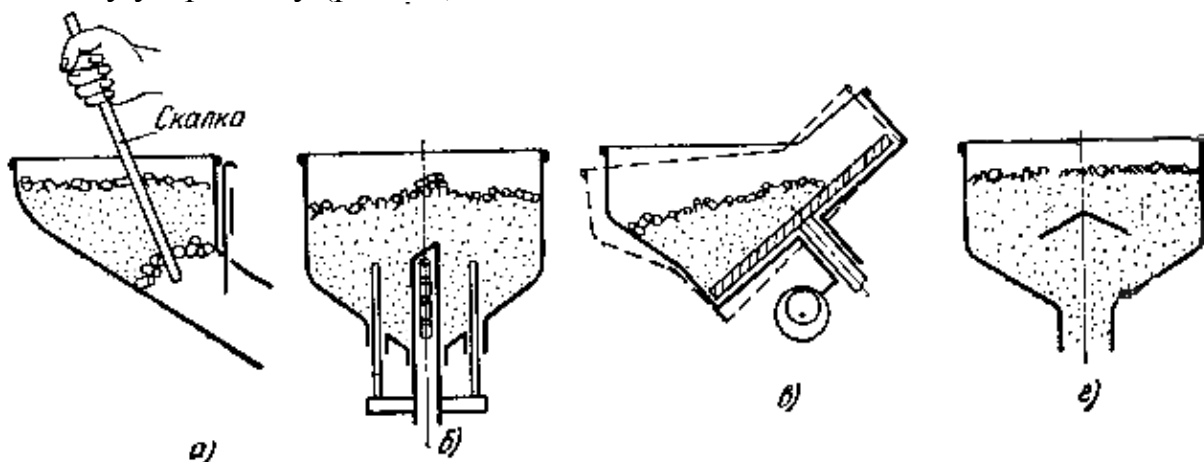


Рис.13. Образование и разрушение сводов [9]

a – внешним воздействием; *б* – приводным толкателем; *в* – вибрацией бункера; *г* – рассекателем

Для гарантированного исключения свода применяют специальные устройства: ворошители, вибраторы, рассекатели, наклоненные под разными углами стенки. Движение предметов вдоль крутых стенок происходит быстрее, чем вдоль пологих, и они способны разбивать своды.

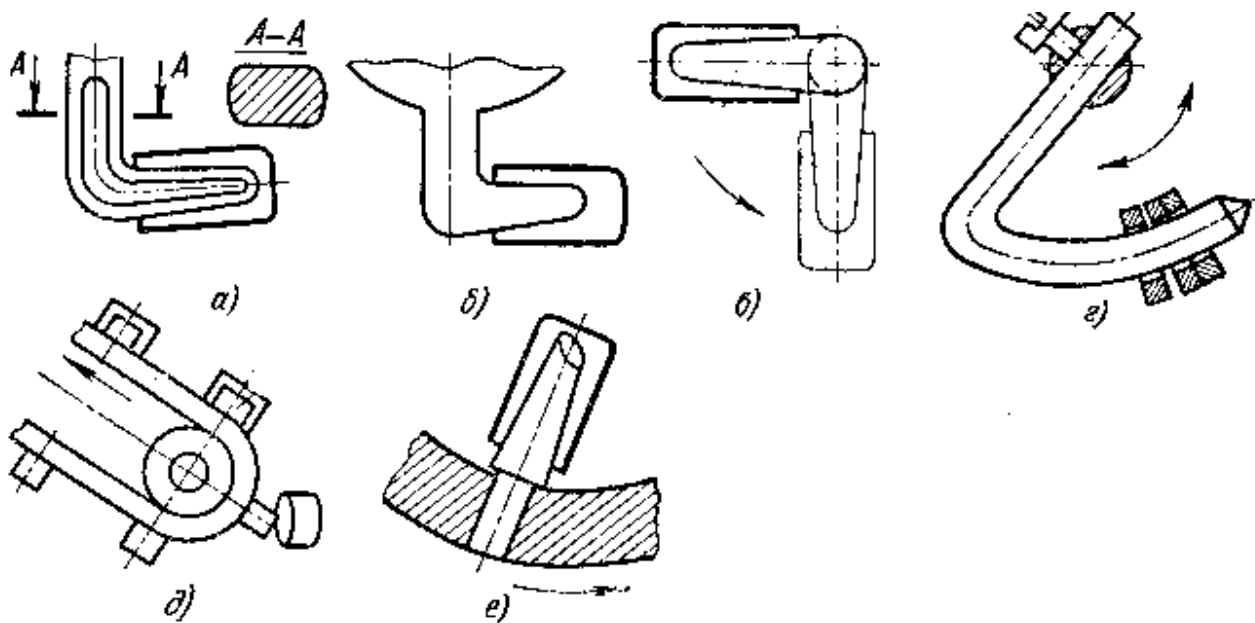


Рис.14. Способы захвата: а, б, г – крючковой; в, д, е – штыревой [9]

Бункерные загрузочные устройства используются в условиях массового производства для мелких деталей, для которых допустимо незначительное повреждение поверхностей в процессе валовой загрузки и ворошения: обычно это крепежные детали различного назначения. Применение бункеров-ориентаторов ограничено массой предметов до 0.1 кг.

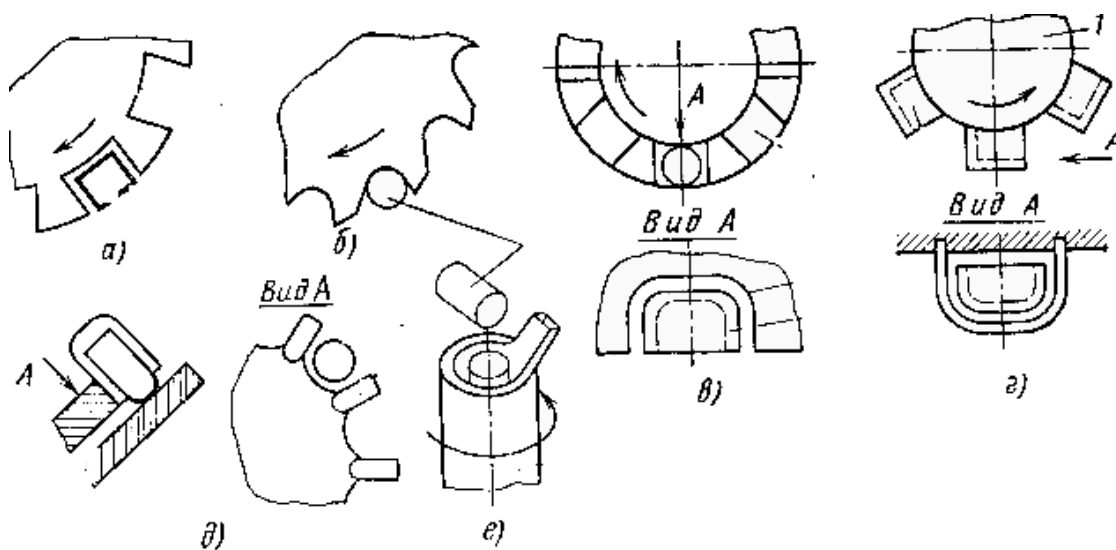


Рис.15. Способы захвата: а, б, в – зубчатый; г, д – карманчиковый; е – с ориентирующей трубой [9]

Способ захвата предметов используется для классификации бункерных загрузочных устройств: крючковые; штыревые; зубчатые; карманчиковые; с ориентирующей трубой; щелевые (рис. 14 ... 16).

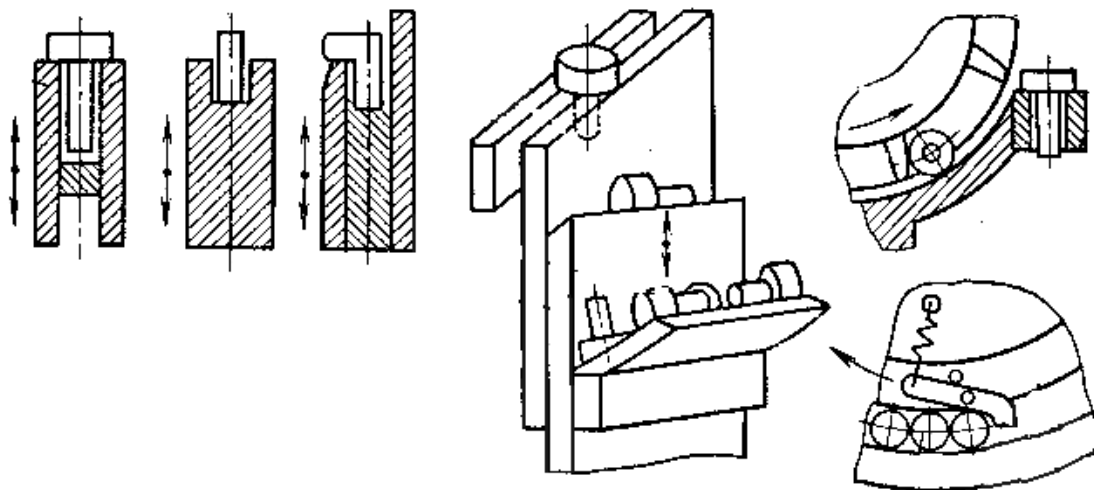


Рис.16. Щелевой способ захвата (варианты) [9]

Привод захватных органов производится механическими передачами (рис. 17): фрикционными, зубчатыми, червячными. Посредством кривошипных, кулачковых, кулисных, рычажных и др. механизмов передачи связывают с ворошущими звеньями для обеспечения возвратно-поступательного или колебательного движения.

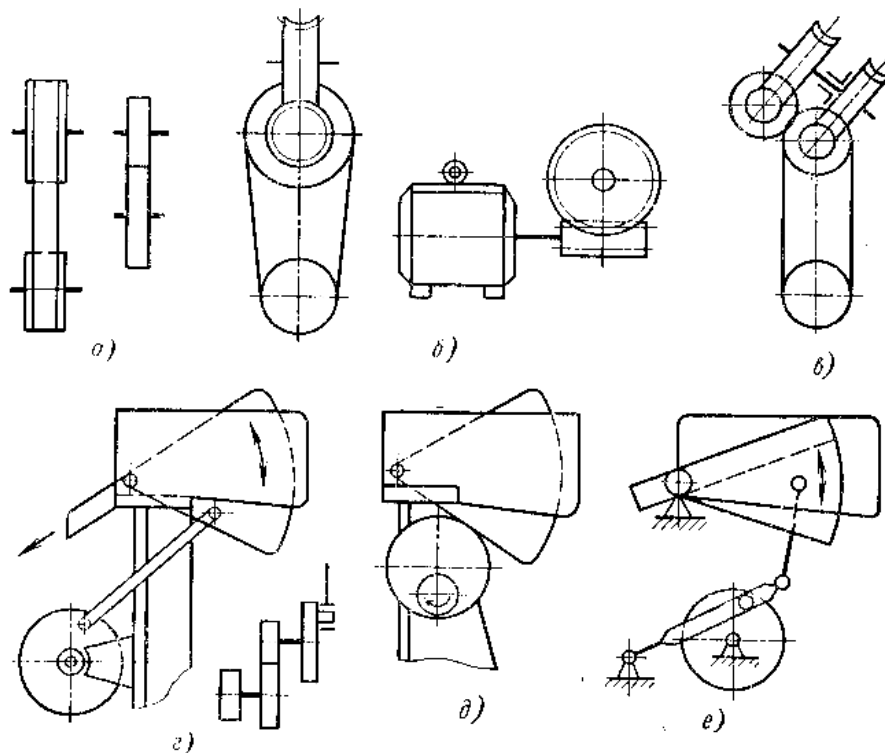


Рис.17. Приводы ворошущих звеньев [9]

a – фрикционные и зубчатые передачи; *б* – червячные передачи; *в* – червячный вибратор, *г* – кривошипный вибратор; *д* – кулачковый вибратор; *е* – кулисный вибратор

Для деталей большей массы, большой серийности или с высокими требованиями к качеству наружных поверхностей применяют транспортеры, обеспечивающие поштучную доставку предметов в бункеры, лотки магазинов или позиции захвата промышленных роботов. Это позволяет организовать автоматический производственный процесс и составляет третий этап автоматизации.

3 этап автоматизации – применение транспортеров различного типа.

Ленточные – лента, натянутая на тяговые и опорные ролики.

Пластинчатые – пластины закреплены на цепях, натянутых на приводные и опорные звездочки.

Цепные – тележки, люльки с деталями или сами детали крепятся к приводной цепи.

Шнековые – вал с прикрепленными к нему винтовыми пластинами вращается в лотке или трубе и перемещает детали, находящиеся между пластинами. Скорость перемещения равна $V=tn$, где t – шаг винтовых пластин, n – частота вращения шнека.

Винтовые – вращающиеся винты перемещают уложенные между витками детали;

Инерционные – качающиеся или вибрирующие лотки перемещают находящиеся на них детали.

Роликовые – установленные последовательно приводные и промежуточные ролики перекачивают лежащие на них изделия.

Повышение производительности автоматических линий достигается совмещением операций по времени и концентрацией в пространстве.

4.5. Роторные линии

Максимальная производительность АЛ достигается при совмещении технологических и транспортных операций. Этот принцип реализован в роторных АЛ, созданных коллективом, возглавляемым академиком Львом Николаевичем Кошкиным.

РЛ особенно эффективны в массовом производстве для обработки деталей несложной формы и сборки изделий, состоящих из небольшого числа деталей.

РЛ независимо от содержания технологического процесса имеют общую структуру включающую: приводы, питатели, рабочие роторы, контрольные и транспортные роторы.

Приводы обеспечивают согласованное вращение роторов, технологические движения инструментов и предметов, а также передачу деталей с одного ротора на другой.

РЛ могут быть как жесткими – согласованное вращение роторов, обеспечивающее перегрузку деталей, так и гибкими – с промежуточными бункерами и накопителями.

Транспортные роторы представляют собой вращающиеся револьверные головки с захватами для предметов.

Рабочие роторы представляют собой вращающиеся барабаны с закрепленными на них инструментальными блоками. Инструментальные блоки связаны с

подвижными толкателями, ролики которых движутся в неподвижных копирах, задающих движение подачи инструментов и/или предметов. При необходимости инструментальным блокам сообщается вращение посредством планетарных механизмов. Рабочие роторы относятся к квазинепрерывным технологическим машинам (см. выше табл. 14).

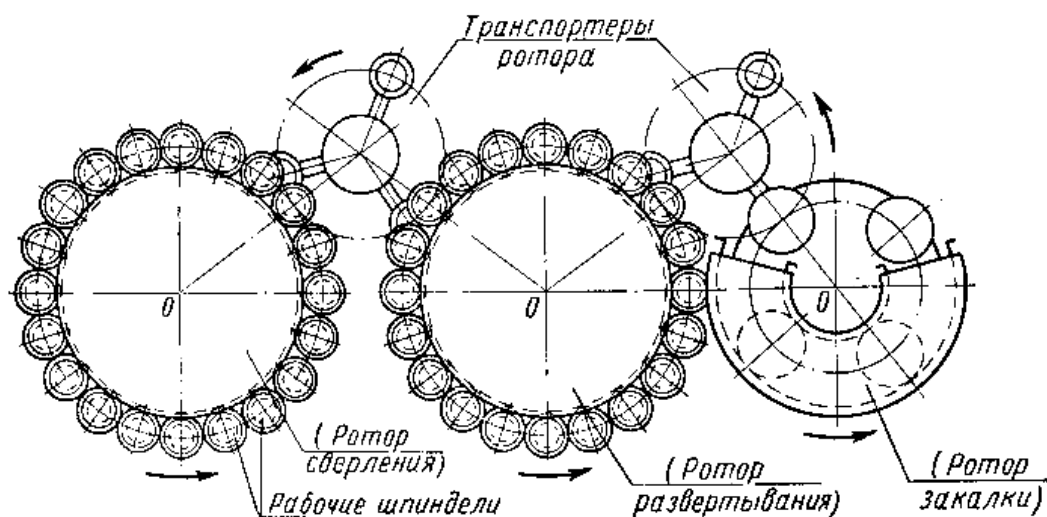


Рис.18. Схема роторной линии [10]

Приводы обеспечивают согласованное вращение роторов, технологические движения инструментов и предметов, а также передачу деталей с одного ротора на другой. РЛ могут быть как жесткими – согласованное вращение роторов, обеспечивающее перегрузку деталей, так и гибкими – с промежуточными бункерами и накопителями.

Транспортные роторы представляют собой вращающиеся револьверные головки с захватами для предметов.

Рабочие роторы представляют собой вращающиеся барабаны с закрепленными на них инструментальными блоками. Инструментальные блоки связаны с подвижными толкателями, ролики которых движутся в неподвижных копирах, задающих движение подачи инструментов и/или предметов. При необходимости инструментальным блокам сообщается вращение посредством планетарных механизмов. Рабочие роторы относятся к квазинепрерывным технологическим машинам (см. выше табл. 14).

Как правило, рабочие роторы выполняют по одному технологическому переходу. Это определяет необходимость множества роторов и значительные габаритные размеры РЛ.

Время обработки заготовок на роторной линии составляет:

$$t_{\text{обр}} = \frac{\alpha}{\omega}, \quad (53)$$

где α – угол исполнения перехода; ω – угловая скорость.

Радиус расположения инструментальных блоков выбирают исходя из требуемого профиля копира: на малых радиусах сложно обеспечить необходимые углы подъема и небольшие скорости подачи без снижения производительности. Поэтому РЛ имеют большие размеры, что снижает их привлекательность.

Скорость транспортирования и такт работы РЛ не ограничиваются скоростями технологических движений, что позволяет иметь высокую производительность даже при небольших технологических скоростях. Это благоприятно сказывается на стойкости инструмента.

РЛ могут быть рентабельны в массовом производстве при обработке давлением, спеканием, прессованием, термической и химико-термической обработке, а также в сборке, дозировке, расфасовке, упаковке, окраске, клеймении и т.п..

Недостатки РЛ – большие размеры, низкая универсальность, малая жесткость, простое возвратно-поступательное движение инструмента.

4.6. Циклические, рефлекторные и самонастраивающиеся автоматические машины

С точки зрения уровня автоматизации различают следующие разновидности автоматических машин:

1. Циклические автоматические машины выполняют жестко заданные программы технологического цикла без контроля в процессе ее выполнения. Здесь человек освобождается от функций управления, но за ним остаются функции контроля, наблюдения, регулирования и программирования цикла.

Циклические автоматические машины были первенцами автоматизации. В них средства управления ведут процесс по установленной программе, не изменяя количественные или качественные характеристики в связи с изменяющимися условиями протекания процесса. Широкое применение такие автоматы нашли в металлообработке (токарные автоматы, автоматические прессы и т. п). Подавляющее большинство действующих автоматических линий, в том числе и роторные линии, также относятся к этому типу машин. В наиболее совершенных циклических автоматах имеется возможность быстро менять программы (станки с программным управлением), что расширяет область их применения и позволяет использовать автоматизацию в серийном производстве.

2. Рефлекторные автоматические машины выполняют технологический цикл в соответствии с заданной оператором постоянной программой. Здесь человек освобождается не только от функций управления, но и от контроля над качеством продукции. Рефлекторные машины в металлообрабатывающих производствах позволяют контролировать обработку изделий с необходимой точностью путем подачи инструмента в соответствии с его износом. Рефлекторные автоматы используются также для контроля и сортировки изделий и начинают находить применение при сборке.

3. Самонастраивающиеся автоматические машины выполняют технологические операции в соответствии с текущими параметрами процесса, а человек

освобождается полностью или частично и от программирования. Эта наиболее высокая ступень развития автоматических машин.

5. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕРИЙНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

5.1. Гибкие производственные системы, их структура и особенности

Начиная с 80-х годов XX века, одним из основных направлений автоматизации производственных процессов стали гибкие производственные системы (ГПС). В соответствии с ГОСТ 26228-90, ГПС – "...управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний *гибких производственных модулей* и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и *системы обеспечения функционирования*, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий".

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – автоматизированная единица технологического оборудования с программным управлением, обладающая автономностью и приспособленная к взаимодействию с другими модулями и системами управления.

Для работы в составе ГПС могут использоваться модернизированные серийные полуавтоматы, автоматы, станки с ЧПУ или специально разработанные модели автоматизированного оборудования.

Станки ГПМ, включаемые в состав ГПС, должны обеспечивать высокую производительность, предельный уровень концентрации и совмещения операций, а также быть унифицированы по основным узлам, комплектующим изделиям, крепежу, инструменту и режимам эксплуатации.

В станках должны быть предусмотрены: автоматическая смена инструмента, совмещенная по времени с выполнением вспомогательных ходов, отвод стружки из зоны резания, устройства обдува или обмыва под давлением базирующих поверхностей и мест крепления заготовок. В системах управления должна быть предусмотрена возможность обмена сигналами с взаимодействующим оборудованием ГПС и системой диагностики.

Система обеспечения функционирования – совокупность автоматизированных систем, обеспечивающих проектирование изделий, технологическую подготовку их производства, управление гибкой производственной системой с помощью ЭВМ и автоматическое перемещение предметов производства и технологической оснастки.

В общем случае в систему обеспечения функционирования ГПС входят все доступные гибкие СТО (см. табл. 3): автоматизированная транспортно-складская система (АТСС), автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО); система автоматизированного контроля (САК); автоматизированная система удаления отходов (АСУО); автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП); автоматизированная си-

стема научных исследований (АСНИ); система автоматизированного проектирования (САПР); автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП); автоматизированная система управления (АСУ).

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) – совокупность взаимосвязанных автоматизированных складских и подъемно-транспортных устройств для перемещения, ориентации и хранения предметов труда и технологической оснастки в производственном процессе.

Автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО) – совокупность взаимосвязанных автоматизированных средств, включающая участки подготовки инструмента, устройства транспортирования, накопления, смены и контроля качества, обеспечивающие подготовку, хранение, автоматическую установку и замену инструмента. АСИО должна обеспечивать рациональное использование фонда машинного времени металлорежущих станков, сокращение вспомогательного времени при их обслуживании, контроль и уход за инструментом.

Автоматизированная система контроля (САК) – совокупность взаимосвязанных автоматизированных средств активного и послеоперационного контроля. Предпочтение должно отдаваться устройствам активного контроля, обеспечивающим не только контроль состояния режущего инструмента, но и контроль обрабатываемых заготовок.

Устройства автоматического поддержания точности должны обеспечивать получение качественного изделия на данной стадии обработки, корректировать положение режущего инструмента по мере его износа, контролировать изменение размеров детали и выдавать необходимые сигналы в критических ситуациях. Устройства должны быть универсальными, т. е. обеспечивать контроль всех операций, выполняемых на станке, иметь минимальные габаритные размеры, размещаться в станке, а также иметь элементы настройки и регулирования.

Диагностический сигнал, формируемый устройством, должен быть пропорциональным изменению контролируемого размера во всем диапазоне операционного допуска на обработку и пригодным для ввода в систему ЧПУ станка. Конструкция контрольного устройства и вид диагностического сигнала должны быть инвариантны к факторам, присущим процессу резания: действию стружки, технологической среды (СОЖ, газовая среда и т. д.), изменению уровня вибрации механизмов и узлов станка, переменному шуму в рабочей зоне станка, а также изменению температуры заготовки, отклонению твердости материала и неоднородности физико-механического состава.

Система ЧПУ станка должна обеспечивать возможность задания эталонных значений диагностических сигналов и отклонений от них, прием сигналов с устройства контроля, их математическую обработку и сравнение с эталонным значением, а также выполнение математических операций с необходимым быстродействием и точностью для формирования команд.

На рис. 19 представлена ГПС механической обработки корпусных цилиндрических деталей МАК-2, разработанная НИТИ «Прогресс», г. Ижевск. ГПС предназначена для автоматизированного изготовления сложных корпусных де-

талей цилиндрической формы размерами 150×400 мм из высокопрочных сталей, в том числе закаленных. Тип производства серийный.



Рис. 19. ГПС механической обработки корпусных цилиндрических деталей

ГПС состоит из четырех гибких автоматизированных участков, в состав которых входят многоцелевые станки, подвесные транспортные роботы и мощно-сушильные агрегаты, а также гибкий автоматизированный участок универсальных станков, транспортно-накопительная система, централизованная система инструментального обеспечения и интегрированная автоматизированная система управления.

Основное металлорежущее оборудование ГПС – многоцелевые станки с ЧПУ токарной группы – модели СТП0220Пр и 16К20ФЗС18; и фрезерно-сверлильно-расточной группы модели ОЦ1И21, ОЦ1И22, ОЦ1И22Н. Технологические характеристики ГПС приведены в табл. 15.

Обработка производится в универсальных переналаживаемых приспособлениях с быстросменными наладками. Полнота обработки изделий достигается применением в составе ГПС участков из многоцелевых станков с ЧПУ для ос-

новых формообразующих операций, а также участков универсальных станков и слесарных рабочих мест для финишных операций.

Таблица 15

Технологические характеристики ГПС МАК-2

Доля станков ЧПУ, % в общей станкостроемкости	85 – 90
Наибольшие размеры обрабатываемых деталей, мм.	
Диаметр	150
Длина	400
Количество станков в ГПС, шт.	76
В том числе:	
многоцелевых с ЧПУ,	54
универсальных	22
Площадь, занимаемая ГПС, кв. м.	2630

Запуск деталей производится расчетными партиями, а межоперационное перемещение грузов – транспортными партиями в единой унифицированной таре подвесными транспортными роботами.

Обслуживание рабочих мест плановое, по сменно-суточному заданию. Последовательность подачи грузов на рабочие места: приспособление, комплект инструментальных наладок, заготовки. Подача грузов производится автоматически, а разгрузка в целях безопасности – по запросам с рабочих мест.

Межоперационное хранение грузов производится на приемных столах и в таре транспортно-накопительной системы. Загрузку заготовок на станки, снятие со станка и укладку в тару производят операторы станков.

Удаление стружки централизованное, механизированное, специальными конвейерами скребкового типа. Обеспечение СОЖ централизованное, через раздаточные колонки.

5.2. Автоматизированная транспортно-складская система

В состав АТСС включают автоматизированные склады, краны, конвейеры, тележки, промышленные роботы, передающие, тактовые и ориентирующие устройства.

Структурные единицы АТСС – дорогостоящие громоздкие агрегаты – их применение должно удовлетворять критериям целесообразности. Они применяются там, где суточные комплекты занимают большие объемы и площади.

Автоматизированные склады предназначены для хранения, приемки и выдачи материальных объектов производственного процесса с максимальным использованием объемов складских помещений, высоким уровнем автоматизации транспортно-погрузочных операций и максимальным быстродействием.

Пример типовой конструкции автоматизированного склада показан на рис. 20.

Склад состоит из модулей. Каждый модуль представляет собой два ряда многоярусных стеллажей 1, в проходе которых по верхнему и нижнему рельсовым путям перемещается подъемно-транспортный механизм - штабелер 2.

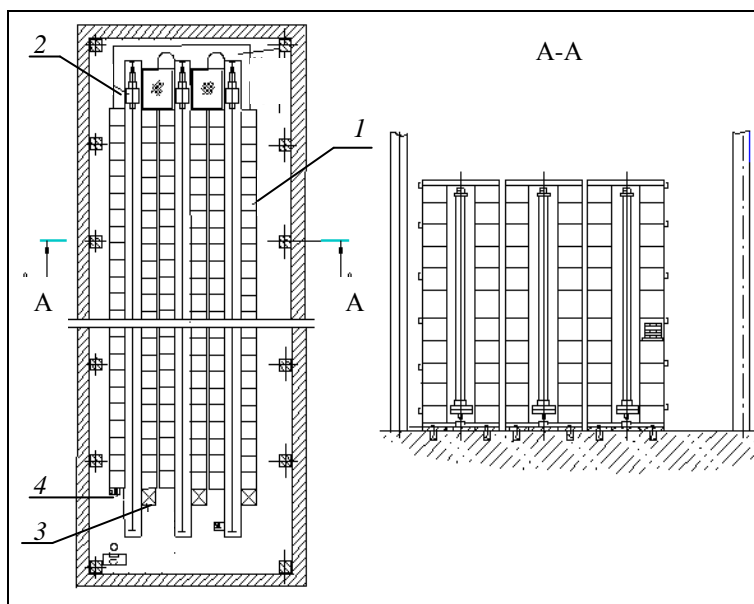


Рис. 20. Автоматизированный склад

В ячейках стеллажей размещаются тара или поддоны с грузом. В переднем торце стеллажа каждого модуля монтируются столы 3 приема и выдачи груза. В непосредственной близости от стола устанавливается шкаф 4 управления штабелером, содержащий средства автоматики исполнительных механизмов.

Штабелер – подъемно-транспортное устройство, состоящее из колонны с грузоподъемной платформой, на которой смонтирован выдвижной телескопический грузозахват. По команде ЦПУ на загрузку склада штабелер подает на приемное устройство пустую тару или приспособления-спутники, которые загружаются заготовками, затем транспортируются в заданные ячейки стеллажа. При поступлении команды на разгрузку склада штабелер забирает тару или приспособления-спутники из ячеек стеллажа, транспортирует и устанавливает их на стол загрузки-разгрузки.

Таблица 16

Технические характеристики автоматизированных складов

1	Высота склада, м	4 - 8
2	Длина склада, м	10 - 60
3	Число модулей в складе	1...6
4	Грузоподъемность штабалера, кг	100...1000
5	Грузозахват	телескопический
6	Габаритные размеры тары (поддона) в плане, мм	от 300 × 400 до 800 × 1200

Управление складом ведется оператором с клавиатуры ПЭВМ. Система управления складом связана с ЦПУ производственного комплекса, откуда задается автоматический режим работы. Система управления позволяет производить учет, обработку, систематизацию и вывод данных по хранимым объектам.

Краткие технические характеристики автоматизированных складов приведены в табл. 16.

Универсальными транспортными средствами являются напольные автоматизированные платформы. Для выполнения погрузочно-разгрузочных операций их оснащают различными подъемными, поворотными и выдвигаемыми столами или промышленными роботами. Платформы, оснащенные программируемыми системами управления, называют транспортными роботами (ТР). Пример конструктивного исполнения ТР представлен на рис.21.



Рис. 21. Транспортный робот KMR iiwa компании KUKA Roboter GmbH
<https://www.youtube.com/watch?v=ymAgKyMF82s&feature=youtu.be>



Рис. 22. Транспортный робот ММТ-400 компании Neobotix GmbH
<http://www.neobotix-robots.com/transport-systems.html>

Таблица 17

Технические характеристики транспортного робота KMR iiwa

Платформа			
1	Высота платформы, мм	700	
2	Длина со сканерами зон безопасности, мм	1190	
3	Ширина со сканерами и зон безопасности, мм	720	
4	Вес, кг	400	
5	Максимум. полезная нагрузка, кг	400	
6	Макс. скорость прямо вперед и в стороны, км / ч	4	
7	Максимум. скорость по диагонали, км / ч	2	
8	Диаметр колеса, мм	250	
Робот LBR iiwa		7 R800	14 R800
1	Полезная нагрузка, кг	7	14
2	Количество осей	7	7
3	Точность позиционирования (ISO 9283), мм	± 0,1	± 0,1
4	Точность скоростей	± 2%	± 2%
5	Вес	22,3	22,3

5.3. Промышленные роботы

Роботы – это машины с человекоподобным (антропоморфным) поведением, которые частично или полностью выполняют функции человека.

Промышленные роботы – это машины, способные заменить человека в промышленности.

Известный писатель - фантаст Айзек Азимов впервые применил слово робототехника (robotic) для научно-технического направления, изучающего роботов, а также сформулировал *основные законы робототехники*:

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинён вред.
2. Робот должен подчиняться командам человека, если эти команды не противоречат первому закону.
3. Робот должен заботиться о своей безопасности, пока это не противоречит первому и второму закону.

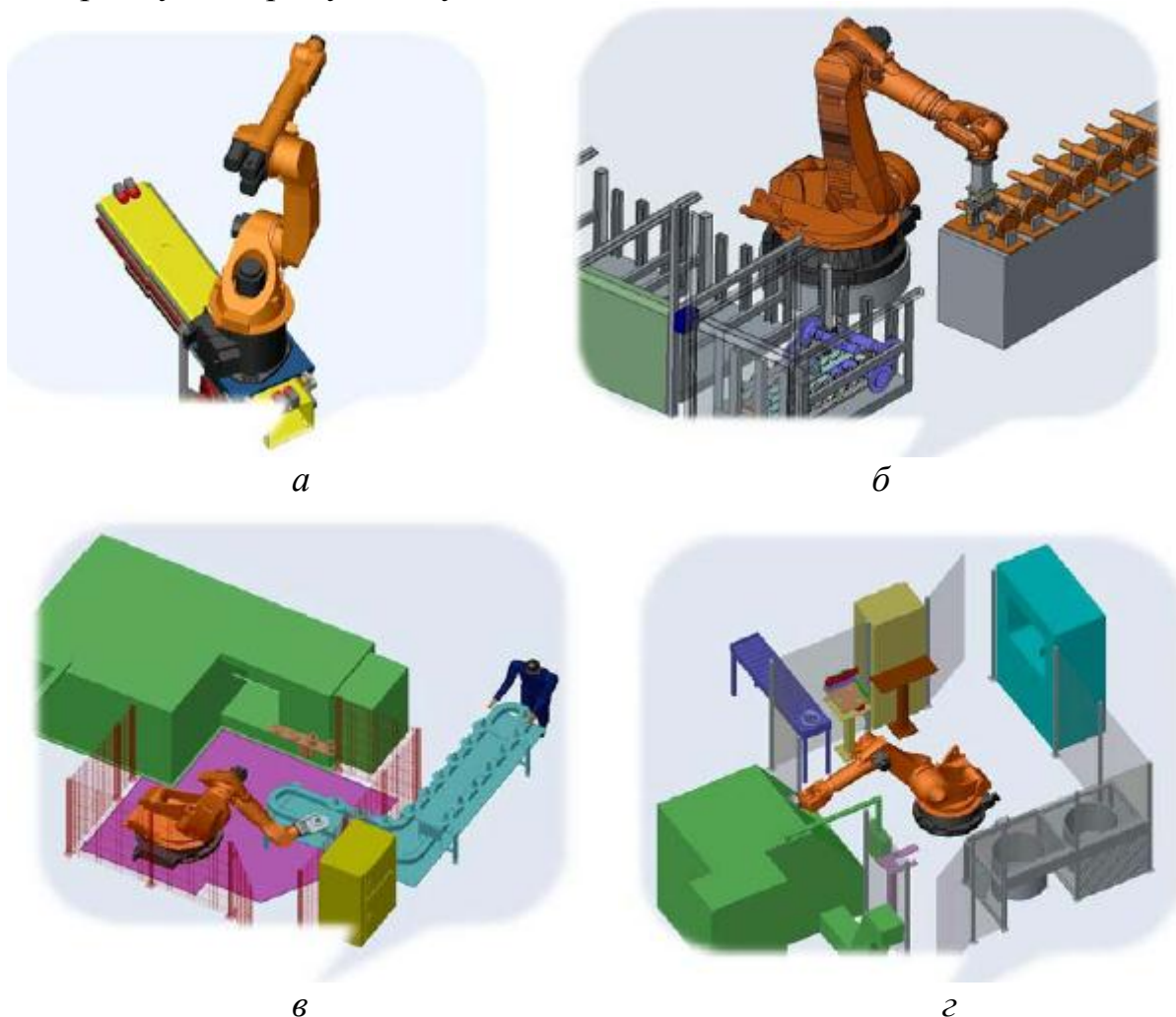


Рис. 23. Промышленные роботы в составе ГПМ:

а – мобильный робот; *б* – робот на загрузке/разгрузке паллет; *в* – робот, обслуживающий станок и шаговый конвейер; *г* – «робот-многостаночник»

Внедрение в робототехнику, кибернетических, оптических, сенсорных систем, лазерной техники и программного обеспечения делают роботов всё совершеннее и самостоятельнее. На рис. 23 представлены примеры использования промышленных роботов в составе ГПМ.

5.4. Управление промышленными роботами

Управление современными ПР осуществляется посредством программ. Фирмы, производители робототехники, разрабатывают собственные языки программирования и средства вспомогательного программного обеспечения. Фирмы, занимающиеся внедрением робототехники, делают основной упор на адаптационное программное обеспечение для условий конкретного производства. Программы пишут в обычных текстовых редакторах, хотя некоторые компании вводят для своих роботов собственные редакторы. Программные языки роботов не унифицированы (т. е. не подходят к роботам других производителей).

Программирование роботов подразделяется на три вида:

On-line программирование (обучение на месте установки). Захват робота, с инструментом или заготовкой подводится к точкам требуемой траектории и происходит запоминание этого места в системе координат робота. Для точек этой траектории движения можно задать скорость, ускорение и торможение, последовательность обхода, количество повторений, тип движения, точность и т.п. К недостаткам такого программирования относится невозможность выполнения технологических операций в период обучения.

Offline программирование. Текстовое программирование – текстовое описание траекторий, их последовательности, опроса периферийных устройств, взаимодействия с обслуживающим персоналом и обеспечения безопасности. Составленная таким образом программа загружается тем или иным способом (диск или сетевое соединение) в компьютер робота, проходит тест на ошибки, программа корректируется, выполняются контрольные циклы, ПР приступает к работе.

Графическое 3D программирование (например, программирование моделей Автокада). Разработаны программы, позволяющие накладывать траектории движения робота на графические модели деталей и затем перерабатывать их в язык программирования роботов. Они также позволяют создавать модели установок роботов с технологическим оборудованием и наглядно отображать технологический процесс. Эти программы экономят время и практически не останавливают производство.

Многие программные комплексы содержат в своей структуре элементы всех видов программирования, а расстановка приоритетов делегирована операторам и наладчикам.

5.5. Классификация промышленных роботов

Промышленные роботы классифицируются по следующим признакам:

по характеру операций: основные, вспомогательные, универсальные;
 по виду производственных процессов: литейные, сварочные, станочные, сборочные, окрасочные, транспортно-складские;
 по системе координат руки манипулятора: прямоугольная, цилиндрическая, сферическая, сферическая угловая, другие;
 по числу подвижностей манипулятора;
 по грузоподъемности: сверхлегкие (до 10 Н), легкие (до 100 Н), средние (до 2000 Н), тяжелые (до 10000 Н), сверхтяжелые (свыше 10000 Н);
 по типу силового привода: электромеханический, пневматический, гидравлический, комбинированный;
 по подвижности основания: мобильные, стационарные;
 по виду программы: с жесткой программой, перепрограммируемые, адаптивные, с элементами искусственного интеллекта;
 по характеру программирования: позиционное, контурное, комбинированное.

5.6. Структурная схема промышленного робота

Манипулятор промышленного робота должен обеспечивать движение выходного звена и, закрепленного в нем объекта манипулирования, по заданной траектории и с заданной ориентацией. Для полного выполнения этого требования механизм манипулятора должен иметь не менее шести подвижностей (шести степеней свободы), причем движение по каждой из них должно быть управляемым.

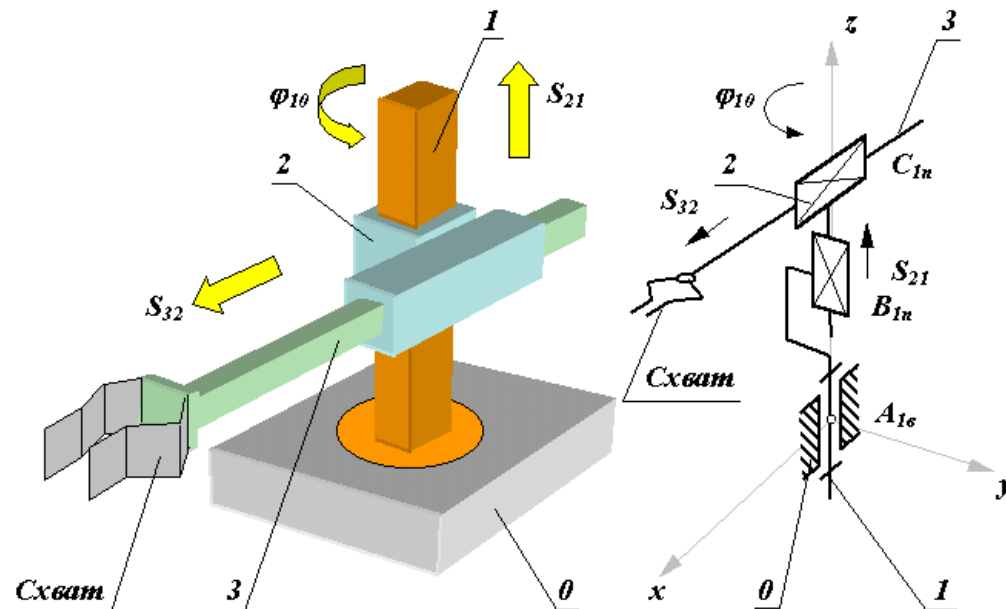


Рис. 24. Структурная схема трехподвижного манипулятора
[\[http://wwwcdl.bmstu.ru/rk2/index_2.htm\]](http://wwwcdl.bmstu.ru/rk2/index_2.htm)

Основной механизм руки манипулятора состоит из неподвижного звена θ и трех подвижных звеньев 1 , 2 и 3 . Механизм этого манипулятора соответствует цилиндрической системе координат. В этой системе звено 1 может вращаться относительно звена θ (относительное угловое перемещение φ_{10}), звено 2 пере-

мещается по вертикали относительно звена 1 (относительное линейное перемещение S_{21}) и звено 3 перемещается в горизонтальной плоскости относительно звена 2 (относительное линейное перемещение S_{32}). На конце звена 3 укреплено захватное устройство – схват, предназначенный для захвата и удержания объекта манипулирования.

Звенья основного рычажного механизма манипулятора образуют между собой три одноподвижные кинематические пары (одну вращательную А и две поступательные В и С) и могут обеспечить перемещение объекта в пространстве без управления его ориентацией.

Для выполнения каждого из трех относительных движений манипулятор должен быть оснащен приводами, которые включают двигатели, передачи и системы датчиков обратной связи, функциональная схема представлена на рис. 25.

Для реализации заданного закона движения система оснащена *программно-носителем* – устройством, сохраняющим и задающим программу движения.

Преобразование заданной программы движения в сигналы управления двигателями осуществляется системой управления. Эта система включает ЭВМ, с соответствующим программным обеспечением, цифроаналоговые преобразователи и усилители. Система управления в соответствии с заданной программой формирует и выдает на исполнительные устройства приводов (двигатели) управляющие воздействия u_i . При необходимости она корректирует эти воздействия по сигналам Δx_i , которые поступают в нее от датчиков обратной связи.

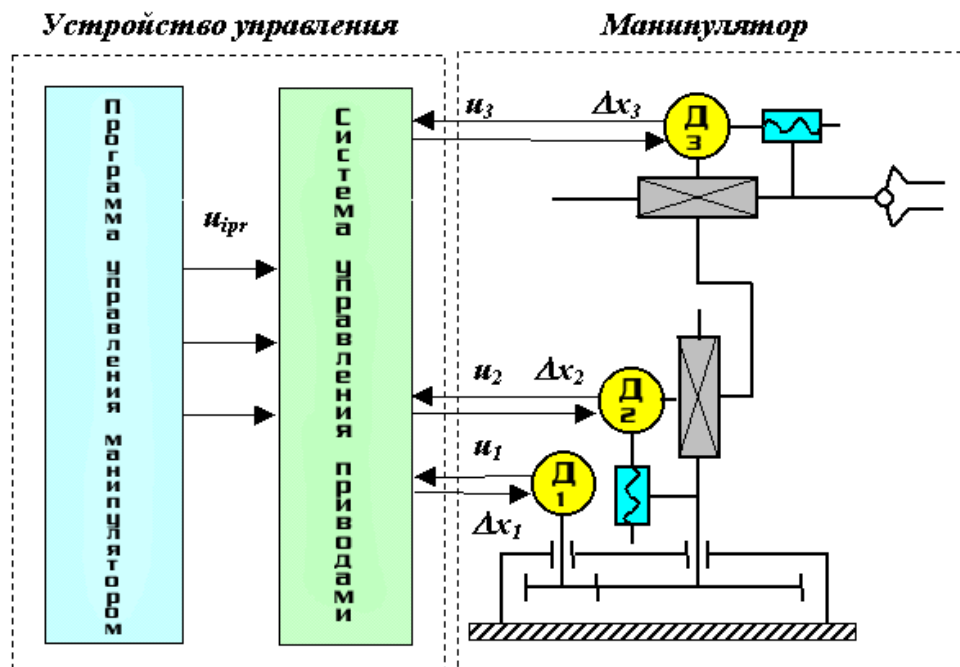


Рис. 25. Функциональная схема промышленного робота

5.7. Технические характеристики промышленных роботов

Рабочее пространство робота – часть пространства, ограниченная огибающими поверхностями, к множеству возможных положений его звеньев.

Зона обслуживания робота – часть пространства, соответствующая множеству возможных положений центра схвата манипулятора.

Быстродействие робота определяют максимальной скоростью линейных перемещений центра схвата манипулятора. Различают роботы с малым ($V_M < 0.5$ м/с), средним ($0.5 < V_M < 1.0$ м/с) и высоким ($V_M > 1.0$ м/с) быстродействием. Современные ПР имеют в основном среднее быстродействие и только около 20% - высокое.

Точность манипулятора характеризуется абсолютной линейной погрешностью позиционирования центра схвата. Промышленные роботы делятся на группы с малой ($\Delta r_M < 1$ мм), средней ($0.1 \text{ мм} < \Delta r_M < 1$ мм) и высокой ($\Delta r_M < 0.1$ мм) точностью позиционирования.

На рис. 26 представлена популярная модель промышленного робота IRB 2400, разработанная группой компаний АБВ. По данным производителя выпущено свыше 14 тысяч роботов этой модели, которые используются для сборки, загрузки, точечной и дуговой сварки, упаковки, окраски и т.д.

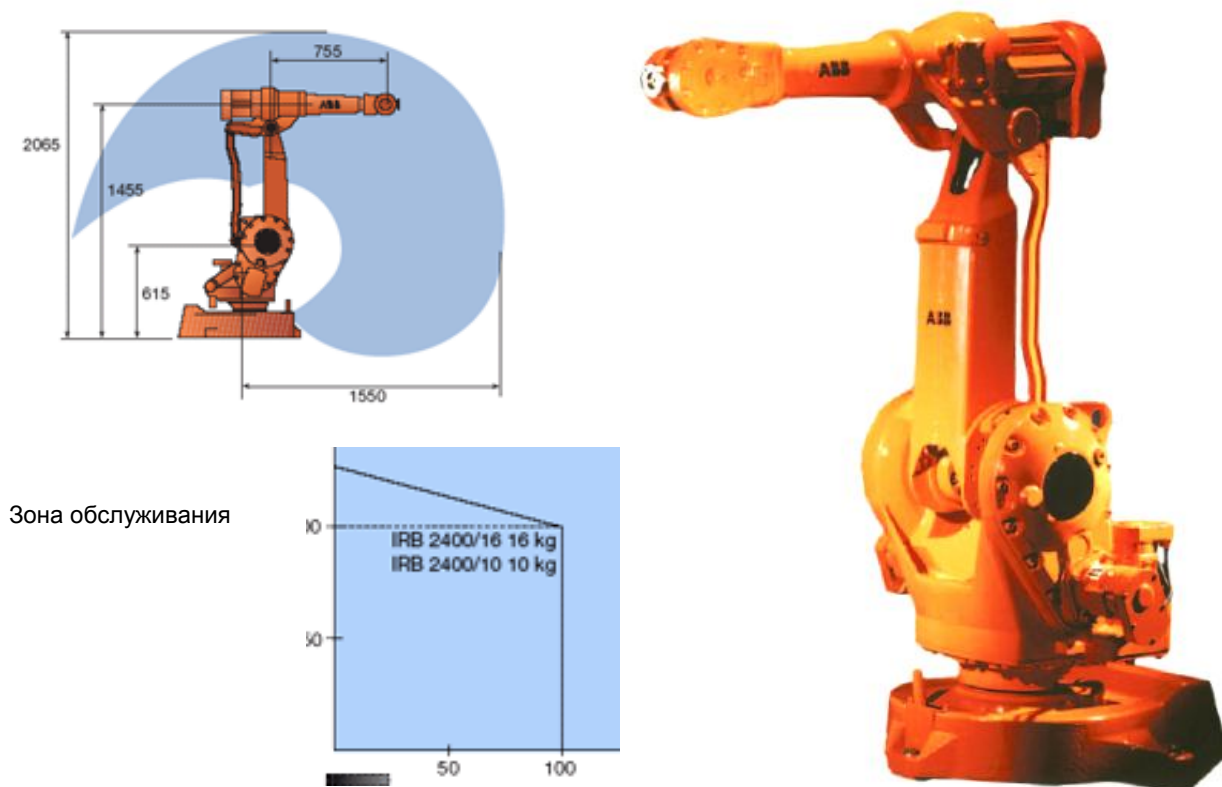


Рис. 26. Промышленный робот модели IRB 2400

[www.abb.com/robots,
<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2400>]

Программирование роботов IRB ведется на языке Rapid. Это удобный и развитый язык программирования, содержащий корректор синтаксиса и логики, позволяющий организовать диалог с обслуживающим персоналом.

В зависимости от вида работ роботы могут быть установлены на полу, потолке или стене, а полный размерный ряд роботов IRB охватывает диапазон

грузоподъемности от 3 до 500 кг. Технические характеристики роботов представлены в табл. 17.

Таблица 17

Технические характеристики роботов ряда IRB

1	Грузоподъемность, кг.	5, 10 и 16
2	Вид привода	Электрический
3	Число подвижностей	6
4	Максимальная скорость перемещения, м /с.	2
5	Точность позиционирования, мм	± 0.05 – 0.50
6	Радиус действия, м	1.8, 1.5, 1.5
7	Язык программирования	Rapid
8	Максимальная высота, мм	1731, 1564, 1564
9	Размеры основания, мм × мм	723 × 600
10	Масса, кг	380
11	Температура воздуха, °С	5 ... 45
12	Максимальный уровень шума, дБ (А)	70
13	Напряжение питающей сети, В, Гц	200 – 600, 50/60
14	Потребляемая мощность манипулятора, кВА	4
15	Потребляемая мощность полная, кВА	7.8

5.8. Производительность и надежность автоматизированных СТО

Производительность автоматизированных средств – это количество деталей, изготовленных в единицу времени.

Так как средства автоматизации не могут работать без плановых остановок и непредвиденных простоев, различают следующие виды производительности: *цикловую, потенциальную, фактическую (реальную)*.

Цикловая производительность определяется по следующей формуле:

$$Q_{ц} = \frac{1}{T_{ц}}. \tag{54}$$

Понятие цикловой производительности предполагает, что инструменты работают «бесконечно», а оборудование не ремонтируется.

В действительности необходимо учитывать так называемые «внецикловые» простои. В расчетах используют их удельные, т. е. отнесенные к одному изделию, значения:

$t_{и}$ – простои во время замены, регулировки и подналадки инструментов в плановый период (например, в месяц);

$t_{об}$ – простои во время ремонта, регулировки и отладки различных механизмов в плановый период;

$t_{орг}$ – простои по организационным причинам из-за отсутствия заготовок, электроэнергии, персонала и т.д.

С учетом этих показателей определяют потенциальную производительность:

$$Q_{\Pi} = \frac{1}{T_{\Pi} + t_{И} + t_{ОБ}}, \quad (55)$$

и фактическую

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{T_{\Pi} + t_{И} + t_{ОБ} + t_{ОРГ}}. \quad (56)$$

Коэффициент технического использования показывает, какую часть отчетного периода автоматизированные средства и их системы находятся в рабочем состоянии и характеризует качество оборудования и уровень работы ремонтно-эксплуатационных служб.

$$\eta_{ТИ} = \frac{Q_{\Pi}}{Q_{Ц}}. \quad (57)$$

Коэффициент общего использования показывает, какую часть отчетного периода автоматизированные средства и их системы заняты в производстве и характеризует уровень организации производственного процесса:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{Q_{\Phi}}{Q_{Ц}}. \quad (58)$$

Отметим, что последние коэффициенты эквивалентны рассмотренным выше коэффициентам использования и загрузки.

Коэффициент технического использования $\eta_{ТИ}$ существенно влияет на производительность и зависит от количества узлов, сложности компоновки, надежности каждого узла и инструмента, т.е. от *надежности* системы автоматизированных средств в целом.

Надежность – это свойство выполнять функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания и ремонта.

Надежность автоматизированных средств характеризуется *долговечностью, безотказностью и ремонтпригодностью оборудования*.

Долговечность – свойство сохранять работоспособность при определенных режимах работы и условиях эксплуатации с перерывами на ремонт и техническое обслуживание. Количественно она оценивается средним сроком службы между ремонтами.

Безотказность – свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени. Количественно она оценивается: вероятностью безотказной работы; интенсивностью отказов и наработкой на отказ. В частности, наработка на отказ – это среднее значение времени работы между двумя последовательно возникающими отказами.

Ремонтпригодность – приспособленность узлов и механизмов линии к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем ремонтов и технического обслуживания. Количественно она оценивается средним временем восстановления работоспособности.

6. РАЗМЕРНЫЕ СВЯЗИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

6.1. Виды размерных связей

Каждый получаемый в автоматизированном технологическом процессе размер замыкает размерную связь, которая определяет взаимное положение его крайних точек. Технологические размерные связи подразделяют на три группы: *установочные, операционные, межоперационные.*

Установочные размерные связи проявляются в процессе установки заготовок в приспособления, кассеты, станки, измерительные машины и т.д.

Установочные размерные связи определяют возможность автоматического транспортирования заготовок, загрузки и разгрузки технологического оборудования. Замыкающими размерами установочных размерных связей являются допустимые отклонения расположения технологических баз заготовки и установочных поверхностей технологического оборудования, при которых возможно осуществить автоматическую установку. Составляющими размерами установочных размерных связей являются размеры заготовки, станка, приспособления, транспортирующего устройства, а также монтажные размеры, определяющие взаимное положение оборудования.

Операционные размерные связи возникают в процессе обработки детали в технологической системе: станок – приспособление – инструмент – заготовка (деталь).

Замыкающими звеньями операционных размерных связей являются операционные размеры, которые должны быть выполнены с точностью, соответствующей этапу обработки. Составляющими размерами операционных размерных связей являются размеры технологической системы: станок – приспособление – инструмент – заготовка.

Межоперационные размерные связи объединяют в единое целое весь технологический процесс изготовления детали, связывая операционные размеры с размерами заготовки и припусками на обработку.

Замыкающими размерами межоперационных размерных связей являются припуски на обработку и размеры, которые непосредственно не получаются как операционные размеры ни на одной из операций технологического процесса. Составляющими размерами межоперационных размерных связей являются *размеры детали, межоперационные припуски, операционные размеры и размеры заготовки.*

Геометрическим описанием размерных связей являются *размерные цепи.*

6.2. Анализ размерных связей и достижение точности замыкающих звеньев

Для достижения необходимой точности обработки и ритмичной работы автоматизированных технологических средств производится анализ размерных связей, который включает три этапа: 1) *построение размерной цепи;* 2) *выбор*

метода достижения точности замыкающих звеньев размерной цепи; 3) определение параметров звеньев.

Построение размерной цепи начинают в исходной точке на одной из поверхностей или осей, ограничивающих замыкающее звено. Затем последовательно выявляют и проставляют размеры, определяющие положение конечной точки на другой поверхности или оси, ограничивающей замыкающее звено.

Выбор метода достижения точности замыкающих звеньев

Различают пять методов достижения точности (МДТ) замыкающих звеньев размерных цепей: полная взаимозаменяемость (ПВ), неполная взаимозаменяемость (НВ), групповая взаимозаменяемость (ГВ), регулирование (Р) и пригонка (П). Кроме того, могут быть использованы различные комбинации этих методов.

Метод полной взаимозаменяемости заключается в достижении гарантированной точности замыкающего звена размерной цепи за счет высокой точности составляющих звеньев.

Метод неполной взаимозаменяемости заключается в 100% контроле составляющих звеньев, отсортировке звеньев с неудовлетворительной точностью и подборе сочетаний составляющих звеньев, обеспечивающих достижение точности замыкающего звена.

Метод групповой взаимозаменяемости заключается в 100% контроле составляющих звеньев, отсортировке звеньев с неудовлетворительной точностью и формировании нескольких размерных групп, обеспечивающих достижение точности замыкающего звена.

Метод регулирования заключается в достижении точности замыкающего звена за счет регулирования одного или нескольких составляющих звеньев.

Метод пригонки заключается в достижении точности замыкающего звена за счет дополнительной обработкой одного из составляющих звеньев.

Сравнение методов достижения точности представлено в табл. 18.

Таблица 18

Сравнение методов достижения точности

Особенности	ПВ	НВ	ГВ	Р	П
Высокая точность оборудования	+	–	–	–	–
Нормальная точность оборудования	–	+	+	+	+
Текущий контроль точности оборудования	+	–	–	–	–
Периодический контроль точности оборудования	–	+	+	+	+
100% контроль составляющих звеньев	–	+	+	–	–
Формирование размерных технологических групп	–	–	+	–	–
Отсортировка неточных изделий	–	+	+	–	–
Регулирующие устройства	–	–	–	+	–
Операции пригонки	–	–	–	–	+
Наличие систем управления с обратной связью	+	–	–	–	–

6.3. Пример установочной размерной цепи

Рассмотрим установочные размерные связи, возникающие при загрузке роботом токарного станка (рис. 27).

Робот 1 вносит заготовку 2, удерживаемую схватом 3, в рабочую зону станка 4 так, чтобы ось заготовки совпала с осью раскрытых кулачков патрона, и затем задвигает заготовку в патрон. После чего подается команда на зажим заготовки.

Установочным размером, влияющим на точность установки, является отклонение от соосности Δ сопрягаемых поверхностей кулачков и заготовки, т.е. величина отклонения осей центрирования кулачков и базовой поверхности заготовки.

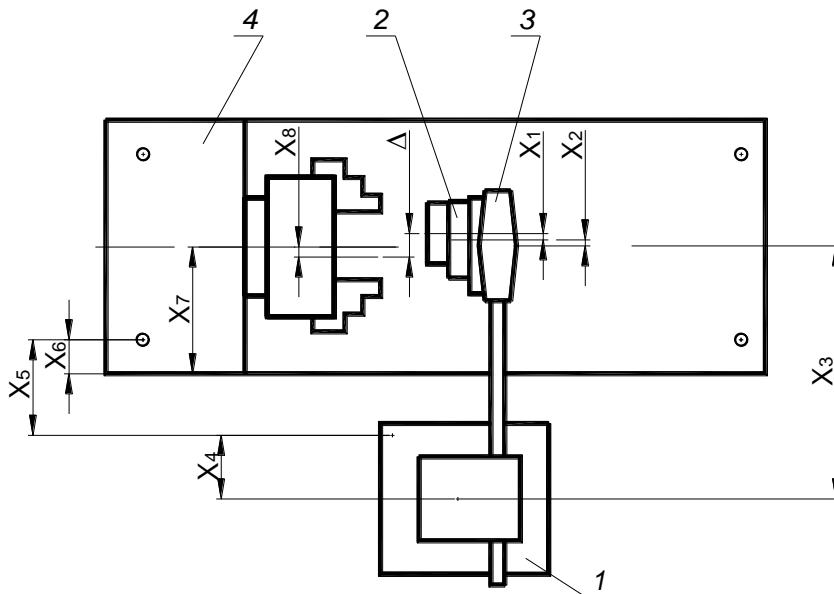


Рис.27. Размерная цепь при установке детали в патрон токарного станка

Этот размер замыкает размерную цепь, включающую следующие составляющие звенья: X_1 – отклонение от соосности базовых поверхностей заготовки для патрона станка и захвата робота; X_2 – отклонение от соосности базовых поверхностей захвата под заготовку и манипулятор робота; X_3 – расстояние между осью базовой поверхности захвата и осью вращения робота; X_4 – монтажный размер робота; X_5 – монтажный размер РТК – расстояние между осями фундаментных болтов робота и станка; $X_{6,7}$ – монтажные размеры станка; X_8 – несоосность рабочей поверхности кулачков патрона и оси вращения шпинделя.

Расчет Δ позволяет определить необходимую точность позиционирования робота. При этом надо учитывать, что с увеличением точности позиционирования увеличивается стоимость робота. Анализ размерных связей позволяет выбрать метод достижения точности и назначить мероприятия для сокращения Δ .

X_1 – минимизируется за счет обработки базовых поверхностей.

X_2 – минимизируется настройкой захвата.

X_3 – настраивается по первой детали за счет регулирования манипулятора;

$X_{4, \dots, 7}$ – настраивается при монтаже по паспортным данным оборудования, так, чтобы погрешность этих звеньев была меньше интервала регулирования манипулятора по размеру X_3 . Для минимизации влияния этой части цепи на замыкающее звено предусматривают установку манипулятора на базовых деталях станка.

X_8 – настраивается регулировкой кулачков или их расточкой «по месту».

Размеры звеньев цепи – величины алгебраические. Они имеют положительное значение, если при движении вдоль цепи от исходной точки расстояние от нее увеличивается, и отрицательное значение, если расстояние до исходной точки уменьшается.

На рис. 27 представлены размерные связи лишь вдоль оси X . На практике, анализ размерных связей и расчет размерной цепи выполняют по всем осям.

Для всех видов размерных цепей общий вид уравнения размерной цепи остается неизменным:

$$\Delta = \sum_{i=1}^m X_i, \quad (59)$$

Δ – замыкающее звено; m – число составляющих звеньев в размерной цепи; i – порядковый номер составляющего звена; X_i – размер i – го звена цепи.

В теории размерных цепей уравнение (59) принято записывать в виде разности сумм увеличивающих и уменьшающих звеньев [21].

Допуск замыкающего звена равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев δ_i .

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \delta_i. \quad (60)$$

Как бы ни были минимизированы отклонения замыкающего звена, обеспечить точного совпадения установочных поверхностей изделия, станка и транспортирующего средства не удастся.

Более того, размерные связи постоянно изменяются под действием окружающей среды: колебания температуры, вибрации, эксплуатационных деформаций и т. п.

Следует обратить внимание и на такую особенность работа: даже незначительные внешние усилия на захват создают большие моменты и силы, действующие на центральные опорные детали.

Это приводит к их ускоренному износу и отказу. Возникновение опасных нагрузок связано с передачей изделия из захвата манипулятора в приемное устройство станка, когда на заготовку одновременно наложены связи работа и принимающего устройства. Исключение избыточных связей, действующих на деталь, при загрузке/разгрузке оборудования является ответственной конструкторско-технологической задачей.

Для этих целей применяют загрузку/разгрузку деталей в станке через питатель, заполняемый роботом, или передают детали между захватом и зажимным устройством станка с предварительным освобождением изделия в направлении действия новых связей. Предварительное освобождение изделия заключается в снятии некоторых связей и удержании изделия с возможностью перемещения

вдоль снятых связей до наложения новых. Последовательность передачи изделия между подающим и принимающим зажимами показана на рис. 28.

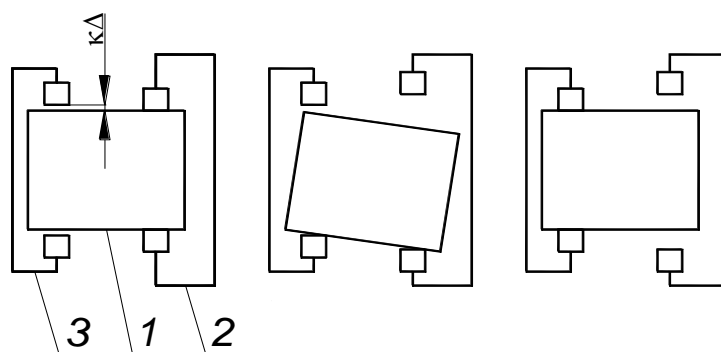


Рис.28. Передача изделия 1 с предварительным освобождением между подающим 2 и приемным 3 зажимами

Зазор между базовой поверхностью изделия и сопрягаемой поверхностью зажимного устройства определяется величиной $k\Delta$, где Δ – расчетная несоосность сопрягаемых поверхностей, а k – коэффициент запаса, учитывающий внешнее воздействие и эксплуатационные отклонения (рекомендуется $k > 3$). На рисунке видно, что размер раскрытия подающего зажима не должен значительно превышать размер раскрытия принимающего устройства во избежание значительного перекоса.

6.4. Примеры операционных размерных цепей

В зависимости от способа формирования операционного размера возникают различные виды размерных связей, для каждой из которых характерен свой комплекс составляющих погрешностей (табл. 19).

Точность замыкающего звена возрастает, а его предельные отклонения уменьшаются при наименьшей длине и количестве составляющих звеньев.

Из таблицы следует, что наименьшее число погрешностей достигается при формировании размеров копированием за счет мерного самоустанавливающегося инструмента (способ 1, варианты б, в), обработкой поверхностей, определяющих размер, в одном установе на общей технологической базе (способ 4), контролируемым по нониусу движением инструмента от измерительной базы (способ 5, вариант а), движением инструмента от измерительной базы с контролем сил резания (способ 5, вариант а) и активным контролем операционного размера (способ 6).

Минимизация погрешностей достигается настройкой станков, приспособлений, инструмента, измерительных приборов, контролем и корректировкой точности позиционирования.

6.5. Примеры межоперационных размерных цепей

Элементами межоперационной цепи могут быть: *размеры детали, межоперационные припуски, операционные размеры и размеры заготовки.*

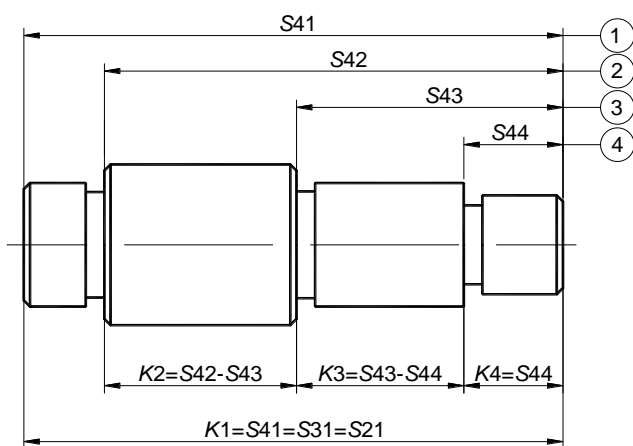


Рис.29. Замена конструкторских размеров операционными размерами

Размеры детали и их предельные отклонения задает конструктор. Но при подготовке автоматизированного производства конструктор и технолог совместно уточняют простановку размеров на предмет их соответствия основным принципам базирования:

однократное использование черновой базы;

совмещение конструкторских, измерительных и технологических баз;

постоянство технологических баз.

Однократное использование черновой базы минимизирует влияние погрешностей и шероховатости заготовки на точность дальнейшей обработки.

Совмещение баз позволяет вести обработку заготовки по размерам, проставленным в чертеже с использованием всего поля допуска заданного конструктором.

Постоянство баз исключает погрешности связанные с погрешностями взаимного расположения самих технологических баз.

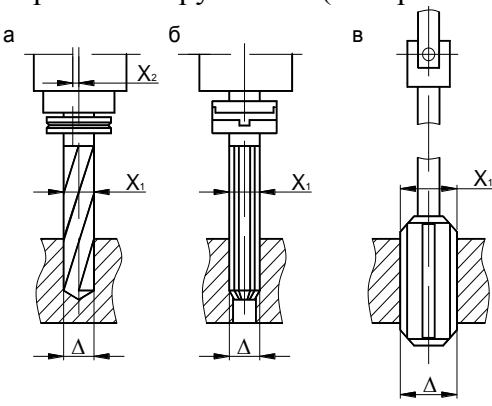
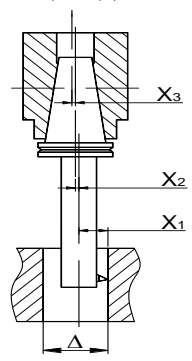
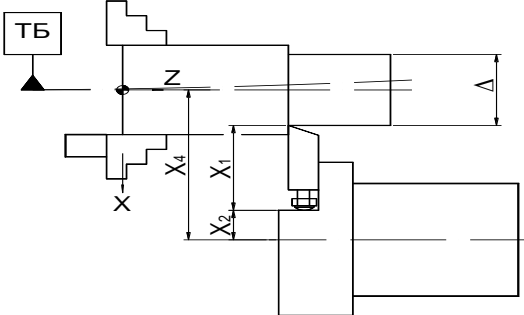
Полное соблюдение основных принципов базирования не всегда возможно, ввиду особенностей простановки размеров на чертеже, усложнения технологических измерений и станочных приспособлений. Если операционные размерные связи включают свыше четырех размеров, размерная цепь получается громоздкой, точность составляющих звеньев резко возрастает, а экономически целесообразная точность может быть не достигнута. В этом случае требуется пересмотр схем базирования, включая простановку размеров на чертеже.

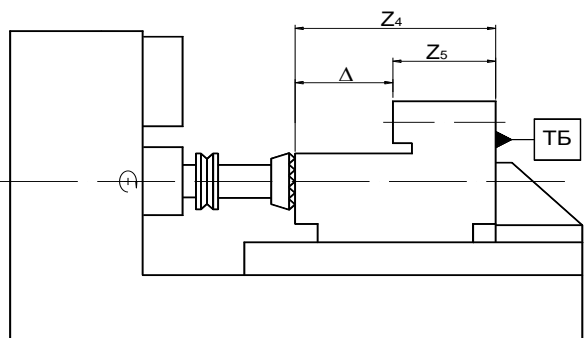
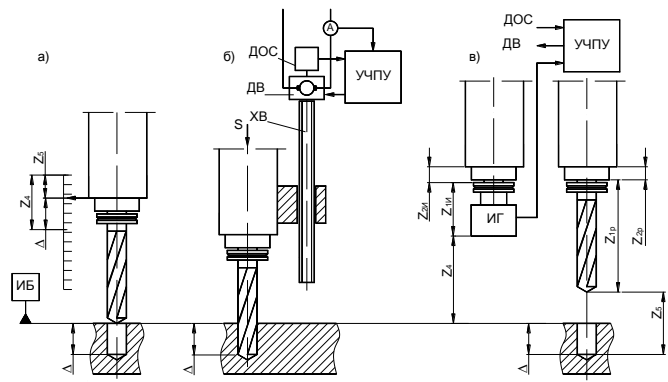
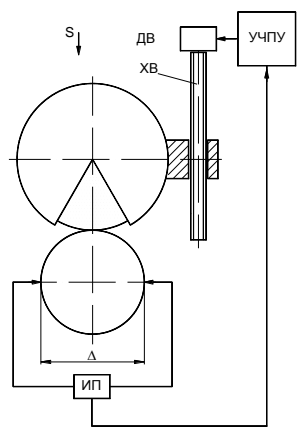
Рациональная простановка конструкторских размеров или их замена технологическими (рис. 29) обеспечивают экономически целесообразную точность обработки. Допуски операционных размеров при пересчете конструкторских размеров определяют методом «максимум-минимум», если число составляющих звеньев не превышает трех, и вероятностным методом – для большего числа составляющих звеньев [20]. Размеры, у которых допуски определены вероятностным методом, следует контролировать для выявления недопустимых отклонений.

Минимальные припуски определяют расчетом, учитывая высоту микронеровностей, глубину дефектного поверхностного слоя, отклонение формы и расположения поверхностей предыдущей операции и погрешности установки на рассматриваемой операции. Расчетный метод определения минимального припуска подробно рассмотрен в курсе «Технология машиностроения». Широко используется табличный опытно-статистический метод определения минимального припуска в зависимости от величины размера и этапа обработки, см. таблицы в методических указаниях [18].

Таблица 19

Погрешности размеров при различных способах их формирования

№	Способ формирования операционного размера, Δ	Погрешности размеров							
		Варианты	Инструмента	Установки инструмента	Движения инструмента	Позиционирования	Установки заготовки	Размеров заготовки	Измерений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<p>Мерным инструментом (копирование)</p>  <p>Сверление, зенкерование, развертывание, хонингование</p>	а	X_1	$2X_2$	-	-	-	-	-
		б	X_1	-	-	-	-	-	-
		в	X_1	-	-	-	-	-	-
		Применение самоустанавливающегося инструмента с плавающей муфтой, вариант б), или карданом, вариант в), минимизирует погрешности установки инструмента.							
2	<p>Формообразующим движением инструмента</p>  <p>Растачивание</p>	-	$2X_1$	$2X_2$	$2X_3$	-	-	-	-
3	<p>Движением инструмента относительно технологической базы (ТБ)</p>  <p>Точение</p>	-	$2X_1$	$2X_2$	-	$2X_4$	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	<p>Обработкой поверхностей, определяющих размер, на общей технологической базе (ТБ)</p>  <p>Фрезерование</p>	-	-	-	-	Z ₄ Z ₅	-	-	-
5	<p>Контролируемым движением инструмента относительно измерительной базы (ИБ)</p>  <p>Сверление</p>	а	-	-	-	Z ₄ Z ₅	-	-	Δ
		б	-	-	-	-	-	-	Δ
		в	Z _{1и} Z _{1р}	Z _{2и} Z _{2р}	-	Z ₄ Z ₅	-	-	Z ₈ -
		<p>а) По нониусу станка; б) По величине сил резания, контролируемых измерением силы тока якоря электродвигателя (ДВ), и передачей сигнала перемещения датчиком обратной связи (ДОС) в УЧПУ станка; в) По размерам, отсчитываемым от измерительной базы, положение которой фиксируется сменной измерительной головкой (ИГ), затем ИГ заменяется режущим инструментом.</p>							
6	<p>Движением инструмента с активным контролем операционного размера</p>  <p>Шлифование</p>	-	-	-	-	-	-	-	Δ

Номинальный припуск определяют как сумму минимального припуска и допусков предшествующих операционных размеров, входящих в размерную цепь, замкнутую этим припуском.

Максимальный припуск определяют как сумму номинального припуска и допуска операционного размера текущей операции. При этом точность операционных размеров назначается в соответствии этапом обработки, см. табл. 7.

Операционные размеры каждой операции получают из уравнений межоперационных размерных цепей, включающих операционные размеры и номинальный припуск последующей операции.

Межоперационные размерные связи и соответствующие размерные цепи представлены в табл. 20. Таблица строится в последовательности маршрутного описания от последней операции к первой. Размеры нумеруются последовательно в одном направлении. Принято: число размеров – N , номер размера – J , число операций – S , номер операции – I . Для рассматриваемой детали: $N=4$, $S=4$.

Индекс операционного размера и снимаемого на этой операции припуска составляется из двух знаков – IJ , первый из которых показывает номер операции, а второй – номер размера. При необходимости к индексу добавляется знак установка.

В соответствии с этапом обработки для каждого операционного размера назначают минимальный припуск и рассчитывают его номинальное и максимальное значение. На двусторонний размер $S21$ назначается двусторонний припуск $2Z21$. Размер готовой детали $S41=S31=S21$ получен на операции 2 (черновой этап). В приведенном примере все операционные размеры, за исключением $S22$, назначены от одной базы, которая задана на правом торце готовой детали посредством автоматического позиционера или программным базированием. Размерные цепи в этом случае состоят из трех звеньев, что позволяет выполнять операционные размеры при минимальных межоперационных припусках. Размер $S22$ задан от другой базы и замыкает размерную цепь из 4 звеньев, что приводит к завышению припуска на последующую операцию за счет допуска дополнительного размера $S21$ в межоперационной размерной связи.

В ходе технологического процесса меняются установочные поверхности заготовки, что необходимо учитывать при разработке межоперационной тары, устройств базирования, крепления, а также захватов промышленных роботов.

Межоперационные размерные связи и соответствующие размерные цепи

№	Операции, <i>l</i> из множества <i>S</i>	Установ	Эскиз и размеры детали, <i>J</i> из множества <i>N</i>	Операционные размеры, <i>IJ</i>	Точность см. табл. 7	П р и п у с к и		
						<i>ZIJmin</i>	<i>ZIJ</i>	<i>ZIJmax = ZIJ + IT((SI-1)J)</i>
4	Шлифовальная (Этап повышенной точности)	A		S41 S42 S43 S44 Размеры детали при <i>l=S</i>	<i>IT8</i>	Z42min Z43min Z44min	Z42min+ <i>IT10</i> (S32) Z43min+ <i>IT10</i> (S32) Z44min+ <i>IT10</i> (S33)	Z42min+ <i>IT10</i> (S32)+ <i>IT8</i> (S42) Z43min+ <i>IT10</i> (S32)+ <i>IT8</i> (S43) Z44min+ <i>IT10</i> (S33)+ <i>IT8</i> (S44)
3	Токарная (Этапы получистовой, чистовой)	A		S31=S41=S21 S32=S42+Z42 S33=S43-Z43 S34=S44-Z44	<i>IT10</i>	Z32min Z33min Z34min	Z32min+ <i>IT12</i> (S22) + <i>IT12</i> (S21) Z33min+ <i>IT12</i> (S23) Z34min+ <i>IT12</i> (S24)	Z32min+ <i>IT12</i> (S22)+ <i>IT10</i> (S32) + <i>IT</i> (S21) Z33min+ <i>IT12</i> (S23)+ <i>IT10</i> (S33) Z34min+ <i>IT12</i> (S24)+ <i>IT10</i> (S34)
	Токарная (Этап черновой)	Б		S21=S31 S22=S21-S32-Z32	<i>IT12</i>	Z21min	Z21min+ <i>IT14</i> (S11) Напуск	Z21min+ <i>IT14</i> (S11)+ <i>IT12</i> (S21) Напуск
		A		S23=S33-Z33 S24=S34-Z34		Z21min	Напуск Напуск	Напуск Напуск
	Отрезная	A		S11=S21+2Z21 S12=0 S13=0 S14=0	<i>IT14</i>			
Алгоритмы			Размеры <i>SIJ</i> и припуски <i>ZIJ</i>	$SIJ = S(l+1)J + Z(l+1)J$	<i>IT</i>	Припуск min см. [18]	$ZIJ = ZIJmin + IT(S(l-1)J)$	$ZIJ max = ZIJmin + IT(S(l-1)J) + IT(SIJ)$

6.6. Изготовление деталей на спутниках

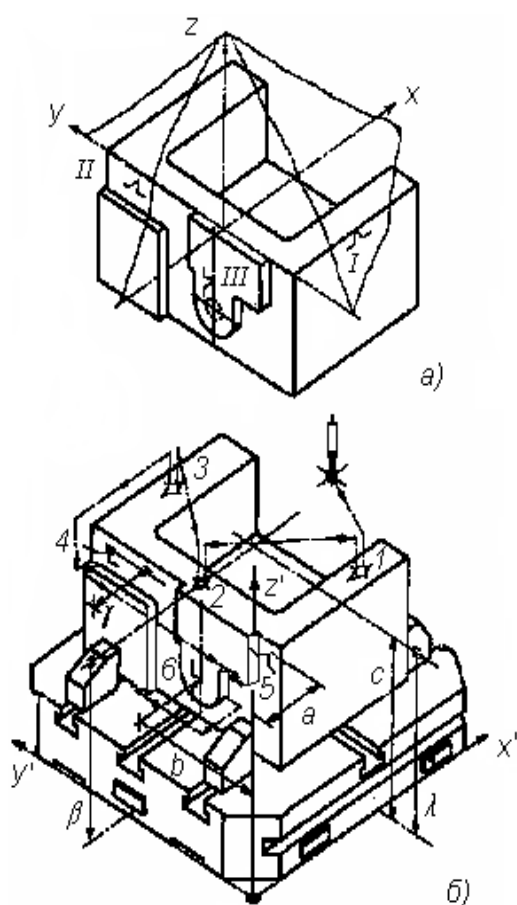


Рис. 30. Установка и выверка заготовки на спутнике [16]

Спутник – универсальная платформа для межоперационного перемещения, базирования и крепления заготовок в гибком автоматизированном производстве (рис. 30).

Установка заготовок на спутник производится вне станков на специально выделенном участке. Спутник оснащают простейшими устройствами крепления заготовки (обычно нормально-замкнутого или самотормозящего типа). Применение спутников позволяет сократить время закрепления заготовки, совместить его с машинным временем и использовать на станках стандартные устройства обмена и закрепления спутников.

При обработке деталей на спутниках выявляют и анализируют установочные, операционные и межоперационные размерные связи.

Достижение точности обработки на спутниках ведется методами полной взаимозаменяемости и регулирования.

По методу *полной взаимозаменяемости* заготовка устанавливается в настроенное

приспособление, а размерные связи с необходимой точностью определяют положение заготовки в системе координат станка.

Размерные связи включают *установочные размеры*, связывающие систему координат станка с базовыми поверхностями спутника; базовые поверхности спутника с базовыми поверхностями устройства крепления заготовки на спутнике; базовые поверхности устройства крепления заготовки на спутнике с базовыми поверхностями заготовки. Необходимая точность установки достигается повышением точности всех установочных размеров, что резко повышает стоимость оснастки, но часто оказывается недостаточным. Поэтому совместно с методом полной взаимозаменяемости применяют *регулирование*.

По методу *регулирования* производят установку заготовки на спутнике и/или спутника на станке с регулированием установочных размеров с целью последующего определения положения заготовки в системе координат станка. Применяют следующие способы регулирования установки.

1. Установка заготовки в спутнике по разметке или технологическим базам относительно базовых поверхностей спутника, для чего используют регулировочные звенья спутника и/или устройства крепления заготовки. Это наиболее доступный, но наименее точный способ регулирования.

2. Выверка (измерение координат) положения заготовки на спутнике с по-

следующей выверкой положения спутника на станке. Этот способ требует применения в технологическом процессе измерительной машины, что увеличивает трудоемкость и станкоемкость процесса, но не исключает погрешностей установки спутника на станке.

3. Выверка положения заготовки на станке. Этот способ позволяет исключить погрешности установки заготовки, так как координаты заготовки определяются на самом станке, работающем в режиме измерительной машины. Применение способа сдерживается еще высокой стоимостью таких станков.

6.7. Выверка положения заготовки на спутнике и станке

Схема установки и выверки заготовки на спутнике представлена на рис.30. На поверхности заготовки назначаются *установочная база I* – плоскость XOY (три точки измерения 1,2,3); *направляющая база II* – плоскость YOZ (две точки измерения 4, 5); *опорная база III* – плоскость XOZ (одна точка измерения 6 – ось симметрии прилива под главное отверстие обрабатываемого корпуса). Линии пересечения плоскостей образуют прямоугольную систему координат заготовки – $OXYZ$.

Измерения производят посредством измерительной машины (траектория щупа показана на рисунке) в прямоугольной системе координат спутника – $O'X'Y'Z'$, которая совпадает с его базовыми поверхностями. Установка заготовки на спутнике рассматривается как совмещение системы координат $OXYZ$ заготовки с системой $O'X'Y'Z'$ спутника. Наличие погрешности установки означает смещение и поворот системы координат заготовки в системе координат спутника, что определяется следующими составляющими:

a_y, b_y, c_y – параметры смещения по осям соответственно $O'X', O'Y', O'Z'$;

$\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$ – параметры поворота вокруг осей соответственно $O'X', O'Y', O'Z'$.

Положение детали на установочной базе I определяется путем измерения вертикального отклонения в назначенных точках 1, 2, 3: $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3$. Эти отклонения не должны превышать верхнего и нижнего отклонений, рассчитанных по формулам:

$$\Delta z_{yI}^B = c_y^B + y\lambda_y^B - x\beta_y^B; \quad (61)$$

$$\Delta z_{yI}^H = c_y^H + y\lambda_y^H - x\beta_y^H, \quad (62)$$

верхние индексы означают соответственно “в” – верхнее отклонение, и “н” – нижнее отклонение; x, y – координаты крайних точек поверхности установочной базы.

Положение детали на направляющей базе II определяется путем измерения горизонтального отклонения по оси $O'X'$ в назначенных точках 4, 5: $\Delta x_4, \Delta x_5$. Эти отклонения не должны превышать верхнего и нижнего отклонений, рассчитанных по формулам:

$$\Delta x_{yII}^B = a_y^B + y_4\gamma_y^B; \quad (63)$$

$$\Delta x_{y_{II}}^H = a_y^H + y_4 \gamma_y^H. \quad (64)$$

Положение детали на опорной базе определяется путем измерения горизонтального отклонения по оси $O'Y'$ в назначенной точке б: Δy_6 . Это отклонение измеряется по отклонению двух симметричных точек на противоположных сторонах прилива:

$$\Delta y_6 = 0.5(\Delta y_6^{\text{лев}} + \Delta y_6^{\text{прав}}); \quad (65)$$

и не должно превышать допускаемого:

$$\Delta y_{y_{III}}^H \leq \Delta y_6 \leq \Delta y_{y_{III}}^B. \quad (66)$$

Выверка положения заготовки на станке производится аналогично, с той лишь разницей, что положение системы координат заготовки определяется в системе координат станка.

6.8. Этапы достижения точности обработки в ГПС

Процесс достижения точности в ГПС включает три этапа: *установка, статическая настройка и динамическая настройка.*

На этапе установки закрепляют заготовку в приспособлении, выверяют ее положение в системе координат станка, устанавливают инструмент и закрепляют его в суппорте или другом рабочем органе станка. Положение инструмента относительно технологической базы заготовки определяется положением суппорта – размер X_{II} и положением инструмента в суппорте – размер X_y . На рис. 31 представлены размерные цепи статической и динамических настроек. На этапе статической настройки инструмент выводят на размер статической настройки X_c относительно технологической базы заготовки. В результате статической настройки формируются операционные размерные связи.

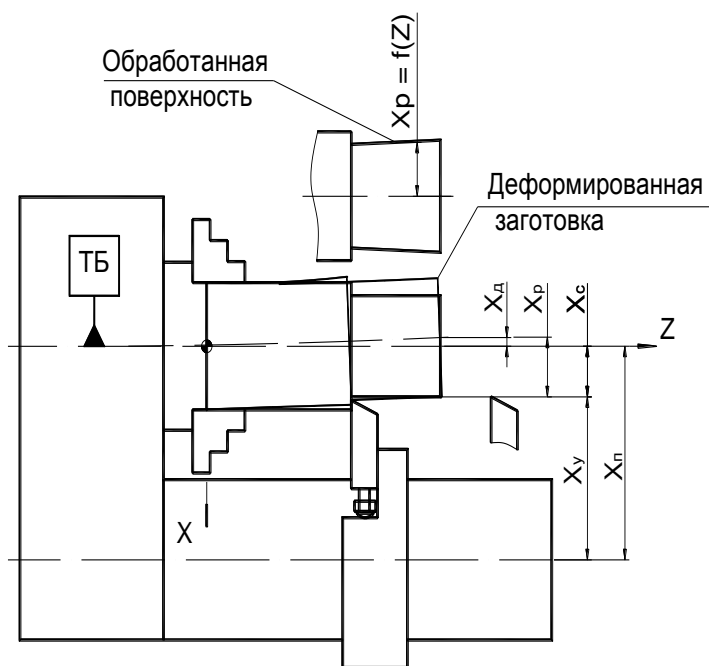


Рис. 31. Размерные цепи статической и динамической настройки

Размер статической настройки – замыкающее звено операционной размерной цепи, определяющее формируемый размер детали при отсутствии сил резания:

$$X_c = X_{II} - X_y. \quad (67)$$

Размер динамической настройки X_d – результат деформации системы: станок, приспособление, инструмент, заготовка под действием динамических и тепловых явлений резания.

Фактический операционный размер детали получается как замыкающее звено размерной цепи, включающей размеры: позицио-

нирования, установки и динамической настройки:

$$\Delta = X_{\text{п}} - X_{\text{y}} + X_{\text{д}} = X_{\text{с}} + X_{\text{д}}. \quad (68)$$

Фактический размер детали отличается от размера статической настройки на величину размера динамической настройки. Он может, как увеличивать, так и уменьшать размер статической настройки. Размер статической настройки назначается с учетом размера динамической настройки таким образом, чтобы обеспечить обработку максимального числа заготовок в пределах допуска, обеспечивая при обработке партии заготовок компенсацию износа инструмента смещением фактического операционного размера между его предельными значениями.

Изменение размера динамической настройки достигается изменением режимов резания и схем установки заготовок. Однако расчет размера динамической настройки на практике не производят. Его значение устанавливается методом пробных проходов при переходе между последовательными операционными размерами. На опытных заготовках уточняются расчетные режимы резания и число проходов, обеспечивающие достижение необходимой точности.

Современные станки оснащают системами адаптивного управления, которые ведут динамометрический контроль сил резания, перемещений узлов и базовых поверхностей станка. По результатам контроля минимизируют погрешности статической и динамической настройки, обеспечивая заданную точность обработки. Простейшая схема подобной системы приведена в табл. 19, п.5, б).

7. ВРЕМЕННЫЕ СВЯЗИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

7.1. Цель и задачи построения временных связей процесса

Автоматизированный производственный процесс – это поток множества событий, связанных причинно-следственными связями, в котором предприятие закупает и использует ресурсы, а производит изделия, предназначенные к продаже. Коммерческий и конкурентный характер современного производства определяет время как наиболее важный и дорогой производственный ресурс, учет которого является основой планирования и управления производством.

Учет времени ведется в показателях нормирования и загрузки, которые рассмотрены выше в разделе 3. Чем короче цикл автоматизированного производственного процесса, чем выше коэффициенты загрузки, синхронизации, использования оборудования и многостаночного обслуживания, тем эффективнее используются ресурсы производственного времени.

Цель построения временных связей – обеспечение выпуска продукции необходимого качества, в течение экономически целесообразного периода времени при рациональной загрузке оборудования и персонала.

Задачи построения временных связей – выявление причинно-следственных связей между событиями производственного процесса, установление вариантов возможной последовательности и совмещения событий, минимизация затрат

производственного времени, планирование рациональной загрузки оборудования и персонала.

7.2. Циклограмма автоматизированного цикла

Для наглядного представления потока событий производственного процесса строятся циклограммы.

Циклограмма – геометрическое описание временных связей и длительности событий. За начало отсчета циклограммы принимается начало автоматизированного цикла, а звенья циклограммы представляют длительность событий. Если события несовместимы по времени, то их общая длительность изображается на циклограмме не перекрывающимися вдоль оси времени звеньями. Периоды ожидания рассматриваются как отдельные события и представляются соответствующими звеньями, а замыкающее звено общей длительности событий рассчитывается по формуле:

$$T = \sum_{i=1}^k (t_{ik} - t_{in}), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (69)$$

где T – общая длительность k последовательных событий с номерами i .

t_{in} – период между началом цикла и началом i – го события в цикле;

t_{ik} – период между началом цикла и окончанием i – го события в цикле.

Если же события совместимы, то их общая длительность изображается на циклограмме перекрывающимися вдоль оси времени звеньями, а замыкающее звено рассчитывается по формуле:

$$T = \text{MAX}(t_{ik}) - \text{MIN}(t_{in}), \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (70)$$

Цикл и такт автоматизированного процесса являются звеньями циклограммы автоматизированной системы более высокого уровня. Циклы и такты ГПМ являются звеньями циклограммы ГАУ, циклы и такты ГАУ – звеньями циклограммы ГАЦ, циклы и такты ГАЦ – звеньями циклограммы ГАЗ. Разработка циклограмм по организационным уровням, позволяет строить их с высокой степенью детализации и выявлением резервов производственного времени.

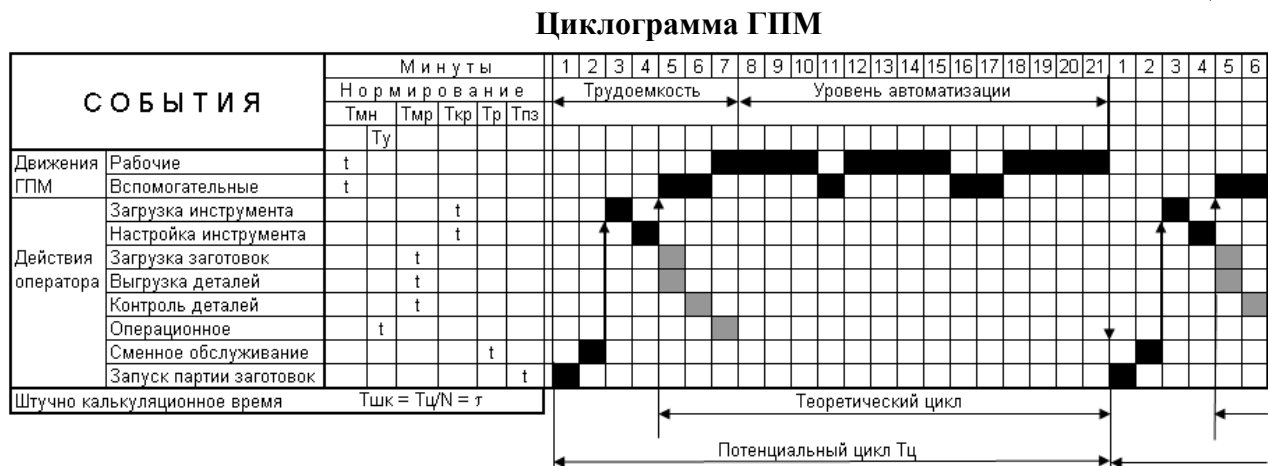
Полный учет временных связей предполагает разработку циклограмм вплоть до операционных переходов, где они описывают временные связи между технологическими движениями. В этом смысле управляющая программа ГПМ является перечнем связанных событий.

При построении циклограммы ведется более детальный, чем при нормировании, учет составляющих штучного времени, так как необходимо определить не только общие затраты времени, но и их место в последовательности событий, чтобы установить расписание обслуживания множества ГПМ и маршруты движения операторов.

В табл. 21 приведена циклограмма отдельного ГПМ. События, представляемые циклограммой, включают действия оборудования и оператора. Действия ГПМ и оператора расписаны по минутам. События, выделенные черным цветом, являются несовместимыми и происходят последовательно в строго определенных периоды цикла. События, выделенные серым цветом по отношению к

последовательным событиям, являются совместимыми и могут смещаться в пределах одного или более циклов по усмотрению оператора. Эти события являются компенсирующим звеном графика работы оператора при многостаночном обслуживании. Наличие таких периодов позволяет оператору работать без значительного напряжения и самостоятельно выбирать удобный режим обслуживания. Опоздания оператора предотвращаются автоматической фиксацией его действий, а также автоматическими устройствами сигнализации и блокирования ГПМ по завершению контрольного числа циклов.

Таблица 21*



*В таблице используются обозначения, введенные в разделе 3.

На циклограмме показан теоретический цикл, определенный для идеальных условий работы оборудования, не требующего обслуживания, и потенциальный цикл, который учитывает периоды планового (запуск партии заготовок) и сменного обслуживания ГПМ.

Потенциальный цикл, как правило, искажается простоями, связанными с ремонтом и неплановым обслуживанием оборудования, а также несвоевременной поставкой ресурсов.

Приведенная циклограмма содержит показатели нормирования технологических операций. При этом показатели штучного времени приводятся к одному изделию делением времени потенциального цикла на число $N_{ц}$ обрабатываемых в нем изделий.

Выполненная в виде электронной таблицы, циклограмма позволяет рассчитывать структурные составляющие штучного времени непосредственно по звеньям циклограммы, а также вести мониторинг и формировать текущие отчеты с привязкой затрат времени к конкретным периодам автоматизированного цикла.

7.3. Понятие о действительных фондах и затратах времени как о случайных величинах

Производственные процессы планируются на отчетные календарные периоды, в которых ведется учет использованных ресурсов, произведенной продукции, полученных доходов и прибыли. Отчетные периоды определены налого-

вым и трудовым законодательством и включают фиксированный фонд времени, в течение которого решаются производственные задачи.

Планируемый поток производственных событий организуется в рамках календарного фонда времени и в силу множества случайных событий, сопутствующих реальному производству, испытывает отклонения, которые приводят к изменению моментов начала и длительности событий. По этой причине длительность производственных событий представляется случайными числами.

Основными характеристиками случайного числа являются математическое ожидание (номинал) и дисперсия (среднеквадратичное отклонение от номинала).

Если временная связь реализуется в виде последовательности несовместимых событий, то числовые характеристики объединенного события можно определить на основе известных теорем теории вероятностей.

Теорема 1. Математическое ожидание суммы независимых случайных чисел равно сумме математических ожиданий слагаемых случайных чисел.

Теорема 2. Дисперсия суммы независимых случайных чисел равна сумме дисперсий слагаемых случайных чисел.

С учетом этих теорем общая длительность несовместимых событий ранее представленная формулой (64) будет определяться как математическое ожидание в виде:

$$M(T) = \sum_{i=1}^k [M(t_{ik}) - M(t_{in})], \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (71)$$

а дисперсия этой случайной величины будет определяться формулой:

$$D(T) = \sum_{i=1}^k [D(t_{ik}) + D(t_{in})], \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (72)$$

Для совместимых событий математическое ожидание общей длительности будет иметь вид:

$$M(T) = \text{MAX}[M(t_{ik})] - \text{MIN}[M(t_{in})], \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (73)$$

а дисперсия

$$D(T) = D[\text{MAX}(t_{ik})] + D[\text{MIN}(t_{in})], \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (74)$$

Обратим внимание на то обстоятельство, что отклонения (дисперсии) от номинала для длительности объединенного события складываются, а это означает, что при разработке технологических процессов и планировании производства следует стремиться к сокращению последовательности несовместимых событий и отдавать предпочтение совместимым событиям. На циклограмме (табл. 21) действия оператора, выделенные серым цветом, являются совместимыми по отношению к движениям модуля событиями, что повышает гибкость системы.

7.4. Структура подготовительно-заключительного времени ГПМ

Нестабильность моментов начала и длительности составляющих событий обусловлена следующими факторами: нестабильностью поставок всех видов

ресурсов, отказами оборудования, нестабильностью организационных мероприятий, а также нарушениями трудовой и технологической дисциплины.

Наиболее чувствительным звеном, подверженным влиянию организационных мер и дисциплинарных факторов, является подготовительно-заключительное время. Нестабильность моментов начала и длительности этого периода обусловлена разнообразным спектром работ, выполняемых множеством специалистов и служб.

Подготовительно-заключительное время для станков с ЧПУ и ГПМ определяют по формуле:

$$T_{пzi} = T_{пи} + T_{орpi} + T_{poi}; \quad (75)$$

где $T_{пи}$ – время переналадки станка и технологической оснастки;

$$T_{пи} = T_{ки} + N_{инi} + T_{инi} + S_{pi} T_{pi}; \quad (76)$$

$T_{орpi}$ – время получения и сдачи технологической оснастки, ознакомление с чертежом, описанием технологического процесса, другой документацией; T_{poi} – время пробной обработки первой заготовки; $T_{ки}$ – время переналадки крепежной оснастки; $T_{инi}$ – время замены одного инструментального блока; T_{pi} – время расточки кулачков; $N_{инi}$ – число заменяемых инструментальных блоков; S_{pi} – число расточек кулачков.

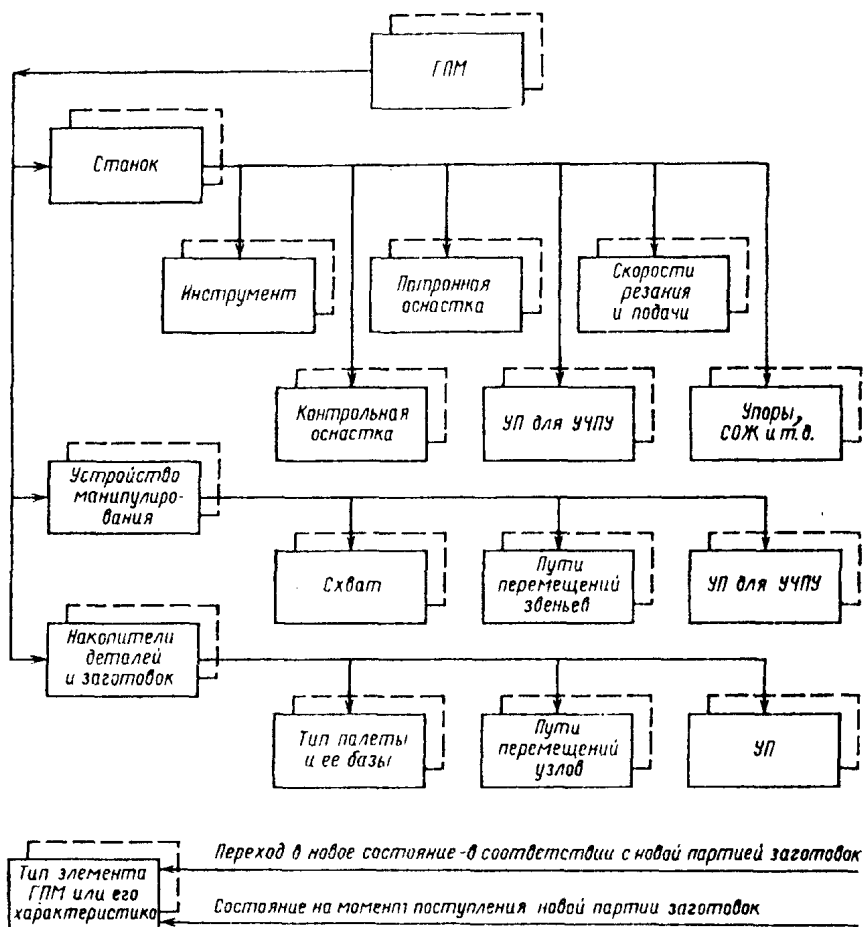


Рис. 32. Схема изменения состояния ГПМ при переналадке [13]

Процесс переналадки может содержать в себе такие операции, как поиск, погрузку и транспортирование необходимой оснастки в зону ГПМ.

Подсистемы и устройства ГПМ изменяются при переходе к изготовлению другой детали (рис. 32).

Изменения заключаются в установке новых инструментов, патронной или центральной оснастки, управляющих программ, захватов ПР, регулировке упоров и установке диапазонов регулирования параметров.

Рост числа и времени переналадок означает снижение гибкости системы.

Известно множество показателей гибкости автоматизированных систем, которые являются многопараметрическими функциями от периодов времени, связанных с изменением состояния ГПМ. Мониторинг и расчет таких показателей вызывает затруднения. В реальном производстве удобно использовать показатель гибкости, определенный для i -ого изделия номенклатуры с учетом (12) в виде:

$$k_{\bar{a}i} = 1 - \alpha_i = 1 - \frac{\dot{O}_{ic i}}{NT_{\phi i}}, \quad (77)$$

Из (77) следует, что гибкость автоматизированной системы зависит от конструктивно-технологических свойств детали и размеров партии. При достаточной величине последней, например: $N > 100$, $k_{\Gamma i}$ мало отличается от единицы. Таким образом, сокращение подготовительно-заключительного времени следует считать актуальной задачей автоматизации лишь в мелкосерийном и единичном производстве.

В качестве интегрального показателя гибкости системы, следует использовать лимитирующее значение $k_{\Gamma i}$:

$$k_{\bar{a}} = \text{MIN}(k_{\bar{a}i}) \quad (78)$$

С целью повышения универсальности и гибкости технологических систем большинство современных элементов ГПМ имеют расширенные функциональные возможности.

Нестабильность (потери) организационных мероприятий, влияющая на загрузку оборудования, минимизируется путем составления расписания работы участка с учетом маршрута и трудоемкости обработки заготовок. Следует отличать стационарные и нестационарные расписания работы системы.

Стационарным расписанием называют такую организацию работы системы, при которой работа отдельных ГПМ циклически повторяется за планируемый период. Подобная организация работы осуществляется обычно в средне- и крупносерийном производстве. Такой подход широко используют при анализе производительности автоматических и поточных линий.

Нестационарным расписанием называют такую организацию работы системы, при которой за планируемый период работа отдельных ГПМ циклически не повторяется. Анализ работы такого участка основан на теории невосстанавливаемых систем.

7.5. Особенности загрузки ГПМ

Согласно статистическим данным [13] потери времени в ГПС составляют до 40% общего фонда времени работы в одну или две смены. При этом размеры партий менее 40 – 60 шт. существенно снижают производительность и рентабельность ГПМ. Оптимальное число деталей в партии может изменяться в широких пределах: для ГПМ – 50 – 500, для ГАУ – 500 – 2000, [13]. Наиболее экономически оправданными являются партии, соответствующие верхним границам приведенных диапазонов. При нижних границах эффективность ГПС значительно уменьшается вследствие того, что увеличивается доля непроизводительного времени, затрачиваемого на переналадку оборудования, транспортирование заготовок и другие организационные потери. Наиболее значительны потери времени в мелкосерийном производстве, поскольку они соизмеримы со временем загрузки оборудования. Кроме того, здесь уже не могут использоваться такие методы устранения диспропорций в загрузке оборудования, как создание межоперационных заделов, что широко применяется в крупносерийном и массовом производстве.

8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

8.1. Сущность и этапы автоматического сборочного процесса

Автоматизация сборочных работ заключается в создании и применении средств автоматизации, обеспечивающих высокое качество сборки при сокращении трудоемкости. Структура штучного времени, показатели нормирования, загрузки и типов производства для автоматизированных операций и технологических процессов сборки определяются согласно положениям раздела 3.

Технологический процесс автоматической сборки изделия включает следующие этапы: подготовку деталей и комплектующих изделий (промывка, очистка, деконсервация, контроль комплектования и комплектующих); загрузку сопрягаемых деталей в бункерные, магазинные, кассетные и другие загрузочные устройства, захват, отсекание и подачу сопрягаемых деталей в ориентирующие и базирующие устройства; ориентацию сопрягаемых деталей на сборочной позиции с точностью, обеспечивающей собираемость соединений; соединение и фиксацию сопряженных деталей с требуемой точностью; контроль сборочных единиц (СЕ) на выходе, балансировка, маркировка, заправка смазочными материалами, топливом, испытание, регулирование, упаковка, учет).

Построение технологического процесса сборки зависит от габаритных размеров изделия, числа входящих в изделие деталей и сборочных единиц, характера и сложности соединений. Особенности собираемого изделия и программа выпуска определяют структурную схему технологического процесса автоматической сборки, последовательность выполнения его операций, их повторяемость, параметры автоматического оборудования и условия его настройки.

Нерациональный технологический процесс сопровождается потерями времени при эксплуатации сборочного оборудования. Поэтому при проектирова-

нии технологического процесса автоматической сборки нужно учитывать технологичность конструкции изделия и составляющих его элементов, которая должна обеспечить качество собираемого изделия; распределение переходов по сборочным позициям во времени и пространстве, точность относительной ориентации сопрягаемых деталей, надежность соединений; контроль качества собираемого изделия.

8.2. Технологичность конструкций для автоматической сборки

Основной признак технологичности изделия для автоматизированной сборки – наличие отдельных сборочных единиц, содержащих минимальное число деталей

Сокращение числа деталей достигается путем объединения в одной детали функций нескольких. Это уменьшает объем сборочных операций, а иногда и полностью исключает необходимость их выполнения.

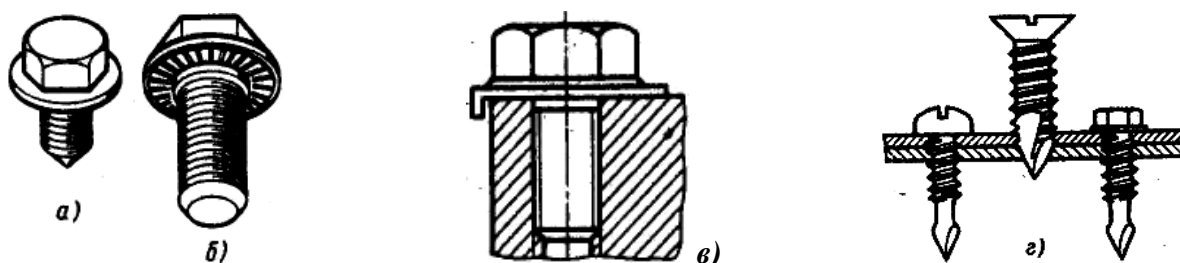


Рис. 32. Многофункциональные винты [16]

Например, винт с буртом (рис. 32, а) выполняет функции винта и шайбы. Выполнение на торце бурта зубьев (рис. 32, б) или отгибание края бурта (рис. 32, в) уменьшает возможность отвинчивания. Изготовление винтов «саморезов» (рис. 32, а), обеспечивает сверление и нарезание резьбы (рис. 32, з) в сопряженной детали, облегчает процесс механизации и автоматизации соединения и закрепления деталей.

Значительное сокращение крепежных изделий дают соединения с натягом и посредством упругих деталей (рис.33): крышек, втулок, упорных колец и пальцев, которые устанавливать проще, чем резьбовой крепеж. Перед сборкой размеры таких деталей увеличиваются за счет растяжения или уменьшаются путем сжатия для увеличения зазора в процессе сборки соединения.

Задача сокращения числа деталей и сборочных операций при изготовлении приспособлений и многих других изделий машиностроения может быть достигнута посредством укладки соединяемых деталей в форму и последующей их заливкой эпоксидной смолой или легкоплавким сплавом, образующим при охлаждении корпусную деталь.

Задача сокращения числа деталей и сборочных операций при изготовлении приспособлений и многих других изделий машиностроения может быть достигнута посредством укладки соединяемых деталей в форму и последующей

их заливкой эпоксидной смолой или легкоплавким сплавом, образующим при охлаждении корпусную деталь.

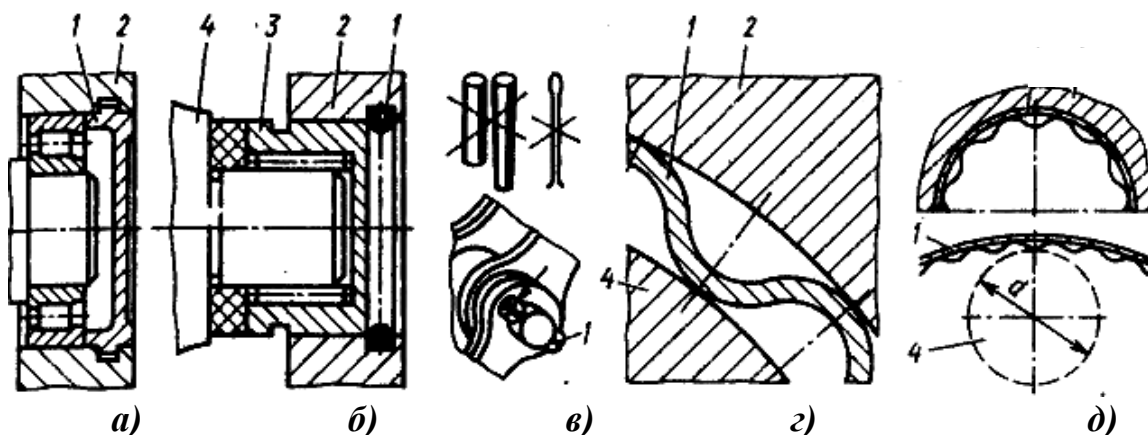


Рис.33. Соединения изделий с использованием упругих деталей [16]

а) – упругая крышка 1 с буртом в корпусе 2; б) – упругое кольцо 1 в корпусе 2 удерживает в осевом направлении детали 3 и 4; в) – применение упругих трубчатых штифтов 1; г) – применение упругих гофрированных колец 1 для взаимной фиксации деталей 2 и 4

Технологичность изделия под сборку предполагает наличие базовой детали, как правило, наибольших размеров, в которой ведется установка узлов и сборочных единиц изделия.

Базовая деталь не должна деформироваться под действием технологических нагрузок, ее положение должно быть устойчивым и неизменным. Это обеспечивается низким расположением центра тяжести и наличием плоских поверхностей, используемых в качестве установочной базы, или цилиндрических поверхностей, используемых в качестве направляющей или двойной направляющей баз.

Желательно, чтобы базовая деталь обеспечила монтаж присоединяемых сборочных единиц и деталей за одну установку.

Сборочные единицы должны свободно устанавливаться на базовую деталь в одном направлении несложным, желательно прямолинейным движением рабочего инструмента, для чего в корпусной детали нужно предусмотреть достаточное пространство.

Для удобства монтажа всех деталей базовая деталь должна иметь технологические базы, обеспечивающие высокую точность ее установки (базирования и закрепления).

Технологичность изделия под автоматизированную сборку предполагает минимально-возможное число переворотов, регулировок и переборок в технологическом процессе.

Для этого стремятся к тому, чтобы направления установки деталей располагались в одной или двух плоскостях: *вертикальная, горизонтальная или вертикально-горизонтальная сборка.*

При сборке подшипниковых узлов переборка исключается применением упругих элементов: втулок, плоских, цилиндрических и тарельчатых пружин,

которые применяют вместо жестких регулировочных распорных колец, размер которых определяется посредством предварительной сборки.

Технологичность изделия под сборку предполагает наличие конструктивных элементов, облегчающую их ориентацию, базирование, транспортирование и соединение.

Сопрягаемые поверхности должны иметь, возможно, большие по размерам заходные фаски с малыми углами. Фаски должны быть предусмотрены и на базовой детали, так как ее используют для установки многих деталей изделия.

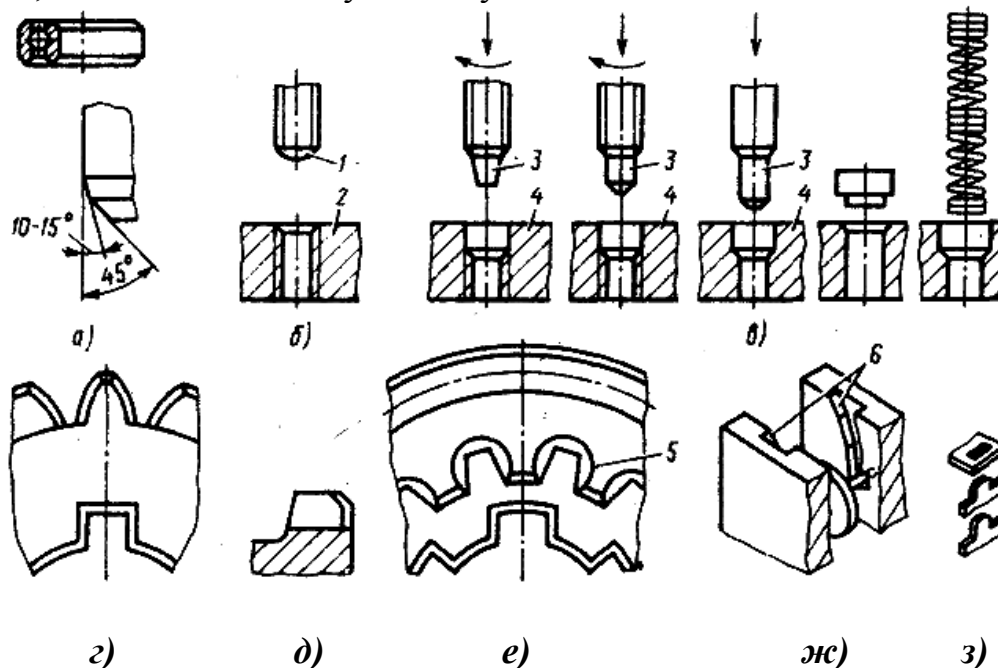


Рис.34. Технологичные конструкции заходных поверхностей соединяемых деталей [16]

Не вызывает затруднений получение фасок на деталях, изготавливаемых на металлорежущих станках, поэтому на таких деталях их делают в первую очередь. Угол заходной фаски на охватываемых деталях должен быть 10—15°, если ее устанавливают в металлическую деталь, и около 8°, если ее запрессовывают в деталь из пластмассы.

На подшипниках, тонкостенных втулках и кольцах и на сопрягаемых с ними поверхностях рекомендуется выполнять ступенчатые фаски (рис. 34, а). Вначале делается угол 30 – 45° для облегчения установки, а затем угол 10—15° для уменьшения силы запрессовки и деформаций кольца или втулки.

Сложность соединения резьбовых деталей связана с тем, что они часто не могут быть завинчены из-за возможных дефектов и смятия заходной части резьбы. Количество брака можно снизить, если торцы винтов выполнять в виде полусферы (рис. 34, б), а в сопряженных деталях предусмотреть заходные фаски 2. При этом осевая нагрузка в процессе сборки будет распределяться равномерно по вершинам резьбы в отверстии сопряженной детали, и вероятность смятия захода витка резьбы уменьшится.

При установке пружин, деталей с резьбовыми и цилиндрическими поверхностями можно повысить производительность, если предусмотреть конические

или цилиндрические цапфы 3 и выточки 4 в корпусе (рис. 34, в). Эти элементы дают возможность базировать устанавливаемую деталь непосредственно по базовой детали и тем самым исключить влияние погрешностей технологической оснастки и сборочной машины на соединение деталей.

Технологичность изделия под сборку предполагает наличие у сопрягаемых зубчатых поверхностей торцовых фасок.

С подобными трудностями встречаются при сборке шлицевых соединений и зубчатых передач. Обеспечить совпадение поверхностей трудно, а иногда невозможно. Для облегчения сборки необходимо предусматривать скругления на торцах зубьев колеса с меньшим числом зубьев (рис. 34, д) или зенкерованные перед прошивкой зубьев углубления 5 на колесах (рис. 34 е). Аналогичный эффект достигается при округлении соединяемых деталей (рис. 34, з).

По контуру шпоночного паза втулки должны быть предусмотрены заходные фаски достаточно большой ширины, а на шпонке — скругления на торцах (рис. 34, г). Фаски облегчают процесс сборки шпоночного соединения, так как сборка оказывается возможной даже при разности относительного углового положения деталей в несколько градусов.

Технологичность изделия под сборку предполагает наличие разъемных корпусов, пазов и замковых соединений.

Для установки присоединяемых деталей удобны разъемные корпусные детали и пазы б (рис. 34, ж) которые имеют большую ширину на входе в первоначальный период сборки соединения и необходимый размер в конечном положении.

Технологичность изделия под сборку предполагает типизацию конструктивных элементов и унификацию деталей.

Для облегчения соединения отверстия под крепеж в базовой детали должны размещаться равномерно, с заданной точностью. Количество типов посадочных и сопрягаемых поверхностей, а также применяемых видов соединений деталей должно быть минимальным.

Для сборки неудобны шпоночные и шлицевые соединения. Их целесообразно заменить на цилиндрические или конические соединения с гарантированным натягом. При соединении деталей по коническим посадочным поверхностям в первоначальный момент их сопрягают со значительным зазором, который облегчает процесс сборки, а по мере их перемещения зазор выбирается и создается необходимый натяг.

8.3. Достижение точности при автоматической сборке

В технологических процессах сборки используются рассмотренные выше пять методов достижения точности (МДТ) замыкающих звеньев размерных цепей: полная взаимозаменяемость (ПВ), неполная взаимозаменяемость (НВ), групповая взаимозаменяемость (ГВ), регулирование (Р), пригонка (П). Кроме того, могут быть использованы различные комбинации этих методов.

Автоматическая сборка методом полной взаимозаменяемости представлена структурной схемой (рис. 35). Сборочный автомат (СА), осуществляющий

сборку двух деталей D_1 и D_2 , которые поступают на его вход, обеспечивает получение сборочной единицы СЕ. Гарантированное обеспечение требуемого размера замыкающего звена при полной взаимозаменяемости позволяет отказаться от контроля замыкающего звена, получающегося в результате сборки. Это особенно важно в тех случаях, когда трудно автоматизировать контроль размера в сборочной единице. При ПВ достаточно контролировать размеры деталей, подаваемых на сборку. В процессе сборки методом ПВ для достижения требуемого размера замыкающего звена не требуется никакой дополнительной информации и связанных с этим дополнительных сложностей по ее получению и автоматическому использованию.

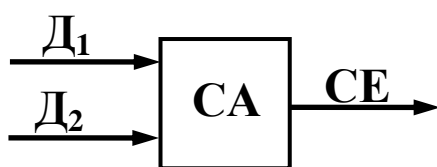


Рис. 35. Структурная схема автоматической сборки методом ПВ [13]

Метод ПВ не требует дополнительной информации о положении и размерах деталей в ходе реализации сборочного процесса. Относительная простота организации и управления сборкой при использовании метода ПВ объясняет его широкое распространение для достижения точности в автоматическом производстве.

Единственный недостаток метода ПВ – необходимость более высокой точности изготовления деталей, чем при любом другом методе. Стремление предельно удешевить сборку и автоматическое сборочное оборудование использованием метода ПВ приводит в ряде случаев к значительному повышению точности, а следовательно, и себестоимости изготовления составляющих деталей, что не всегда окупается снижением затрат на сборку.

Автоматическая сборка методом неполной взаимозаменяемости представлена структурной схемой (рис. 36).

Детали D_1 и D_2 собираются в сборочном автомате СА. Все СЕ должны пройти контрольный автомат КА и часть СЕ, попавших в процент риска, будет отбракована. Эти СЕ должны быть разобраны разбирающим автоматом РА, а составляющие детали возвращены для повторной сборки в другом сочетании. В ряде случаев, например, при сборке валика и втулки по переходной посадке, может оказаться, что некоторые детали вовсе нельзя установить при сборке. Эти случаи тоже включены в процент риска. Они могут привести к заклиниванию или поломке сборочного автомата. Для предотвращения заклинивания и поломок необходимо предусмотреть контрольно-блокировочное устройство КБУ, которое прерывает сборочный процесс, выводит из зоны сборки несобранные детали, возвращает автомат в исходное состояние для продолжения сборки других деталей. КБУ срабатывает при получении текущей информации о сборочном процессе. Для этого бывает достаточно контролировать силы в процессе соединения деталей на рабочей позиции сборочного автомата, например осевую силу при постановке валика во втулку.

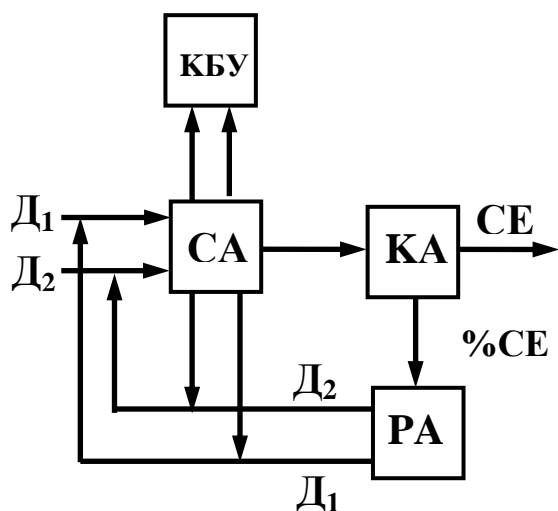


Рис. 36. Структурная схема автоматической сборки методом НВ [13]

кающего звена требуемой точности, поэтому необходимо предусмотреть дополнительные позиции в сборочной автоматической линии или автомате, что усложняет и удорожает сборку.

Для осуществления сборки требуется дополнительная информация, которая может быть получена не заранее, а только лишь в процессе сборки или по завершении сборки. Эта информация должна быть получена с помощью соответствующих датчиков, преобразована для автоматического анализа и выдачи управляющего воздействия, а также использована для осуществления автоматической сборки методом НВ.

Вместе с тем, метод НВ позволяет увеличить допуски на составляющие звенья размерной цепи в \sqrt{m} раз при той же точности замыкающего звена, по сравнению с допусками при использовании метода ПВ, где m — число составляющих звеньев, при 0,27 % - м риске и нормальных законах распределения размеров. Чем больше составляющих звеньев в размерной цепи, тем выгоднее использовать метод НВ по сравнению с методом ПВ.

Автоматическая сборка методом групповой взаимозаменяемости представлена структурной схемой (рис. 37). При автоматической сборке методом ГВ детали должны быть предварительно рассортированы по размерам на группы сортировочными автоматами С. Далее детали D_1 и D_2 первой размерной группы собираются сборочным автоматом СА I, а детали D_1 и D_2 второй размерной группы – сборочным автоматом СА II. Аналогично собираются детали других размерных групп.

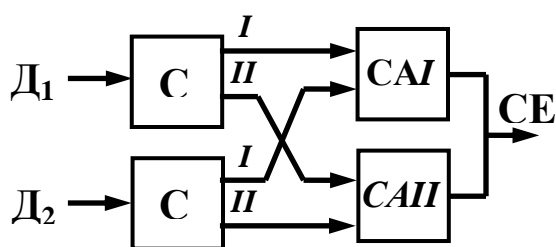


Рис. 37. Структурная схема автоматической сборки двух деталей методом ГВ [13]

В случае возникновения натяга или при заклинивании деталей сила сопротивления движению рабочего органа сборочного автомата, устанавливающего деталь, увеличится, что послужит сигналом к прерыванию сборки, возвращению рабочего органа в исходную позицию и удалению собираемых деталей из рабочей зоны автомата.

Автоматическое сборочное оборудование, работающее по методу НВ, также характеризуется простотой и компактностью. Однако, при использовании метода НВ не у всех сборочных единиц гарантируется получение замы-

На схеме показано два сборочных автомата, каждый из которых собирает детали одной размерной группы.

Так может быть только при большом объеме выпуска изделий. Если же для достижения требуемой производительности достаточно одно-

го автомата, то детали разных размерных групп собираются на одном автомате по очереди. В этом случае необходимо обеспечить одновременную подачу на сборочную позицию собираемых деталей какой-либо одной размерной группы. В пределах одной размерной группы достижение точности изготовления изделий осуществляется методом ПВ. Поэтому в собранных изделиях гарантируется достижение требуемого размера замыкающего звена и дополнительный контроль не требуется.

Если при сборке методом ГВ s деталей, составляющих сборочную единицу, сортируют на n размерных групп, то для хранения и подачи на сборку необходимо sn накопителей.

Некоторые детали клеймят или маркируют, чтобы при сборке их не перепутать с такими же деталями другой размерной группы. Это усложняет организацию сборки. Предварительная сортировка собираемых деталей на размерные группы требует получения информации о размерах всех деталей путем их измерения. Поэтому по сравнению с методом ПВ метод ГВ, как и другие методы, требует увеличения информации для осуществления сборки. Для этого необходимы дополнительные устройства и дополнительные затраты времени. Вместе с тем допуски на составляющие звенья расширяются в n раз.

Автоматическая сборка методом регулирования представлена схемой (рис. 38) сборки шарикоподшипников.

Достижение требуемой точности замыкающего звена регулированием размера в автоматической сборке может осуществляться с использованием подвижного или неподвижного компенсатора.

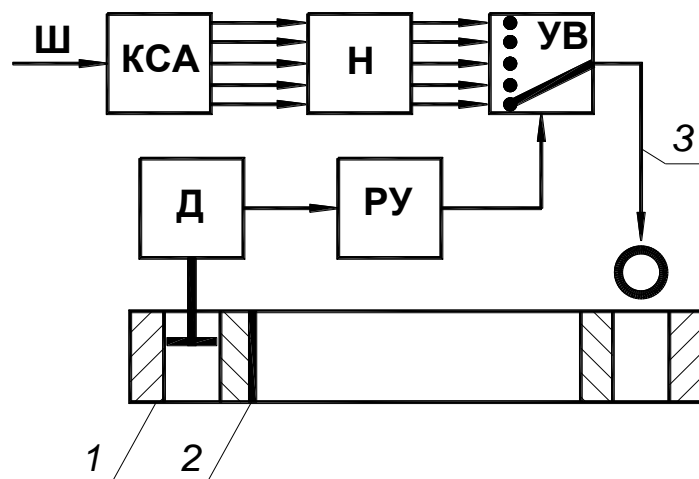


Рис. 38. Схема автоматической сборки шарикоподшипников методом регулирования [13]

В первом случае для этого следует использовать соответствующие возможности конструкции самого изделия, где размер может регулироваться с помощью винтового, клинового или другого механизма. Во втором случае при неподвижном компенсаторе требуется заранее изготовить детали-компенсаторы нескольких разных размеров и в процессе сборки установить компенсатор необходимого в данном случае размера.

По последнему принципу устроены автоматы сборки подшипников. Размеры шариков Ш (рис. 38), поступающих на сборку, измеряются в контрольно-сортировочном автомате КСА, который сортирует их по размерам на 50 размерных групп через 2 мкм. Затем шарики поступают в накопители Н.

Наружное 1 внутреннее 2 кольца поступают на сборочную позицию. Радиальный зазор между двумя кольцами измеряется датчиком Д, который выдает сигнал в решающее устройство РУ и далее в устройство выбора УВ размеров шариков. УВ включает и переключает подвижный лоток на кассету накопителя с требуемыми размерами шариков. Необходимое число шариков нужного размера по трубчатому лотку 3 подается на сборочную позицию.

Применение метода регулирования в автоматическом производстве связано с необходимостью автоматического измерения размеров, обработки полученной информации и использования ее для регулирования механизма. Использование ЭВМ, контактных головок, активного контроля размеров, адаптивного управления свидетельствует о переходе от метода полной взаимозаменяемости на метод автоматического регулирования для достижения высокой точности в условиях автоматического производства.

Автоматическая сборка методом пригонки представлена схемой (рис.39) автоматической пригонки плунжеров под размер плунжерной втулки.

Окончательно обработанная плунжерная втулка 1 подается на бесцентровошлифовальный станок, на котором под диаметр d_0 отверстия втулки дошлифовывается плунжер 2 по наружному диаметру d_6 . Диаметр d_0 отверстия втулки измеряется датчиком D_2 , а диаметр d_6 плунжера измеряется в процессе обработки датчиком D_1 . Сигналы с датчиков, пропорциональные диаметрам d_0 и d_6 , подаются в сравнивающее устройство 3, где вычисляется разность $\Delta = d_0 - d_6$ и сравнивается с сигналом от задающего устройства 4, которое задает требуемое значение ширины зазора в соединении втулки и плунжера (замыкающее звено).

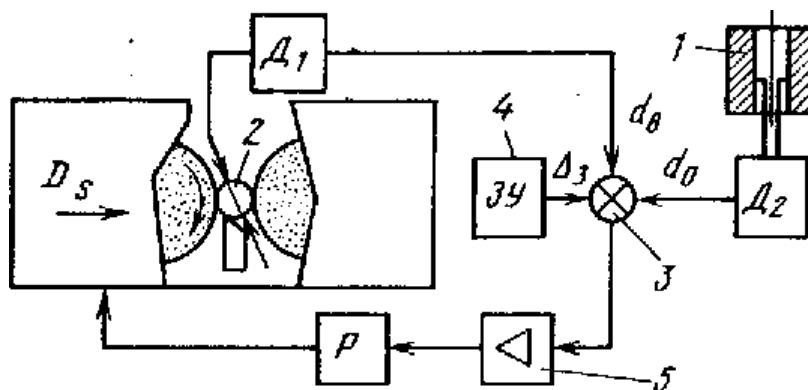


Рис. 39. Схема сборки автоматической пригонкой плунжеров под размер втулки [13]

Пока заданное значение зазора больше текущего значения, сигнал с выхода сумматора 3, усиленный усилителем 5, оказывается положительным и шлифование плунжера продолжается. По мере шлифования размер d_0 постепенно уменьшается и разность $\Delta = d_0 - d_6$ постепенно увеличивается. При достижении заданного значения разности диаметров, т.е. $\Delta = \Delta_3$, сигнал на выходе сумматора становится равным нулю и затем становится отрицательным. Регулятор P мгновенно срабаты-

вает и подает команду на отвод шлифовального круга. Размер d_6 плунжера соответствует размеру d_0 втулки и их разность равняется требуемому зазору Δ_3 . Таким образом, каждый плунжер индивидуально подгоняется по диаметру к диаметру каждой втулки. Так осуществляется автоматическая пригонка плунжеров.

Обратная связь в данном случае осуществляется благодаря использованию датчика D_1 , измеряющего диаметр плунжера, и датчика D_2 , измеряющего диаметр отверстия втулки. Вычисление разности двух аналоговых сигналов здесь реализуется операционным усилителем. Задатчик представляет собой переключатель или потенциометр со шкалой. В более сложных случаях необходимо использовать вычислительную технику. При сборке методом ПВ в этом нет необходимости. Метод пригонки имеет те же отличия от метода ПВ, что и метод регулирования. В отличие от метода регулирования метод пригонки требует обработки компенсатора.

Достижение требуемой точности замыкающего звена размерной цепи пригонкой состоит в удалении необходимого слоя материала с детали, являющейся компенсатором, для компенсации отклонений размеров всех составляющих звеньев. Этот метод похож на метод регулирования с неподвижным компенсатором. Разница лишь в том, что компенсатор не изготовлен заранее с определенными размерами как при методе регулирования, а имеет необходимый припуск, который частично или полностью удаляется при сборке для достижения требуемой точности замыкающего звена.

Пригонка так же, как и регулировка, позволяет обеспечить высокую точность размера замыкающего звена даже при большом числе составляющих звеньев. Однако для пригонки необходимо осуществлять дополнительную обработку компенсатора непосредственно при сборке, что в ряде случаев нежелательно.

Каждый из перечисленных пяти методов имеет преимущества, недостатки и области наиболее эффективного использования. Критерием выбора метода является минимум суммы всех затрат на изготовление составляющих звеньев и сборку.

8.4. Методы и средства транспортирования и ориентирования деталей

Выбор системы транспортирования является одним из наиболее существенных вопросов компоновки сборочных автоматов и автоматических линий. Транспортные устройства перемещают детали в соответствии со схемой сборки с одной рабочей позиции на другую и осуществляют их ориентацию.

Наибольшее распространение получили шаговые штанговые транспортеры с собачками (рис. 40, а). При работе они совершают простейшее перемещение – периодическое возвратно-поступательное.

Существенным преимуществом шагового транспортера с собачками является простота движения и соответствующая ей простота привода (гидро- или пневмоцилиндр). Недостаток его – отсутствие фиксированной ориентации детали в конце хода транспортера и в процессе транспортирования. В конце хода

транспортера приходится снижать скорость или устанавливать демпфирующие устройства, что удлиняет цикл сборки и усложняет конструкцию.

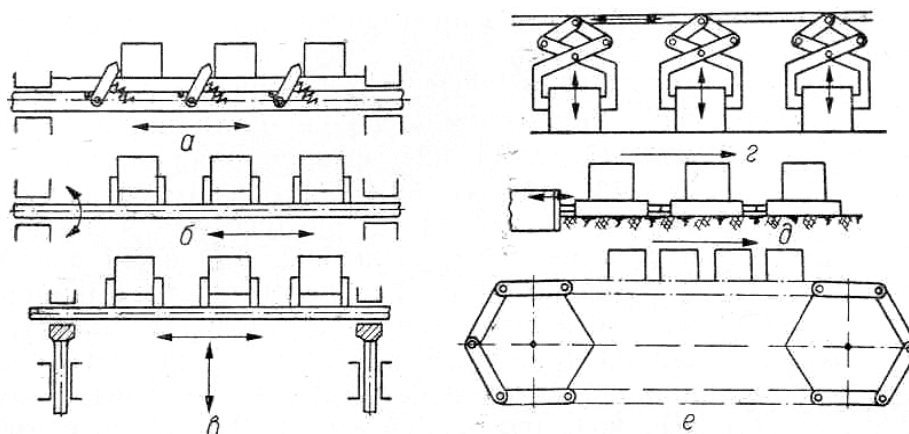


Рис. 40. Типы шаговых транспортеров

Шаговые штанговые транспортеры с флажками (рис. 40, б) позволяют достаточно определенно фиксировать обрабатываемую деталь.

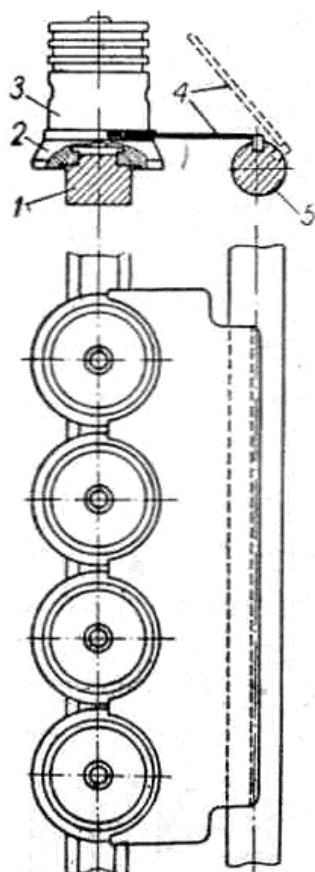


Рис. 41. Перемещение поршней

Транспортировка поршней (рис. 41) осуществляется на приспособлениях-спутниках 2 по направляющему рельсу 1 фасонного сечения возвратно-поступательно движущейся штангой 5, на которой закреплены фасонные козырьки – флажки 4.

В исходном положении штанги 5 фасонные козырьки приподняты. При перемещении поршней 3 штанга вместе с флажками поворачивается на угол 45° в сторону рельса. Каждый вырез козырька охватывает один спутник 2. При движении штанги вперед происходит одновременно перемещение вперед четырех поршней на одну позицию по всей линии. После этого штанга поворачивается в первоначальное положение и совершает обратный ход. Поворот штанги и ее осевое перемещение осуществляются двумя гидравлическими цилиндрами.

Транспортеры с флажками требуют более сложного привода, чем транспортеры с собачками: нужно осуществить дополнительное движение – вращение штанги, затем штанга должна быть заперта, а самопроизвольный поворот флажков должен быть исключен.

Значительно реже применяются грейферные шаговые транспортеры (рис.40, в), в которых штанга совершает поочередно два возвратно-поступательных перемещения в перпендикулярных направлениях с чередованием фаз. Обрабатываемые детали перемещаются жесткими флажками. Конструктивное выполнение

таких транспортеров обычно сложное. Они применяются только в тех случаях, когда подход к захватываемым деталям может быть произведен лишь с определенной стороны, причем посадка транспортируемых деталей на позициях такова, что для перемещения с позиции на позицию транспортер должен поднять деталь вверх.

Рейнерные шаговые транспортеры (рис. 40, з) представляют собой усложненный вид грейферных. Кинематика их та же. Детали перемещаются не флажками, а закрепленными на штангах захватами, которые обычно расположены сверху. Эти транспортеры требуют сложных надстроек над линиями. Однако для автоматических линий, на которых обрабатываются валы, применение рейнерных транспортеров в ряде случаев оправдано.

Толкающие шаговые транспортеры (рис. 40, д) являются простейшими. В них толкатель (обычно шток гидро- или пневмоцилиндра) непосредственно воздействует на последнюю деталь из сплошной колонны. Вся колонна при ходе толкателя двигается одновременно за счет давления друг на друга вплотную расположенных деталей. Для начала движения массы деталей в дополнение к основному толкателю с большим ходом применяют второй – вспомогательный транспортер с коротким ходом.

Недостаток толкающих транспортеров заключается в том, что фиксация деталей колонны вследствие накопления ошибок линейных размеров не может производиться одновременно. Приходится фиксировать их после отвода толкателя, начиная с самой дальней от него детали. Из-за этого удлиняется цикл действия линии. Однако, несмотря на указанный недостаток, толкающие транспортеры благодаря их простоте находят широкое применение.

Цепные транспортеры (рис.40, е) широко применяются в качестве средств непрерывного транспорта, однако в качестве шаговых они применяются реже. Базирование деталей, перемещаемых звеньями цепи, на позициях производится

отдельными устройствами, что усложняет конструкцию транспортера. Однако в этих транспортерах легко изменить шаг. Они обеспечивают досылку предметов в базировочные устройства за счет непрерывного движения.

Методы ориентации деталей в автоматах и автоматических линиях рассмотрены выше в разделе 4.3. В гибких автоматизированных производствах используются универсальные программируемые позиционирующие роботы, которые работают в составе ГПМ и способны вращать базовые детали вокруг трех осей, обеспечивая необходимое для сборки положение с высокой точностью, см. рис. 42.



Рис. 42. Высокоточный позиционирующий робот

<http://www.tetratekproducts.com/Automation.htm>

9. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

9.1. Структура интегрированной автоматизированной системы управления.

В самом общем виде производственная система является совокупностью трех взаимодействующих подсистем: физической (средства производства), информационной и решающей. Система осуществляет производственные процессы, которые характеризуются наличием, движением и взаимодействием *материальных* и *информационных* потоков, см. выше п.2.1.

В физической системе производятся изделия, а решающая подсистема, пользуясь информационной, обеспечивает управление.

Информационная и решающая подсистемы образуют интегрированную автоматизированную систему управления (ИАСУ), которая построена на базе аппаратных средств, их сетей и программного обеспечения.

Внутренние и внешние связи в ИАСУ можно представить в виде сложных сетей, отражающих и связывающих физические, информационные и управляющие потоки. Сети, отражающие физические потоки, перерабатывают и содержат данные о движении материальных, трудовых и энергетических ресурсов. Информационные сети обеспечивают разработку технических решений и передачу информации между производственными подразделениями и рабочими местами. Управляющие сети связывают места принятия решений с местами, где эти решения выполняются.

ИАСУ предназначена для автоматизированного управления производственными процессами, конструирования изделий, технологической подготовки производства и изготовления изделий с обеспечением технологической гибкости, высокой производительности и бесперебойной работы.

В ИАСУ предприятия входят следующие подсистемы.

- САПР, используемая для конструирования изделий;
- АСУП, используемая для планирования и координации всех подсистем ИАСУ предприятия;
- АСНИ, используемая для исследования опытных образцов на соответствие требованиям технического задания (ТЗ);
- АСТПП, используемая для технологической подготовки производства, управляющих программ для станков с ЧПУ, проектирования технологической оснастки и инструмента;
- Автоматизированная система организационно-экономического управления, используемая для текущего и оперативного планирования и учет производственных процессов (АСОЭУ);

- Автоматизированная система организационно-технологического управления, (АСОТУ) используемая для управления технологическими объектами;

- Система автоматизированного контроля (САК), используемая для контроля функционирования ГПС и точности и качества изготовления изделий.

Подсистемы САПР, АСУП, АСНИ объединяют в комплекс верхнего уровня, на котором вырабатывается стратегия организационно-экономического управления, планируется загрузка и осуществляется подготовка производства.

На уровне подсистем АСПП, АСОЭУ, АСОТУ решаются задачи тактического организационно-технологического планирования и управления, разрабатываются технологические управляющие программы и осуществляется непосредственное управление технологическим оборудованием в режиме реального времени.

Функционирование ИАСУ связано с обработкой больших объемов информации, необходимой для функционирования автоматизированного производства. Для организации и автоматизированного управления производством необходима информация:

- о структуре и характеристиках управляемых СТО, их связях, устройствах съема информации и каналах связи;

- о состоянии управляемых СТО и ИАСУ;

- о состоянии внешней среды и возмущениях, действующих на производственную систему;

- о допустимых и предпочтительных стратегиях планирования и управления в ИАСУ;

- о целях функционирования ИАСУ, критериях ее эффективности, а также ограничениях, подлежащих учету.

9.2. Уровни управления автоматизированного производства

Информационное обеспечение автоматизированного производства включает совокупность информации, содержащейся в массивах данных, документах, сигналах, а также методы ее организации, хранения и контроля, обеспечивающие взаимосвязанное решение задач управления. В состав информационного обеспечения производства входит административная, экономическая оперативно-производственная, оперативно-технологическая и нормативно-справочная информация.

Административная информация (распорядительная, служебно-информационная, по личному составу) обеспечивает общее руководство.

Экономическая информация включает данные технико-экономического планирования (ТЭП), учета отчетности производства и обеспечения, и также анализа деятельности ГАЦ.

Оперативно-производственную информацию составляют данные системы АСОЭУ.

Оперативно-технологическую информацию составляют данные системы АСОТУ, а также системы АСТПП.

Нормативно-справочную информацию составляют справочники, классификаторы, нормативы и нормы, формы плановой, учетной и отчетной документации, словари, календарь и т.п.

Структура системы информационного обеспечения ИАСУ предприятия строится по принципу трехуровневой информационно-управляющей системы: 1) стратегическое и текущее планирование; 2) организационное управление; 3) оперативное планирование и управление.

Управление цехом включает следующие уровни.

Верхний уровень управления (уровень цеха) реализует функции АСОЭУ: оперативное управление производством; экономическое управление производством; ведение оперативного учета состояния производства на участках; ведение информационных массивов; хранение библиотеки управляющих программ для станков с ЧПУ на всю номенклатуру; обмен информацией с АСУП по каналам связи.

Средний уровень управления (уровень участка) реализует следующие функции: координацию работы системы в реальном масштабе времени, сбор, первичную обработку и хранение технической информации; хранение текущей информации о состоянии оперативного и общего складов; хранение массивов сменно-суточных заданий; подготовку и обмен информацией с нижним уровнем управления и АСОЭУ; выдача контрольных данных; диагностику состояния комплекса оборудования и технических средств; хранение управляющих программ для работы оборудования; оперативный учет выполнения сменно-суточных заданий.

Нижний уровень управления (уровень технологического оборудования) осуществляет вызов управляющих программ для станков с ЧПУ, управление технологическим оборудованием и станочными роботами.

9.3. Структура, функции и порядок разработки управляющих программ

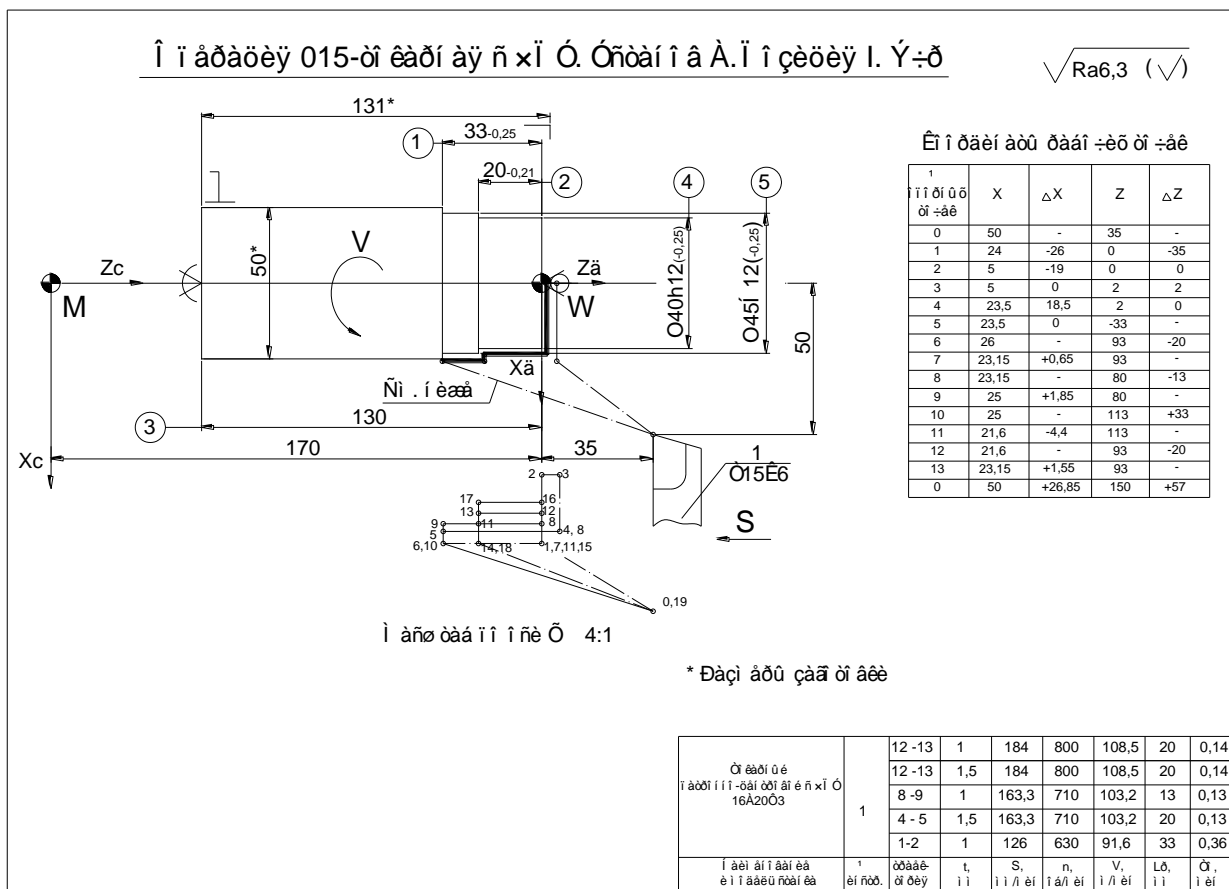
Управляющая программа должна предусматривать разделение операции на установки и позиции, выбор метода базирования и крепления заготовки, подготовку операционной технологической карты, определение нужной последовательности переходов, выбор верных инструментальных наладок, разделение

переходов на проходы, расчет режимов резания, выдачу карт наладки станка и инструмента.

Назначение плана обработки поверхности производится на основании подразделения обрабатываемых поверхностей детали на основные и неосновные поверхности. Основными являются точные поверхности, габаритные, формообразующие. В состав неосновных поверхностей включаются малые отверстия, малые резьбовые отверстия, лыски, пазы, канавки, фаски и им подобные поверхности. Основные поверхности и планы их обработки составляют базу для формирования последовательности обработки детали. Чтобы выявить весь план обработки, необходимо определить последний переход, а именно: окончательный метод и вид обработки.

Назначение окончательного метода и вида обработки выполняется по нормативным таблицам, учитывающим экономические критерии применения методов и видов обработки. Перед этим проверяется правильность задания на чертеже характеристик поверхности: точность размера, точность формы, шероховатость. Одна из этих характеристик (чаще всего — точность размера) должна быть принята в качестве основной, тогда другие характеристики должны быть приведены в полное соответствие с ней.

Для описания операций на станках с ЧПУ разрабатывают технологические эскизы, пример которого приведен на рис. 43.



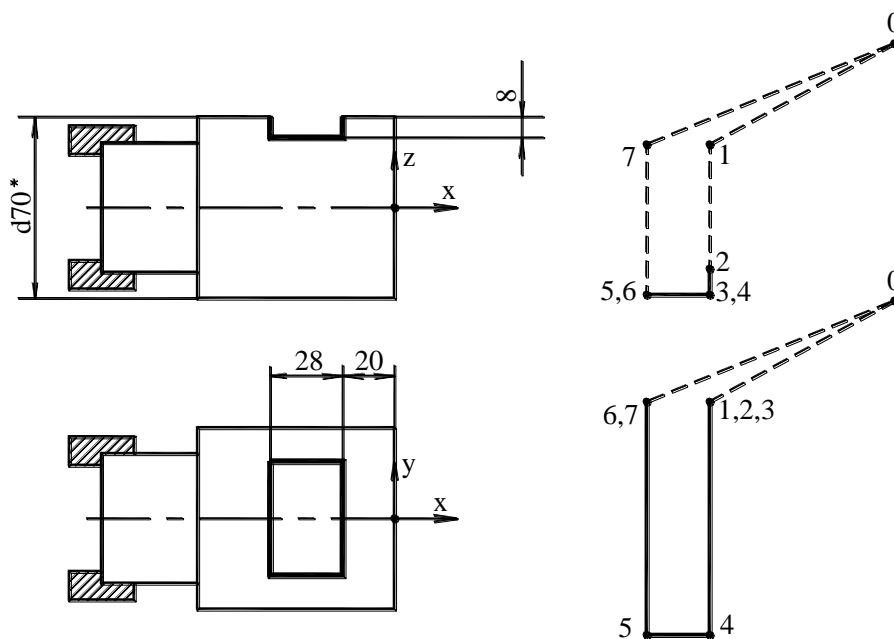
43.

Технологический эскиз обработки детали на токарном станке

На эскизе представлена заготовка детали в рабочем положении после обработки в указанной операции или ее части, система координат, элементы крепления и исполнительные размеры. Поверхности, выполненные на данном переходе, выделяются жирными линиями, а их размеры нумеруются. Эскиз включает в себя графическое изображение траектории движения инструмента. Траектория разбивается рабочими точками на элементарные отрезки перемещения. Рабочие точки подразделяются на опорные и технологические, характеризующие соответственно изменения параметров траектории и режимов обработки.

Вспомогательные перемещения рабочих органов станка, во время которых не производится непосредственно обработка, осуществляются, как правило, на ускоренной подаче. На циклограмме они обозначаются пунктирными линиями; рабочие перемещения, осуществляемые с заданной скоростью подачи инструмента, обозначаются сплошными линиями.

Рассмотрим структуру управляющей программы на примере циклограммы обработки детали на фрезерном станке (рис.44).



44. Циклограмма обработки детали на фрезерном станке

В табл. 22 приведены координаты рабочих точек в конце каждого отрезка перемещений (X , Y , Z) фрезы диаметром 16 мм и соответствующий фрагмент управляющей программы.

Начало управляющей программы станка с ЧПУ обозначается: «%», в следующем кадре записывается ее имя, включающее букву «O» и номер, состоящий из четырех цифр. Имя программы, например, «O2354», как правило, соответствует имени чертежно-технологического CAD/CAM файла либо номеру рабочего чертежа. В последующих кадрах обычно представлены параметры инструментов, участвующих в обработке; вводится система отсчета. Отметим, что

информация, записанная в скобках, не считывается системой управления станка и предназначена только для информации оператора.

Т а б л и ц а 22

Фрагмент управляющей программы

Отрезок циклограммы				Управляющая программа
(0-1)	28	5	5	% o4318; (T1 end mill d20.0); (T2 face mill d80.0); G90; G28 G0 X0 Y0 Z0; M6 T1; G55; G43 X - 28 Y45 Z85 H1;
(1-2)				M8;
(2-3)	28	5	7	M3 S600; Z37;
(3-4)				G1 Z27 F100;
(4-5)	- 28	45	7	Y - 45;
(5-6)				X - 40;
(6-7)	28	45	7	Y45;
(7-0)				G0 Z85;
	40	45	7	M5 M9;
				G28 X0 Y0 Z0;
	40	45	7	M6 T2 (или M2);
	40	45	5	
	4	45	5	

Перед вызовом очередного инструмента рабочий стол и шпиндель обычно отводятся в точку «0» системы координат станка, которая включается командой G28. Вызов первого инструмента, как и его последующая замена, производится по команде M6. Затем по одной из команд G54, G55, ..., G59 осуществляется вход в заданную ранее систему координат детали. Включение оборотов шпинделя с частотой вращения S , мм/мин (M3 – по часовой стрелке, M4 – против часовой стрелки), а также подачи охлаждающей жидкости (по команде M8) осуществляются, как правило, в исходной точке управляющей программы.

После окончания очередного технологического перехода и отвода инструмента от детали производится остановка вращения шпинделя (по команде M5) и отключение подачи охлаждающей жидкости (по команде M9). Затем осуществляется выход программы из системы координат детали в систему координат станка и отвод рабочего стола и шпинделя в точку начала координат станка.

Далее производится замена инструмента в шпинделе (M6 T_) в случае продолжения обработки детали либо остановка станка по команде M2.

Основные этапы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ следующие: технологический (изучение станков и их выбор, подбор деталей, проектирование технологического процесса); расчётно-аналитический; кодирование; запись информации на носитель; контроль, отладка и внедрение. Методы программирования и разработки управляющих программ подробно рассмотрены в [1].

Одной из актуальных проблем функционирования автоматизированного производства является создание комплексных САПР ТП, обеспечивающих проектирование технологических процессов для деталей всех классов в условиях мелкосерийного и серийного производства с одновременной разработкой УП для программно-управляемого оборудования. Насчитывается около 150 различных систем автоматизированного программирования. Наиболее применяемые из них: ТЕХТРАН, МОДАПТ, САП-СМ4 и др.

В настоящее время находят все большее применение системы сквозного проектирования CAD-CAM-CAE («сimatron», «UNIGRAFICS», и др.) позволяющие осуществлять технологическую подготовку производства деталей на станках с ЧПУ без разработки документации на бумаге.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Аудиторные занятия по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» включают семь лабораторных работ и шесть практических занятий.

В состав задания включены рабочие чертежи деталей технологической группы. Допускается применять чертежи, используемые при выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Технология машиностроения», «Детали машин» и др.

Лабораторная работа № 1

Разработка группового технологического процесса

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Производственный процесс как объект автоматизации» (см. раздел 2 опорного конспекта) с разработкой планов обработки поверхностей и маршрутного описания группового технологического процесса.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием электронных таблиц Excel и текстового редактора Word.

Используемые материалы

1. Чертежи деталей – не менее четырех.
2. Классификатор ЕСКД. – М.; Изд - во стандартов, 1986.
3. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М., Изд.- во стандартов, 1976.
4. Петровский А.Н. Обучающий файл «Модель АТП - 2» / НГТУ; Н. Новгород, 2015. (Предоставляется в электронном виде).

Порядок выполнения работы

1. Разработать таблицу комплекса признаков, см. рис. 5.
2. Разработать групповой план обработки, см. табл. 8.
3. Разработать маршрутное описание группового технологического процесса, см. пример табл. 9.
4. Сделать вывод о значении группового технологического процесса в автоматизации машиностроительного производства.

Лабораторная работа № 2

**Анализ показателей нормирования, загрузки и типов
автоматизированного производства**

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Показатели нормирования, загрузки и типов автоматизированного производства» (см. раздел 3 опорного конспекта), а также освоение практических навыков определения типа производства, расчета, анализа и мониторинга показателей нормирования и загрузки автоматизированного участка.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием электронных таблиц Excel и текстового редактора Word.

Используемые материалы и литература

1. Чертежи деталей – не менее четырех.
2. Петровский А.Н. Обучающий файл «Модель АТП - 2» / НГТУ; Н. Новгород, 2015. (Предоставляется в электронном виде).
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е издание, переработанное и дополненное. 1986 г. Том 2. Глава 4. Режимы резания.
4. Расчет припусков: метод. указания к выполнению практических работ и разделов в курсовых и дипломных проектах для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения / Сост. Д.С. Пахомов; НГТУ, Нижний Новгород, 2001. 24 с.
5. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть I. Нормативы времени. В 2-х частях. — М.: Экономика, 1990. – 208 с.

6. Петровский А.Н. Анализ показателей нормирования, загрузки и типов автоматизированного производства. Мет. указ. к выполнению курсовых и лабораторных работ / НГТУ; Н. Новгород; 2005. (Предоставляется в электронном виде).

Порядок выполнения работы

1. Выполнить расчет режимов резания и припусков для всех поверхностей детали-представителя технологической группы, используя обучающий файл «Модель – АТП 2», лист «Поверхность».
2. Сформировать сводную таблицу режимов резания всех поверхностей детали-представителя и операций технологического процесса.
3. Выполнить нормирование операций и сформировать лист «Нормирование» обучающего файла «Модель АТП- 2», используя «Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ ...».
4. Сформировать лист «Анализ технологического процесса» и получить показатели нормирования, загрузки и типа производства.
5. Обосновать возможность изменения величины и структуры штучного времени за счет применения прогрессивного оборудования, оснастки, инструмента, способов и режимов обработки.
6. Изменяя величину и структуру штучного времени, получить рекомендуемые показатели нормирования и загрузки участка.
7. Определить тип производства и составить описание участка групповой обработки, используя данные, полученные в электронной таблице, а также сведения из табл. 13.

Лабораторная работа № 3

Устройства транспортирования

и ориентирования предметов в автоматизированных процессах

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Комплексная автоматизация массового и крупносерийного производства» (см. раздел 4 опорного конспекта), а также освоение навыков выбора устройств транспортирования и ориентации предметов в автоматических машинах и линиях.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием графических программ по выбору студента.

Используемые материалы

1. Чертежи деталей – не менее четырех.
2. Малов, А.Н. Загрузочные устройства для металлорежущих станков. Изд. 2-е перераб. и доп. / А.Н. Малов. – М.: Машиностроение, 1972. 400 с.
3. Лабораторная работа №2: листы «Нормирование» и «Анализ технологического процесса» обучающего файла «Модель – АТП- 2»

Порядок выполнения работы

1. Разработать техническое предложение тары, кассет или магазинов для транспортирования заготовок и деталей одной технологической группы (эскиз формат А3) .
2. Разработать техническое предложение устройства для ориентации и подачи заготовок в рабочую зону станка (эскиз формата А3).
3. Рассчитать снижение трудоемкости детали представителя и уровень автоматизации в результате внедрения разработанных технических предложений. В расчетах использовать сформированные в лабораторной работе 2 листы «Нормирование» и «Анализ технологического процесса» обучающего файла «Модель АТП- 2».
4. Сделать вывод о целесообразности внедрения разработанных технических предложений.

Лабораторная работа № 4

Анализ временных связей

автоматизированного технологического процесса

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Временные связи в автоматизированном производстве» (см. раздел 7 опорного конспекта), а также освоение практических навыков выявления временных связей, построения и анализа циклограмм.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием электронных таблиц Excel.

Используемые материалы

Петровский А.Н. Обучающий файл «Модель АТП - 2» / НГТУ; Н. Новгород, 2015. (Предоставляется в электронном виде).

Порядок выполнения работы

1. Разработать циклограммы технологических операций на листе «Циклограмма» обучающего файла, используя данные листа «Нормирование».
2. Рассчитать уровень автоматизации технологических операций.

Лабораторная работа № 5

Анализ гибкости производственной системы

Трудоемкость: 2 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по темам «Комплексная автоматизация серийного и мелкосерийного производства» и «Временные связи в автоматизированном производстве» (см. разделы 5, 7 опорного

конспекта) посредством оценки показателя гибкости производственных модулей (ГПМ).

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием электронных таблиц Excel.

Используемые материалы

Петровский А.Н. Обучающий файл «Модель АТП - 2» / НГТУ; Н. Новгород, 2015. (Предоставляется в электронном виде).

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать показатели гибкости для каждой операции технологического процесса по формуле (77) и определить интегральный показатель гибкости по формуле (78). Расчеты выполнить в обучающем файле внесением расчетных строк в лист «Анализ технологического процесса».
2. Сделать вывод о влиянии подготовительно заключительного времени на гибкость производственного модуля.

Лабораторная работа № 6

**Мониторинг и анализ показателей работы
автоматизированного участка**

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: отработка навыков определения и анализа показателей автоматизированного производственного участка в многономенклатурном производстве, $n > 10$.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием электронных таблиц Excel.

Используемые материалы

Петровский А.Н. Обучающий файл «Модель АТП - 2» / НГТУ; Н. Новгород, 2015. (Предоставляется в электронном виде).

Порядок выполнения работы

1. Сформировать электронную таблицу показателей автоматизированного участка в системе координат «станки – детали номенклатуры». Для формирования таблицы использовать условные ряды изменения составляющих штучного времени относительно аналогичных составляющих для детали-представителя.
2. Построить 3 - х мерные диаграммы для 5 – 6 показателей над полем системы координат «станки – детали номенклатуры».
3. Рассмотреть возможность увеличения загруженности участка на 25, 50, 75% и дать заключение о необходимых изменениях структуры участка.

Лабораторная работа № 7

**Разработка и моделирование управляющих программ
для станков с числовым программным управлением**

Трудоемкость: 12 часов

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Информационное обеспечение автоматизированного производства» (см. раздел 9 опорного конспекта) и освоение практических навыков разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием программ CPU и SMILL.

Используемые материалы:

Компьютерное моделирование управляющих программ автоматизированных технологических процессов: Методические указания к выполнению лабораторных и курсовых работ по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения / Сост.: А.Б. Чуваков, Е.А. Тарасова; НГТУ, Н. Новгород, 2005. – 24 с.

Порядок выполнения работы

Индивидуальные задания и последовательность выполнения работы приведены в методических указаниях.

Практическая работа № 1

**Система конструктивно-технологического кодирования
и формирование технологических групп**

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: освоение практических навыков классификации и кодирования деталей машиностроения и ее применения для формирования технологических групп.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием графических программ по выбору студента.

Используемые материалы

1. Чертежи деталей – не менее четырех.
2. Классификатор ЕСКД. – М.; Изд - во стандартов, 1986.
3. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М., Изд.- во стандартов, 1976.

Порядок выполнения работы

1. Выявить конструктивные признаки деталей и выполнить их кодирование.
2. Выявить технологические признаки деталей и выполнить их кодирование.
3. Разработать таблицы конструктивно-технологических признаков, (табл. 23).
4. Присвоить конструкторско-технологические коды (КТК) деталям группы.
5. Сформировать сводный массив КТК по работам всех студентов.
6. Сформировать технологические группы (4-5 деталей) обработкой массива.
7. Разработать сводный эскиз деталей технологической группы, см. рис. 3.
8. Разработать эскиз детали-представителя, см. рис. 3.

Таблица 23

Конструктивно-технологические признаки детали

№	Код	Наименование позиции	Признак
1,2	73	Класс	Не тела вращения
3	2	Подкласс	Корпусная, с пл. разъема
4	1	Группа	Одна пл. разъема // основ.
5	5	Подгруппа	Плоская база вне разъема
6	4	Вид	С // между собой плоскост.
7	9	Ширина	От 200 до 300 мм
8	6	Длина	От 180 до 300 мм
9	8	Высота	От 250 до 300 мм
10,11	46	Группа материала	Сплавы на основе Al
12	4	Метод изготовления	Обработка резанием
13,14	19	Исходная заготовка	Отливка под давлением
15	3	Наивысшая точность наружных поверхностей	Квалитет 10
16	3	Наивысшая точность внутренних поверхностей	Квалитет 11
17	3	Параметр шероховатости	Ra 2.5
18	4	Точности на отклонение формы и расположения	Степень точности 8
19	3	Вид дополнительной обработки (НС 38)	Терм. обраб. с покрытием
20	Ж	Характеристика массы	
Конструктивно-технологический код - КТК			7321549684641933343Ж

Практическая работа № 2

Обеспечение технологичности деталей автоматизированного процесса

Трудоемкость: 2 часа

Цель работы: закрепление понятия технологичность как допустимого минимума затрат всех видов ресурсов на производство и другие этапы жизненного цикла изделия (см. разделы 2.5., 2.6 опорного конспекта).

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием графических программ по выбору студента.

Используемые материалы

1. Чертежи деталей – не менее четырех.
2. Практическая работа №1: сводный эскиз деталей технологической группы, эскиз детали-представителя с нумерацией поверхностей и конструктивно-технологических элементов.

Порядок выполнения работы

1. На основе чертежа детали-представителя разработать эскиз комплексной детали, содержащей все специальные поверхности и конструктивные элементы деталей технологической группы.
2. Используя перечень конструктивно-технологических возможностей, стр. 36, дать предложения по улучшению технологичности деталей группы.
3. Сделать вывод о технологичности деталей группы.

Практическая работа № 3

Выбор технологического оборудования

Трудоемкость: 2 часа

Цель работы: освоение навыков выбора оборудования для автоматизированного технологического процесса.

Используемые материалы

1. Практические работы №1, 2: сводный эскиз деталей технологической группы, эскиз детали представителя, эскиз комплексной детали.
2. Лабораторная работа № 1: маршрутное описание группового технологического процесса.
3. Каталоги производителей технологического оборудования.

Порядок выполнения работы

1. Определить наибольшие и наименьшие габаритные размеры заготовок деталей технологической группы.
2. Определить наибольшую массу заготовки деталей технологической группы.
3. Разработать схемы базирования и закрепления детали-представителя для всех операций и всех установов технологического процесса.
4. Выбрать технологическое оборудование по каталогам предприятий-изготовителей с учетом типа производства, размеров и масс заготовок, схем базирования и закрепления.

5. Составить техническое обоснование выбора и описание оборудования по операциям автоматизированного технологического процесса.

Практическая работа № 4

Выбор промышленного робота и общая компоновка гибкого производственного модуля

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Комплексная автоматизация серийного и мелкосерийного производства» (см. раздел 5 опорного конспекта), а также освоение практических навыков выбора промышленного робота и разработки общей компоновки гибкого производственного модуля (ГПМ).

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием графических программ по выбору студента.

Используемые материалы

1. Лабораторная работы №1: сводный эскиз деталей технологической группы, маршрутное описание группового технологического процесса.
2. Каталоги производителей промышленных роботов.
3. Лабораторная работа № 2: листы «Нормирование» и «Анализ технологического процесса» обучающего файла «Модель АТП - 2».
4. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учебное пособие, 2010 г., 312 с.

Порядок выполнения работы

1. Уточнить состав оборудования, показателей нормирования и загрузки автоматизированного участка по данным лабораторной работы № 2.
2. Выбрать промышленные роботы для работы в составе ГПМ.
3. Разработать схемы транспортирования деталей в автоматизированном технологическом процессе. Рекомендуется использовать результаты лабораторной работы № 3.
4. Разработать общую компоновку ГПМ (см. пример на рис. 45).
5. Разработать техническое предложение захвата промышленного робота для заготовок и деталей технологической группы (эскиза формат А3) .
6. Рассчитать снижение трудоемкости детали представителя и уровень автоматизации в результате внедрения разработанных технических предложений. В расчетах использовать сформированные в лабораторной работе 2 листы «Нормирование» и «Анализ технологического процесса» обучающего файла «Модель АТП- 2».
7. Сделать вывод о целесообразности внедрения промышленного робота.

Практическая работа № 5

Компоновка автоматизированной линии

Трудоемкость: 2 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Комплексная автоматизация производства (см. разделы 4, 5 опорного конспекта).

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием графических программ по выбору студента.

Используемые материалы

1. Лабораторная работы №1: сводный эскиз деталей технологической группы, маршрутное описание группового технологического процесса.
2. Лабораторная работа № 2: лист «Анализ технологического процесса» обучающего файла «Модель АТП- 2».
3. Практическая работа № 3: общая компоновка ГПМ.

Порядок выполнения работы

1. Уточнить состав оборудования, показателей нормирования и загрузки автоматизированного участка по данным лабораторной работы № 2.
2. Выбрать устройства и схемы транспортирования деталей в автоматизированном технологическом процессе.
3. Разработать компоновку автоматизированной линии.

Практическая работа № 6

Анализ размерных связей

автоматизированного технологического процесса

Трудоемкость: 4 часа

Цель работы: закрепление теоретического материала по теме «Размерные связи в автоматизированном производстве» (см. раздел 6 опорного конспекта), а также освоение практических навыков построения и анализа технологических размерных цепей.

Работа выполняется на персональном компьютере с использованием графических программ по выбору студента.

Используемые материалы

1. Чертеж детали - представителя.
2. Лабораторная работа №2: описание технологического оборудования.

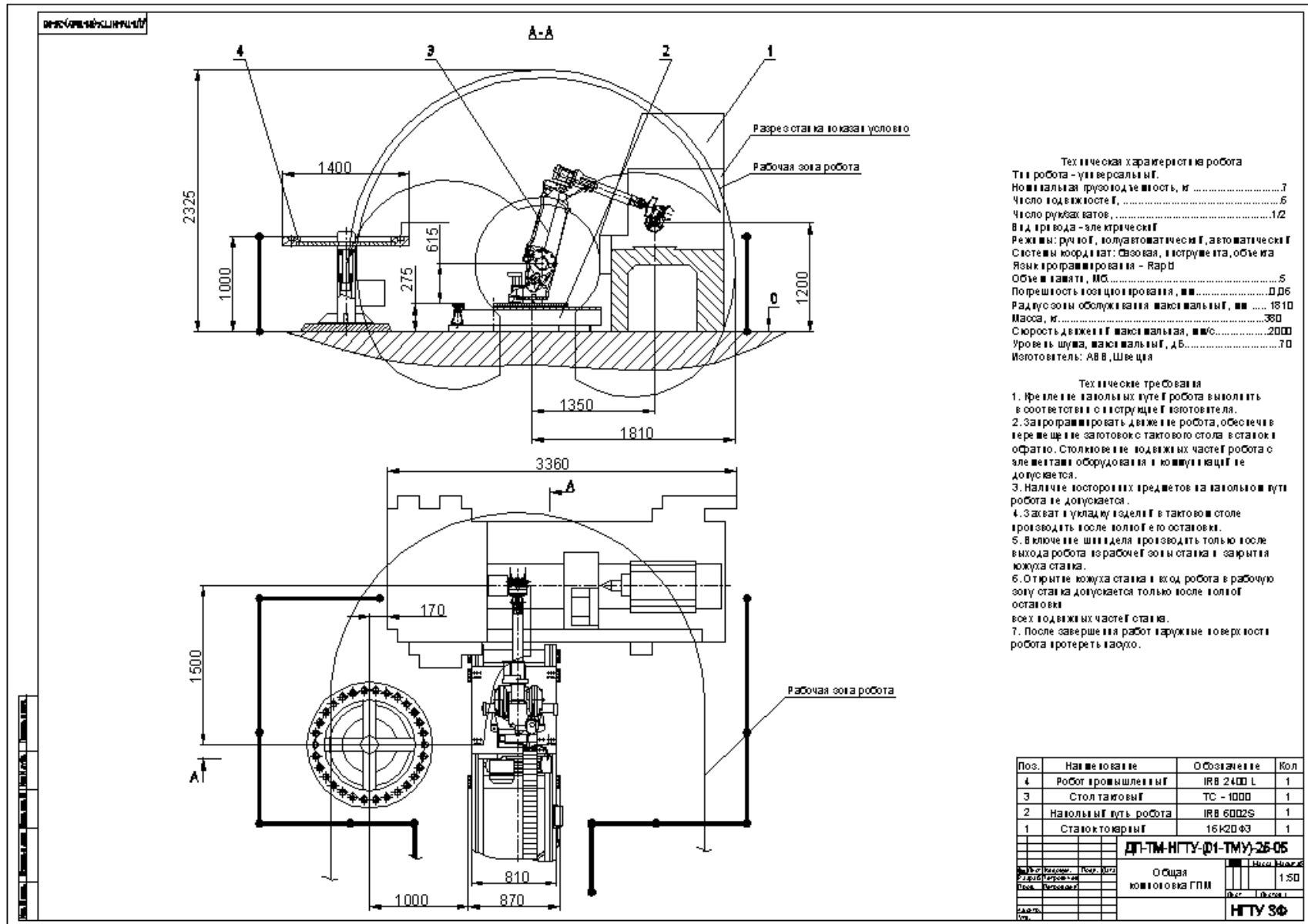


Рис. 45. Общая компоновка ГПМ

3. Лабораторная работа №4: общая компоновка ГПМ.

Порядок выполнения работы

1. Разработать схему операционных размеров и межоперационных припусков для наиболее точного диаметрального размера и линейную размерную цепь для оси с наибольшим числом размеров.
2. Определить минимальные и максимальные установочные размеры приспособлений и устройств для транспортирования и крепления деталей технологической группы.

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Вопросы для самоконтроля

1. Особенности и тенденции развития современного производства.
2. Критерии целесообразности современного производства.
3. Классификация производственных процессов по видам энергии.
4. Классификация автоматизированных СТО по логике управления.
5. Классификация автоматизированных СТО по уровню организации.
6. Производственные потоки и их взаимодействие.
7. Разъясните конструктивно–технологические основы автоматизации.
8. Виды унификации машин и механизмов.
9. Сущность секционирования, лонгирования, агрегатирования.
10. Сущность базового агрегатирования, компаундирования, конвертирования.
11. Сущность модифицирования и параметризации.
11. Разъясните понятия: комплексная деталь и комплекс признаков.
12. Для каких целей применяются матрицы поверхностей?
13. Как применяется типовой план обработки?
14. Порядок составления группового плана обработки поверхностей.
15. Порядок формирования маршрута группового технологического процесса.
16. Перечислите показатели нормирования и загрузки производства.
17. Сущность технического нормирования.
18. Структура штучного времени автоматизированной операции.
19. Раскройте понятия трудоемкости и станкоемкости.
20. Рабочее место и его специализация.
21. Типы производства и их основные характеристики.
22. Разъясните физический смысл величин в формуле для коэффициента закрепления операций.
23. Разъясните связь между коэффициентом закрепления операций и коэффициентом многостаночного обслуживания.
24. Как определяется загрузка персонала автоматизированного участка?
25. Как определяется загрузка оборудования автоматизированного участка?
26. Расскажите о матричном методе контроля участка.
27. Классификация и особенности основных классов автоматических машин.
28. Автоматические линии, их структура и компоновка.
29. Транспортировка и ориентация предметов в автоматических линиях.

30. Основные принципы работы накопителей, питателей и бункеров.
31. Этапы автоматизации производства как переход от автоматической загрузки к автоматической транспортно-ориентирующей системе.
32. Роторные линии и их особенности.
33. Циклические, рефлекторные и самонастраивающиеся автоматические машины.
34. Гибкие производственные системы, их структура и особенности.
35. Автоматизированная транспортно-складская система – назначение, особенности, основные характеристики.
36. Классификация промышленных роботов.
37. Транспортные роботы и особенности их применения.
38. Структурная схема промышленного робота.
39. Технические характеристики промышленных роботов и их выбор.
40. Виды размерных связей.
41. Пять методов достижения точности и их сущность.
42. Приведите примеры установочных размерных связей.
43. Приведите примеры операционных размерных цепей.
44. Сущность процессов изготовления деталей на спутниках.
45. Как производится выверка положения заготовки на спутнике и станке.
46. Этапы достижения точности обработки в ГПС, статическая и динамическая настройки.
47. Временные связи в автоматизированном производстве.
48. Цель и задачи построения временных связей.
49. Циклограмма автоматизированного цикла.
50. События и их длительность как случайные величины.
51. Структура подготовительно-заключительного времени ГПМ.
52. Особенности загрузки ГПМ
53. Сущность и этапы автоматического сборочного процесса.
54. Признаки технологичности конструкций для автоматической сборки.
55. Достижение точности при автоматической сборке методом полной взаимозаменяемости.
56. Достижение точности при автоматической сборке методом неполной взаимозаменяемости.
57. Достижение точности при автоматической сборке методом групповой взаимозаменяемости.
58. Достижение точности при автоматической сборке методом регулирования.
59. Достижение точности при автоматической сборке методом пригонки.
60. Методы и средства транспортирования и ориентирования деталей в ГПС.
61. Информационное обеспечение автоматизированного производства.
62. Структура интегрированной автоматизированной системы управления.
63. Уровни управления автоматизированного производства.
64. Структура, функции и порядок разработки управляющих программ.
65. Разработайте управляющую программу для обработки детали типа вал.
66. Разработайте управляющую программу для обработки детали типа корпус.
67. Разработайте управляющую программу для обработки детали типа фланец.

68. Воспользуйтесь курсовым проектом по дисциплине «Технология машиностроения» для выявления структуры штучного времени автоматизированной операции.

69. Выполните расчет основных показателей нормирования и загрузки по данным о структуре штучного времени для трех операций.

70. Постройте циклограмму автоматизированной операции по данным курсового проекта с использованием управляющей программы.

ГЛОССАРИЙ

Автоматизация – применение энергии неживой природы в производственных процессах, частично управляемых людьми.

Автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО) – совокупность взаимосвязанных автоматизированных средств, включающая участки подготовки инструмента, устройства его транспортирования, накопления, смены и контроля качества, обеспечивающая подготовку, хранение, автоматическую установку и замену инструмента.

Автоматизированная система контроля (САК) – совокупность взаимосвязанных автоматизированных средств активного и послеоперационного контроля.

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) – совокупность взаимосвязанных автоматизированных складских и подъемно-транспортных устройств для перемещения, ориентации и хранения предметов труда и технологической оснастки.

Автоматическая линия – множество автоматически управляемых машин, механизмов, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования, в определенной последовательности и с определенным тактом производящая обработку или сборку изделий.

Автоматический производственный процесс – процесс, в котором для управления и воздействия на предметы труда используется энергия неживой природы и не требуется труд человека в течение длительного времени для выполнения и повторения технологических операций.

Агрегатирование – создание изделий путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы, устанавливаемые в различных комбинациях и количестве на общей станине или в общем корпусе: агрегатные станки, электронасосы, дизель-генераторы и т. п.

Базовое агрегатирование – применение унифицированной базовой машины для установки на нем специального оборудования различного назначения: тракторы и автомобили специального назначения.

Безлюдный производственный процесс – автоматический производственный процесс, продолжительность которого превышает одну рабочую смену.

Безотказность – свойство машин непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени, оценивается вероятностью безотказной работы, интенсивностью отказов и наработкой на отказ.

Время на личные потребности – часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах – на дополнительный отдых.

Время обслуживания рабочего места – часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание СТО в работоспособном состоянии и уход за рабочим местом.

Время организационного обслуживания – время, затрачиваемое на подготовку рабочего места к началу работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и уборку оборудования, другие аналогичные действия в конце смены.

Время технического обслуживания – время, затрачиваемое на смену инструмента, его заправку и регулировку, наладку оборудования, активное наблюдение и перемещения при многостаночном обслуживании.

Время управления – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом при наблюдении за технологической операцией и воздействиях на средства управления.

Вспомогательное время – часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предметов труда: установка, закрепление, раскрепление, снятие, ручное управление СТО, подвод и отвод инструмента, измерения и т.д.

Гибкая система управления – переналаживаемая в широком диапазоне система управления, создаваемая на базе электронно-вычислительных машин с комплектом программ управления, адресующих сигналы управления приводным механизмам для обеспечения заданных законов движения исполнительных звеньев.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – автоматизированная единица технологического оборудования с программным управлением, обладающая автономностью и приспособленная к взаимодействию с другими модулями и системами управления.

Долговечность – свойство машин сохранять работоспособность при определенных режимах работы и условиях эксплуатации с перерывами на ремонт и техническое обслуживание. Количественно она оценивается средним сроком службы между ремонтами.

Единичное производство – неопределенное множество неповторяющихся операций выполняется одним исполнителем, $K_{30} > 40$.

Жесткая система управления – не переналаживаемая или переналаживаемая в узких пределах система управления, создаваемая на базе кинематических цепей машин и механизмов, обеспечивающих заданные законы движения исполнительных звеньев.

Живой труд – физический и интеллектуальный труд человека.

Завод – объединение цехов и участков по видам совместно выпускаемой продукции.

Зона обслуживания работа – часть пространства, соответствующая множеству возможных положений центра схвата, установленного на руке

(манипуляторе) работа.

Зона обслуживания работа – часть пространства, соответствующая множеству возможных положений центра схвата манипулятора.

Интегрированный производственный комплекс (ИПК) – автоматизированные средства технологического оснащения и системы аппаратных и программных средств, используемые на всех стадиях создания и производства изделия (исследования, конструкторская и технологическая подготовка производства, организация и управление), и совместно осуществляющие автоматизированный производственный процесс.

Кассета – сменное устройство для ручной ориентации, хранения и транспортировки предметов.

Компаундирование (многопоточность) – параллельная установка машин, механизмов и их узлов для совместной эксплуатации: несколько двигателей на летающем аппарате, несколько насосов на одну напорную сеть, несколько одинаковых приводных механизмов в одной машине, многоместные приспособления, многошпиндельные станки и т.п.

Комплекс признаков – размеры и конструктивно-технологические характеристики поверхностей, систематизированные в таблице, с представлением форм деталей общим или отдельным для каждого изделия эскизом.

Комплексная деталь – реальная или условная деталь, содержащая все признаки, характерные для деталей группы, и являющаяся их конструктивно-технологическим представителем.

Конвертирование – применение базовой модели изделия в новых условиях, с новым рабочим телом или по новому назначению: переоснащение двигателей внутреннего сгорания для работы с различными видами топлива или применения в качестве автотракторного, судового, авиационного и т.п.

Конкурентоспособность – это совокупность показателей качества и стоимости товаров, определяющая их предпочтительность для потребителя.

Кооперировано-ручное время – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом при выполнении технологической операции с применением СТО, но без использования энергии неживой природы.

Кооперировано-ручной метод выполнения технологического процесса – используется энергия людей, применяющих средства технологического оснащения.

Коэффициент конкурентоспособности – отношение доходов потребителя от использования изделия к затратам потребителя на приобретение и эксплуатацию изделия за весь период использования.

Коэффициент многостаночного обслуживания – отношение станкоемкости и трудоемкости.

Коэффициент синхронизации – отношение такта станка или группы станков-дублеров к такту выпуска.

Коэффициентом закрепления операций – число различных операций, выполняемых на одном рабочем месте.

Коэффициентом закрепления операций средний – отношение числа

различных операций к числу рабочих мест.

Крупносерийное производство – несколько различных ритмично повторяющихся операций выполняются одним исполнителем, $1 < K_{30} < 10$.

Линия – расположение оборудования в порядке выполнения операций.

Лонгирование – увеличение размера изделия в одном направлении при сохранении поперечного сечения: конвейеры, шестеренчатые насосы, зубчатые передачи, вальцовочные машины и т. п.

Магазин – устройство для ручной ориентации предметов, их хранения и подачи в позицию предооперационного базирования.

Маршрут технологический – последовательность прохождения заготовки, детали или сборочной единицы по цехам и производственным участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта.

Маршрутное описание технологического процесса – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

Маршрутно-операционное описание технологического процесса – сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.

Массовое производство – одна операция выполняется одним или несколькими исполнителями в течение всего отчетного периода, $K_{30} < 1$.

Матрица поверхностей – математическая модель технологической группы, в которой деталь описывают матрицей-столбцом или матрицей-строкой, содержащей коды конструктивно-технологических признаков.

Машинно-ручное время – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом в период применения автоматизированных СТО.

Мелкосерийное производство – определенное, не планируемое множество операций выполняется одним исполнителем, $20 < K_{30} < 40$.

Методы достижения точности: см. ниже.

Метод полной взаимозаменяемости – заключается в обеспечении гарантированной точности замыкающего звена размерной цепи за счет высокой точности составляющих звеньев.

Метод неполной взаимозаменяемости – заключается в 100% контроле составляющих звеньев, отсортировке звеньев с неудовлетворительной точностью и подборе сочетаний составляющих звеньев, обеспечивающих достижение точности замыкающего звена.

Метод регулирования – заключается в достижении точности замыкающего звена за счет регулирования одного или нескольких составляющих звеньев.

Метод групповой взаимозаменяемости – заключается в 100% контроле составляющих звеньев, отсортировке звеньев с неудовлетворительной точностью и формировании нескольких размерных групп, обеспечивающих достижение точности замыкающего звена.

Метод пригонки – заключается в достижении точности замыкающего звена за счет дополнительной обработкой одного из составляющих звеньев.

Механизация – применение энергии неживой природы в производственных процессах, управляемых людьми.

Модифицирование – приспособление изделия к новым условиям работы без изменения конструкции: хладостойкие материалы, антикоррозионные материалы, дополнительные системы и способы подготовки рабочего тела, специальные покрытия, уплотнения и т.п.

Надежность – свойство машины выполнять функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам, условиям использования, технического обслуживания и ремонта.

Накопитель – устройство для хранения и подачи к питателю предварительно ориентированных предметов.

Неперекрываемое машинное время – часть штучного времени, равная времени функционирования автоматизированных СТО без участия персонала.

Неперекрываемое ручное время – сумма ручного и кооперировано – ручного времени:

Объекты информационных потоков – конструкторская и технологическая документация, программы обработки и испытаний, управляющие программы, проекты планов, производственных заданий, отчеты и т. д.

Объекты материальных потоков – материалы, заготовки, детали, сборочные единицы, готовые изделия, комплекты, вспомогательные материалы, формообразующий, контрольный, измерительный инструмент, технологическая оснастка и отходы производства.

Оперативное время – сумма основного и вспомогательного времени. При этом к оперативному времени относят только ту часть вспомогательного времени, которая не перекрывается основным временем.

Основное время – часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояния предмета труда, т. е время непосредственного воздействия на предмет труда (деталь, сборочную единицу или изделие в целом).

Параметризация – создание параметрических рядов изделий одинакового назначения, с показателями и размерами, изменяющимися в соответствии заданным размерным или размерно-подобным рядом. Иногда диапазон ряда ставят в соответствие изделия другого типа, тогда говорят о типоразмерных рядах: подшипники, трубопроводная арматура, крепеж, редукторы, насосы, фильтры и т.п.

Питатель – устройство подачи предметов из накопителя в рабочую зону технологического оборудования для последующего базирования и обработки.

План обработки индивидуальный – план обработки одной поверхности, включающий часть или все этапы типового плана, а при необходимости, обдирочный и специальные этапы.

План обработки типовой – план, начинающийся черновым этапом, включающий последовательность основных этапов обработки и заканчивающийся этапом особо высокой точности.

План обработки групповой – таблица, содержащая индивидуальные планы обработки всех поверхностей деталей технологической группы.

Полное машинное время – часть штучного времени, равная времени функционирования автоматизированных СТО с участием и без участия персонала.

Полное ручное время – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом.

Программоноситель – устройство, сохраняющее и задающее программу действий или движений.

Производственный участок – несколько рабочих мест, размещенных в одном производственном помещении и подготовленных для выполнения сходных, последовательных или однотипных технологических операций.

Рабочее место – элементарная структурная единица предприятия, подготовленная для выполнения технологических операций, где размещены исполнители работ, обслуживаемое оборудование, а на ограниченное время – производственная и техническая документация, оснастка, инструмент и предметы труда.

Рабочее пространство работа – часть пространства, ограниченная огибающими поверхностями, к множеству возможных положений его звеньев.

Размер динамической настройки – результат деформации системы: станок, приспособление, инструмент, заготовка под действием динамических и тепловых явлений резания.

Размер статической настройки – замыкающее звено операционной размерной цепи, определяющее формируемый размер детали при отсутствии сил резания.

Ремонтопригодность – приспособленность к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем ремонтов и технического обслуживания.

Ритм выпуска – количество изделий, выпускаемое в единицу времени. Ритм выпуска и такт выпуска – величины обратные.

Роботы – машины с человекоподобным (антропоморфным) поведением, которые частично или полностью выполняют функции человека.

Роботы промышленные – машины, способные заменить человека в промышленности.

Ручное время – часть штучного времени, затрачиваемая персоналом при выполнении технологической операции, без применения СТО.

Ручной метод выполнения технологического процесса – используется энергия людей без применения средств технологического оснащения.

Свободное производственное время – часть штучного времени, неиспользуемая персоналом для участия в технологическом цикле.

Секционирование – разделение изделий на одинаковые секции и обра-

зование новых изделий набором унифицированных секций: цепи, двигатели, конвейеры, теплообменные аппараты, фильтры и т.п.

Система обеспечения функционирования – совокупность автоматизированных систем, обеспечивающих проектирование изделий, технологическую подготовку их производства, управление гибкой производственной системой и автоматическое перемещение предметов производства и технологической оснастки.

Спутник – универсальная платформа для межоперационного перемещения, базирования и крепления заготовок в гибком автоматизированном производстве.

Среднесерийное производство – определенное планируемое множество операций выполняется одним исполнителем, $10 < K_{30} < 20$.

Средства автоматизации – средства технологического оснащения, управляемые логическими устройствами искусственного происхождения.

Стандартизация – применение технических решений, изделий и технологических объектов, свойства и параметры которых прошли длительную проверку практикой и приняты в качестве международных, государственных или отраслевых стандартов.

Станкоемкость – время работы оборудования.

Такт – интервал времени, через который периодически производят выпуск изделий. Такт и ритм – величины обратные.

Техническое нормирование – установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов: рабочего времени персонала, времени работы оборудования, материалов, энергии, инструментов и т.д.

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на единице технологического оборудования. Операция охватывает все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми изделиями.

Типизации – сокращения количества конструктивно-технологических признаков относительно числа изделий и технологических объектов.

Точность манипулятора – абсолютная линейная погрешность позиционирования центра схвата.

Трудоемкость – время работы исполнителей.

Унификация – сокращения количества оригинальных изделий, а также сокращение количества оригинальных технологических объектов в производстве.

Уровень автоматизации труда – отношение машинного неперекрываемого времени к штучному.

Участок – расположение оборудования по предметному и/или технологическому принципу.

Цех – объединение линий и участков по видам изделий и процессов.

Цикл технологического процесса – интервал времени от начала до окончания технологического процесса изготовления или ремонта изделия.

Цикл технологической операции – интервал времени от начала до

окончания периодически повторяющейся технологической операции – части цикла технологического процесса.

Циклограмма – геометрическое описание временных связей и длительности событий. За начало отсчета циклограммы принимается начало автоматизированного цикла, а звенья циклограммы представляют длительность событий.

Число изделий в цикле – число изделий, обрабатываемых одновременно в одном цикле.

Штабелер – подъемно-транспортное устройство, состоящее из колонны с грузоподъемной платформой, на которой смонтирован выдвигной телескопический грузозахват.

Штучное время – интервал времени, определяемый отношением времени цикла к числу изделий в цикле.

Этап – часть технологического процесса, характеризуемая определенной точностью и качеством получаемой поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гжиров, Р.И.** Программирование обработки на станках с ЧПУ: справочник / Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий – Л.: Машиностроение, 1990. 588 с.
2. Графическое моделирование автоматизированной обработки деталей в среде CAD/CAM программы «СІМАТRON»: метод. указ. к выполнению лабораторных и курсовых работ по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения. / Сост. А.Б. Чуваков, Е.А. Тарасова; НГТУ, Н. Новгород, 2005 – 24 с.
3. **Дащенко, А.И.** Автоматические линии в машиностроении: справочник / А.И. Дащенко. – М. Машиностроение, 1985.
4. **Замятин, В.К.** Технология и автоматизация сборки: учебник / В.К. Замятин. – М.: Машиностроение, 1993. 463 с.
5. **Капустин, Н.М.** Автоматизация машиностроения: учеб. для втузов / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов; под. ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк., 2002. 223 с.
6. **Клюев, А.С.** Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Клюев. – М.: Энергия, 1980. 512 с.
7. Компьютерное моделирование управляющих программ автоматизированных технологических процессов: метод. указ. к выполнению лабораторных и курсовых работ по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения. / Сост. А.Б. Чуваков, Е.А. Тарасова; НГТУ, Н. Новгород, 2005 – 24 с.
8. **Корсаков, В.С.** Автоматизация производственных процессов: учебник / В.С. Корсаков. – М.: Высшая шк., 1978 г. 295 с.
9. **Малов, А.Н.** Загрузочные устройства для металлорежущих станков.

- Изд. 2-е перераб. и доп. / А.Н. Малов – М.: Машиностроение, 1972. 400 с.
10. **Малов, А.Н.** Основы автоматики и автоматизация производственных процессов / А.Н. Малов, Ю.В. Иванов. – М.: Машиностроение, 1974. 368 с.
 11. **Метелев, Б.А.** Основные положения по формированию обработки на металлорежущем станке: учеб. пособ. / Б.А. Метелев; НГТУ, Н.Новгород, 1998. 110 с.
 12. Метод. указ. к выполнению курсовых работ по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения / Сост. А.Б. Чуваков, Е.А. Тарасова; НГТУ, Н. Новгород, 2006.
 13. Основы автоматизации машиностроительного производства: учеб. для машиностроит. спец. вузов / Е.Р Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г Митрофанов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999. 321 с.
 14. Программирование технологических процессов на автоматизированных станках фрезерной группы типа «Обрабатывающий центр» / Сост.: А.Б. Чуваков; НГТУ, Н. Новгород, 2004. – 35 с.
 15. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения: учеб. для машиностроит. спец. вузов / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др. под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999 – 414 с.
 16. Производственный менеджмент: учебник для вузов; под. ред. проф. Ильенковой С.Д. – М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2000. – 296 с.
 17. Расчет припусков: метод. указания к выполнению практических работ и разделов в курсовых и дипломных проектах для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения / Сост. Д.С. Пахомов; НГТУ, Нижний Новгород, 2001. 24 с.
 18. Технология машиностроения: в 2-т. Основы технологии машиностроения: учеб. для вузов. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский, и др.; под ред. А.М. Дальского. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 564 с.
 19. Тимофеев В.Н. Расчет линейных операционных размеров и их рациональная проstanовка: учеб. пособ. / В.Н. Тимофеев. – Горький: ГГУ им. Н.И. Лобачевского, 1978. 90 с.