

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

**Конспект лекций
и методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 7.05050201, 8.0505201
всех форм обучения**

Утверждено
на заседании
методического совета
Протокол № от

Краматорск
ДГМА
2014

УДК 621.9.06-229

Технологические основы гибких производственных систем : конспект лекций и методические указания к самостоятельной работе для студентов специальностей 7.05050201, 8.05050201 всех форм обучения. / сост. В. С. Медведев. – Краматорск : ДГМА, 2014. – 100 с

Конспект лекций разработан на основании рабочей программы по дисциплине «Технологические основы ГПС». Содержит теоретические основы проектирования производственных процессов в ГПС и их моделирование для получения оптимальных структурно-компоновочных вариантов ГПС. Даны необходимые сведения по системам обеспечения работоспособности ГПС. Рассмотрены вопросы разработки технологических процессов. Даны рекомендации по самостоятельному изучению дисциплины.

Составитель

В. С. Медведев, ст. препод.

Отв. за выпуск

С. В. Ковалевский, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ В ГПС	6
1.1 Основные характеристики ГПС и тенденции его развития ...	7
<i>1.1.1 Классификация ГПС</i>	7
<i>1.1.2 Область применения ГПС</i>	12
1.2 Структура построения и принципы ГПС	14
<i>1.2.1 Функциональная структура ГПС</i>	14
<i>1.2.2. Основополагающие принципы ГПС</i>	16
<i>1.2.3. Гибкость ГПС</i>	17
1.3. Моделирования ГПС	21
<i>1.3.1 ГПС как объект моделирования</i>	21
<i>1.3.2 Стратегическое моделирование</i>	25
<i>1.3.3 Классификация математических моделей</i>	26
<i>1.3.4 Формализация производственного процесса</i>	29
1.4 Средства моделирования	31
<i>1.4.1 Сети Петри</i>	31
<i>1.4.2 Теория систем массового обслуживания</i>	33
<i>1.4.2.1 Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний</i>	36
<i>1.4.2.2 Формула Литтла</i>	39
<i>1.4.2.3 Построение моделей на основе теории СМО</i>	42
<i>1.4.2.4 Многоканальная СМО с отказами</i>	43
<i>1.4.2.5 Одноканальная СМО с неограниченной очередью</i>	44
МОДУЛЬ 2. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГПС	49
2.1 Технологическая система и оборудование ГПС	50

2.2 Технические системы	
обеспечения работоспособности ГПС.	57
2.2. 1 Автоматизированная транспортно-складская система..	58
2.2. 2. Автоматизированная система	
инструментообеспечения	63
2.2. 3. Автоматизированная система уборки отходов	64
2.3 Информационные системы	
обеспечения работоспособности ГПС.	67
2.3.1 Автоматизированная система управления.	68
2.3.2 Автоматизированная система контроля	73
2.3.3 Автоматизированная система технологической	
подготовки производства	80
2.3.4 Автоматизированная система научных исследований.	83
МОДУЛЬ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПС.	85
3.1 Разработка технологических процессов в ГПС.	86
3.1.1 Выбор деталей для обработки в ГПС.....	86
3.1.2 Структура маршрутного технологического процесса.....	88
3.1.3 Структура операционного технологического процесса.....	90
3.2 Разработка проекта ГПС.	91
3.2.1 Предпроектный анализ производства.....	91
3.2.2 Принципы компоновки оборудования в ГПС.	93
3.2.3 Техническое задание на проектирование ГПС.....	95
ЛИТЕРАТУРА.	98

ВВЕДЕНИЕ

В ходе изучения дисциплины «Технологические основы гибких производственных систем» (ТО ГПС) студенты должны освоить теорию и приобрести необходимые навыки в проектировании технологических процессов в гибких производственных системах. Эти знания позволят ему на производстве эффективно применять методы увеличения количества и качества выпускаемой продукции при сохранении необходимой численности обслуживающего персонала, а также эти знания потребуются при выполнении дипломного проекта. Студентам необходимо усвоить, что автоматизация производства является главным современным направлением развития всех отраслей народного хозяйства.

При изучении модуля 1 студенты должны освоить теоретические основы проектирования производственных процессов в ГПС. Изучить то, что используемые средства автоматизации различают по своим техническим и технологическим возможностям и назначению. Так, в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств применяются станки с ЧПУ, гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие производственные системы (ГПС), а в условиях крупносерийного и массового производств применяются автоматы, автоматические линии (АЛ), автоматические роторные и роторно-конвейерные линии (АРЛ и АРКЛ). Каждое из них имеет свои рациональные области применения, обеспечивающие получение наибольшего экономического эффекта.

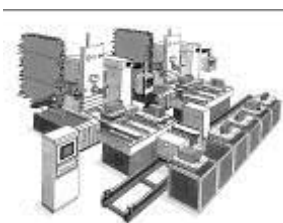
Необходимо изучить современные методы расчета и моделирования производственных процессов в ГПС. Так теория систем является главным математическим инструментом при проектировании ГПС. Эти знания помогут проектировать эффективные структурно-компоновочные варианты построения гибких производственных участков, цехов и заводов.

При изучении модуля 2 студенты должны освоить назначение, функции и расчеты систем обеспечения работоспособности ГПС. Необходимо усвоить, что отсутствие хоть бы одной из систем приводит к нарушениям основополагающих принципов ГПС, и, как результат, к снижению эффективности ее применения.

При изучении модуля 3 студенты должны освоить проектирование гибких автоматизированных. Приобрести знания и навыки в проектировании технологических процессов для условий ГПС. Освоить проектирование компоновок гибких автоматизированных участков.

Знания должны быть подкреплены умениями:

- формулировать исходные данные для проектирования ГАП;
- моделирования структур и компоновок ГАП с использованием ЭВМ;
- разрабатывать технологические процессы для условий «безлюдного производства».



МОДУЛЬ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ В ГПС

В модуле 1 предусмотрено:

- изучение теоретического материала. Темы 1.1, 1.2, 1.3, 1.4;
- выполнение лабораторных работ 1 и 2;
- выполнение тестов 1 и 2.

Система контроля и оценивания студентов приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Система контроля и оценивания студентов

Контрольная точка	Критерии оценивания	Оценка	Рейтинг	Национальная оценка
Лабораторная работа 1	Полный ответ	A	50	5
	Каждый неверный ответ снижает рейтинг на 5 балла	B	40	4
		C	30	4
		D	20	3
		E	15	3
	Ответы не верны	FX	-	-
Лабораторная работа 2	Нет ответов	F	-	-
	Повні відповіді	A	50	5
	Кожна невірна відповідь знижує рейтинг на 3 бали	B	40	4
		C	30	4
		D	20	3
		E	15	3
	Ответы не верны	FX	-	-
	Нет ответов	F	-	-

Общее количество баллов за модуль – 100. Коэффициент – 0,3

1.1 Основные характеристики ГПС и тенденции его развития

Рабочая программа. Термины и определения. Область применения ГПС. Место ГПС в промышленном производстве. Предпосылки развития ГПС, их преимущества и проблемы создания гибких производств, реализующих «безлюдную» технологию.

Литература [1] с.7-24; [2] с.6-22.

1.1.1 Классификация ГПС

В настоящее время разработан комплекс нормативной документации, направленный на создание единой методической основы ГПС. ГОСТ 26228—85 в качестве обобщающего используется термин «Гибкая производственная система», под которым понимается совокупность металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования (транспортного, накопительного, погрузочно-разгрузочного и т. д.), снабженного средствами и системами обеспечения его функционирования в автоматическом режиме. Как правило, оборудование ГПС имеет систему ЧПУ, а в качестве управляющего вычислительного комплекса используют ЭВМ различного уровня.

Особенность ГПС заключается в том, что оборудование ГПС в течение заданного периода времени может работать в автоматическом режиме, т. е. с ограниченным участием обслуживающего персонала (так называемый безлюдный режим работы). Переналадку оборудования на изготовление новой продукции осуществляют в автоматизированном (с участием человека) режиме. Наличие систем обеспечения работоспособности позволяет осуществлять переналадку оборудования с малыми потерями времени. Такие производственные системы обладают свойством быстрой переналадки, в силу чего они получили название *гибкие производственные системы*.

Необходимо уяснить, что гибкие производственные системы являются особой формой любого из пяти типов производства. Они создавались для автоматизации мелкосерийного производства. Однако, принципы, заложенные в ГПС, позволили им распространиться в другие типы производств.

Первым этапом в автоматизации мелкосерийного производства стало появление станков с числовым программным управлением, которые позволяют быстро переходить на обработку других деталей путем смены управляющих программ, оснастки и инструментальных наладок. Замена универсальных металлорежущих станков станками с ЧПУ позволила в 5 раз уменьшить трудоемкость изготовления деталей. Однако осталось достаточно много ручных операций, связанных с переходом на обработку новых изделий. Сокращение потерь вспомогательного времени и повышение эффективности станков с ЧПУ достигнуто путем ввода технических и информационных средств. Так станки оснащаются: автоматическими устройствами подачи заготовок на стол, инструментальными магазинами с большим количеством инструментов, устройствами удаления отходов. Информацион-

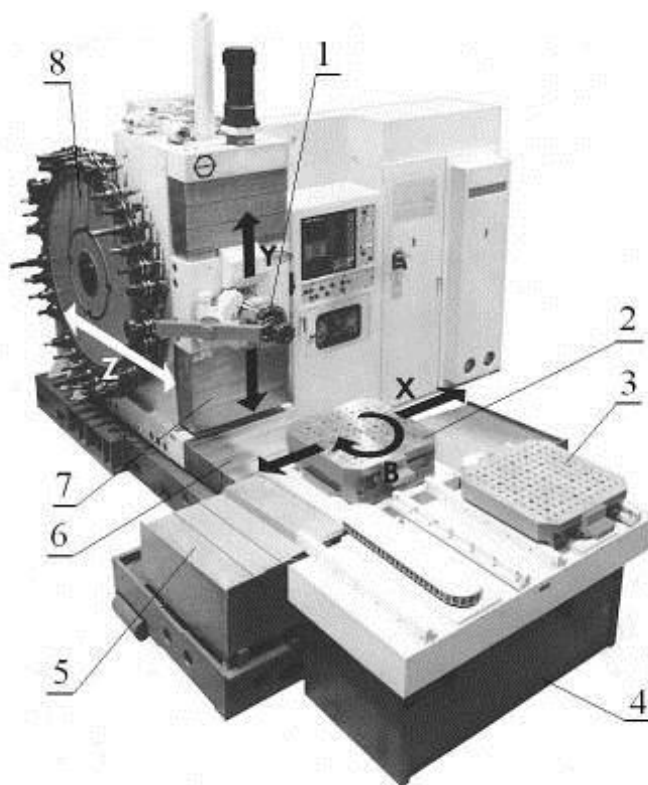
ные средства обеспечивают управление системами ЧПУ, связь с центральной ЭВМ, контроль технических систем и процессов механообработки, технологическую подготовку производства.

Дальнейшее совершенствование производства определило создание ГПС, в которых в качестве технологического оборудования применяются гибкие производственные модули (ГПМ). В соответствии с ГОСТ 26228-85 под **ГПМ** понимают единицу технологического оборудования, оснащенную системой ЧПУ или каким-либо другим устройством программного управления, функционирующую как самостоятельно, так и в составе ГПС; при этом все функции, связанные с изготовлением деталей, должны осуществляться автоматически.

ГПМ по сравнению со станками с ЧПУ характеризуются:

- высокой точностью, а также повышенной надежностью всех систем, что исключает постоянное присутствие оператора;
- высокой производительностью работы;
- наличием средств контроля качества и технической диагностики;
- возможностью встраиваться в ГПС путем связи с ЭВМ верхнего уровня.

Сверлильно-фрезерно-расточной ГПМ представлен на рисунке 1.1.



1 – шпиндель; 2 – поворотный стол со столом спутником; 3 – стол-спутник; 4 – накопитель; 5 – направляющая для перемещения стола по оси X; 6 – направляющая для перемещения стола по оси Z; 7 – направляющая для перемещения шпинделя по оси Y; 8 – инструментальный магазин.

Рисунок 1.1 – Гибкий производственный модуль

Технические возможности оборудования ГПС постоянно совершенствуются, а их технологические возможности расширяются. Различные системы в ГПМ позволяют осуществлять: автоматическую смену заготовок, инструмента и измерительных устройств; автоматический отвод стружки из зоны резания и подачу СОЖ; работу по программе ЧПУ. Поэтому гибкие производственные модули получили краткое название – обрабатывающий центр (ОЦ).

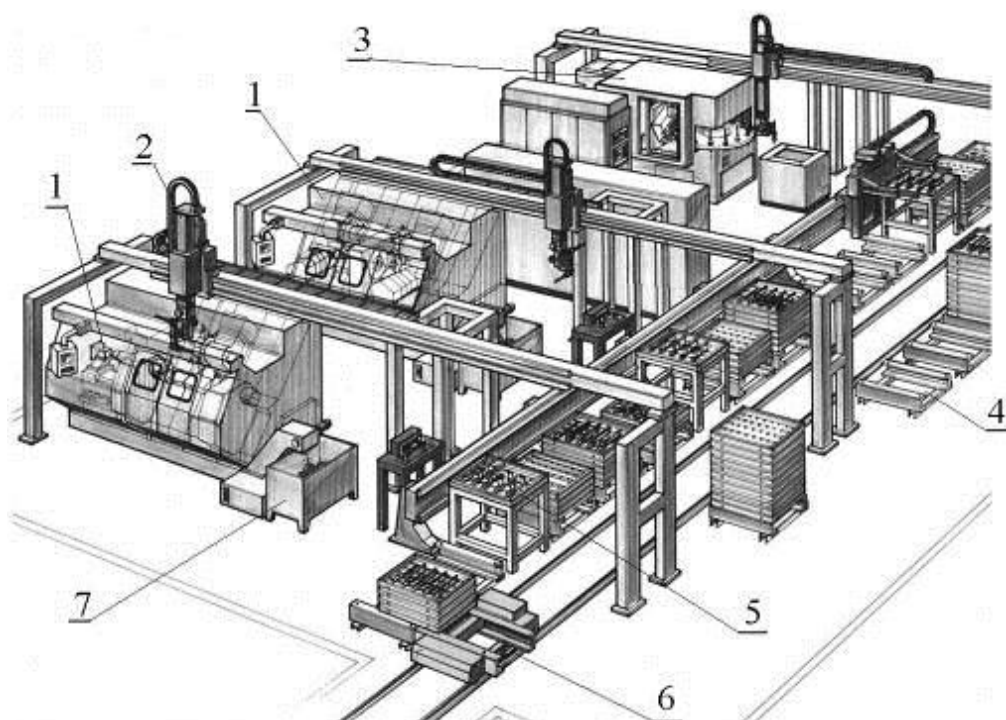
В современном станкостроении наблюдаются тенденции создания широкой гаммы ГПМ с высокой степенью автоматизации и надежности. Именно разработка гибких производственных модулей различного технологического назначения позволяет решить проблему повсеместного внедрения ГПС и принципов гибких технологий.

ГПС обладает сравнительно большой производственной и структурной гибкостью, что выражается в возможности автоматического перехода на обработку любой освоенной детали и функционирования при отказе отдельных элементов. ГПС может автоматически функционировать во вторую и третью смены при ограниченном количестве персонала.

Классификацию ГПС определяет ГОСТ 26962-86 по следующим признакам:

1 По организационным признакам ГПС подразделяют на гибкие автоматизированные участки (ГАУ), гибкие автоматические линии (ГАЛ), и гибкие автоматизированные цехи (ГЦ).

Гибкий автоматизированный участок (ГАУ) – это ГПС, состоящая из ГПМ, объединенных автоматизированной системой управления, в которой в отличие от ГАЛ предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования (рис.1.2).

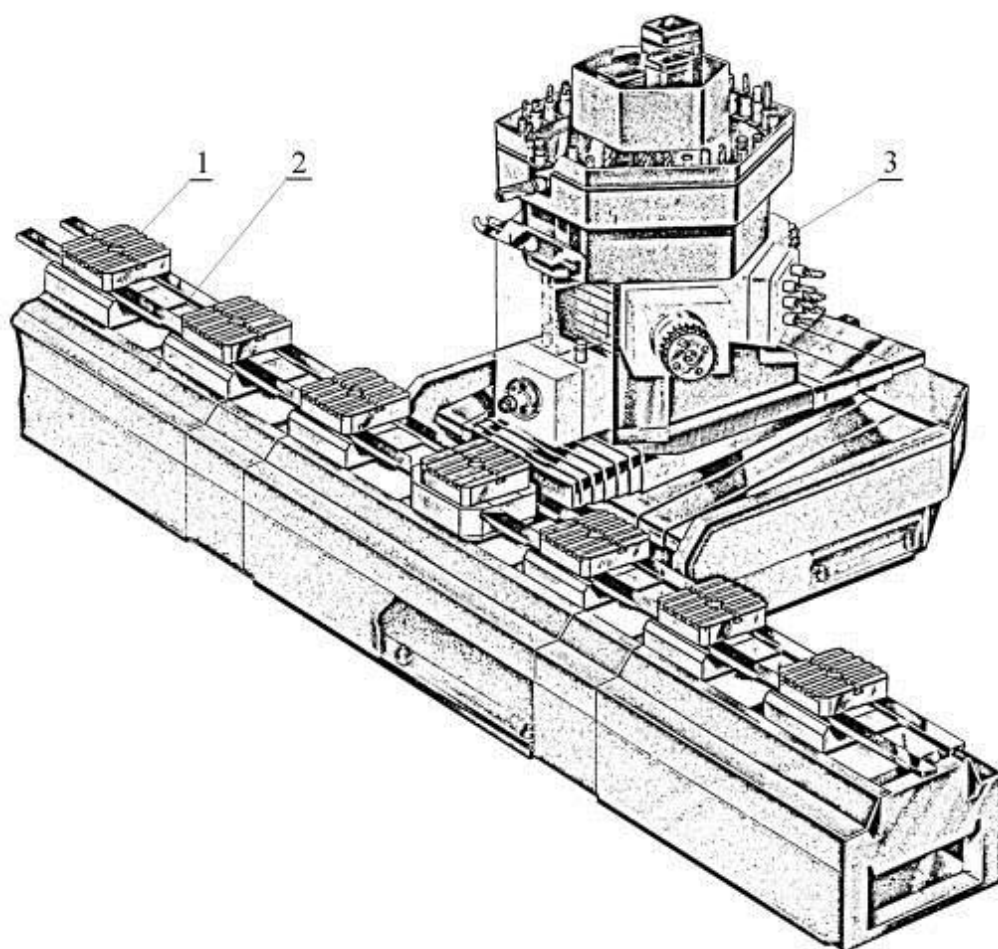


1 – токарный ГПМ; 2 – портальный робот; 3 – сверлильно-фрезерно-расточной ГПМ; 4 – склад; 5 – межоперационный накопитель; 6 – рельсовая транспортная тележка

Рисунок 1.2 – Гибкий автоматизированный участок

В состав ГАУ могут дополнительно входить отдельно функционирующее технологическое оборудование, не связанное с остальной системой управления или общей транспортной системой, а также неавтоматизированные рабочие места для выполнения отдельных ручных операций. Например, загрузка-выгрузка обрабатываемых заготовок на приспособления-спутники может выполняться вручную, а доставка спутников с заготовками на станки и закрепление их в рабочей зоне станка — автоматически.

Гибкая автоматизированная линия (ГАЛ) – это ГПС, состоящая из гибких производственных модулей с ЧПУ или из оборудования, управляемого программируемыми контроллерами, объединенного единой автоматизированной системой управления (рис. 1.3).



1 – стол-спутник; 2 – транспортная система; 3 – блок из шести шпинделей

Рисунок 1.3 – Гибкая автоматизированная линия

Структурной особенностью ГАЛ является расположение технологического оборудования в принятой последовательности технологических операций. Отличие от традиционных автоматических линий заключается в том, что на ГАЛ можно обрабатывать заготовки, номенклатура которых была заранее известна в период создания ГАЛ. Однако эти заготовки по своим типоразмерам и характеру обработки однотипны и соответствуют техническим возможностям оборудования ГАЛ. На ГАЛ обрабатываемые заготовки перемещаются в транспортной системе только по заранее определенным маршрутам. При этом гибкость производства обеспечивается за счет применения станков с ЧПУ, возможности смены на станках отдельных агрегатов, узлов и многошпиндельных головок, поворота обрабатываемой заготовки на 360° в транспортной системе и других мероприятий.

В состав ГАУ и ГАЛ могут входить роботизированные технологические комплексы (РТК). В состав РТК входят технологическое оборудование (станки), промышленный робот (ПР) и дополнительные средства оснащения комплекса, например, магазин заготовок, тактовый стол и т.п. Однако их применение в условиях развития автоматизации снижается. Это связано со слабым применением в РТК информационных систем.

Гибкий автоматизированный цех (ГАЦ) — это ГПС, представляющая собой в различных сочетаниях совокупность ГАЛ, ГАУ, РТЛ, РТУ и отдельных единиц технологического оборудования (в том числе ГПМ) для изготовления изделий заданной номенклатуры.

Гибкий автоматизированный завод (ГАЗ) — это комплексная производственная система, состоящая из ГАЦ, ГАЛ, ГАУ и других подразделений, оснащенных многоцелевым и другим технологическим оборудованием, работающим в режиме малолюдной или безлюдной технологии. В ГАЗ обычно используют современные передовые технологические процессы обработки. Непременным условием ГАЗ является наличие аппаратных средств и программного обеспечения для проектирования продукции, производственного планирования, изготовления, контроля и управления производством.

2 По функциональному назначению и комплексности изготовления изделий ГПС подразделяют на:

- **операционные** — предназначенные для выполнения однородных технологических операций, являющихся частью комплексного технологического процесса обработки определенной группы заготовок (валов, корпусов, станин и др.), например литья, обработки давлением, сварки и пайки, обработки резанием, термообработки, нанесения покрытий, сборки, контроля, испытаний и т.п.;

- **предметные** — системы машин, на которых производят полную (комплексную) обработку (от заготовки до готового изделия) определенной группы изделий, например валов, втулок, корпусов, планок и т.п.;

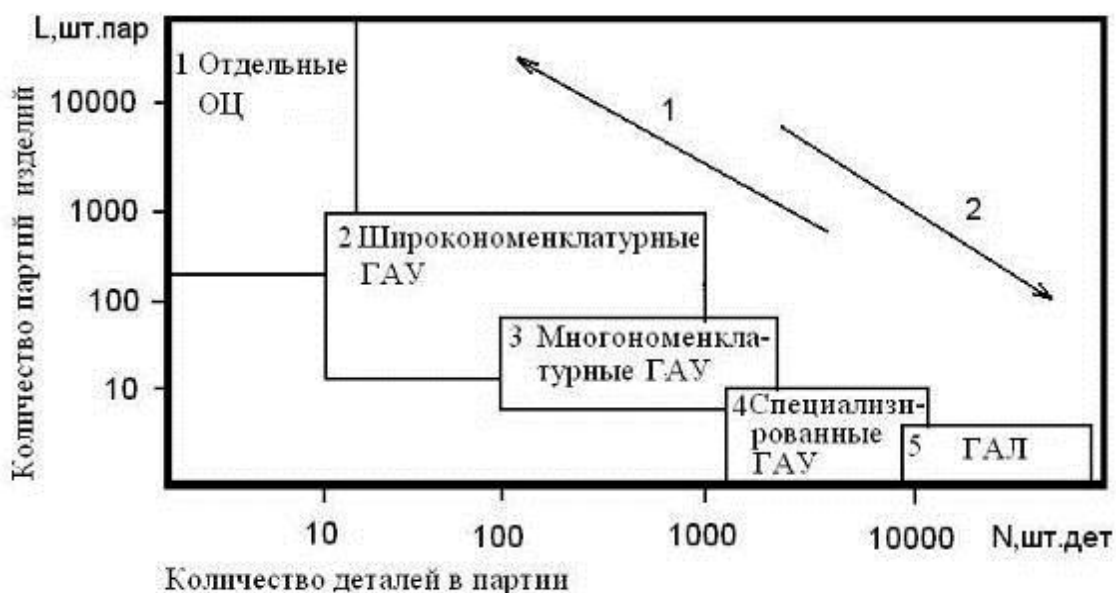
- **узловые** — системы машин, продуктом производства которых являются комплекты деталей и узлы определенных типоразмеров. Доуком-

плектацию узлов производят из склада покупных изделий. Узловые ГПС обеспечивают возможность ритмичного поступления узлов на автоматизированный сборочный участок, на котором выполняется сборка и упаковка собранные изделия.

3 По уровню автоматизации ГПС характеризуются числом вспомогательных функций, выполняемых в автоматическом режиме. Уровень автоматизации ГПС в значительной степени зависит от уровня автоматизации основного технологического оборудования (ГПМ), из которых комплектуют ГПС.

1.1.2 Область применения ГПС

Область применения ГПС достаточно широка. Вначале они создавались для автоматизации мелкосерийного производства. Однако, учитывая высокие показатели, их область применения расширилась в крупносерийное, массовое производство, а также в единичное производство. При внедрении ГПС важно определить оптимальное соответствие между гибкостью и производительностью. Повышение гибкости (или универсальности) любого технологического оборудования практически всегда влечет за собой снижение его производительности. Наибольшая производительность достигается на автоматических линиях, а наибольшая гибкость — на универсальном оборудовании. Совмещения высокой производительности и универсальности можно добиться в условиях применения ГПС. На рисунке 1.4 приведены области применения ГПС, а также направления повышения гибкости и производительности при использовании различного оборудования.



1 – направление повышения гибкости;
2 – направление повышения производительности
Рисунок 1.4 – Области применения ГПС

Зона 1 это зона единичного и опытно-экспериментального производства. Здесь используются отдельные ОЦ и станки с ЧПУ. Эти станки хотя и работают как самостоятельные единицы оборудования, но могут управляться от центральной ЭВМ. Такая организация требует меньших капиталовложений в расчете на один станок, имеет высокую гибкость, но ограниченную производительность.

Зона 2 это зона мелкосерийного и серийного производств. Здесь применяются ГАУ в состав которых входят различные ГПМ. Детали обрабатываются полностью на одном ГПМ с одного установа. Такие участки характеризуются высокой гибкостью.

Зона 3 это зона серийного производства. Здесь применяются ГАУ состоящие из ГПМ сходных по технологическим возможностям и вспомогательного оборудования, обеспечивающего работу участка. Несмотря на средний уровень гибкости, такие ГАУ имеют высокую приспособляемость к изменению объема выпуска и высокую производительность.

Зона 4 это зона крупносерийного производства. Здесь применяются специализированные ОЦ с агрегатными головками. Такие ОЦ имеют модульное построение. Передача заготовок проводится по жестким транспортным связям. Производительность участков высокая, а для ее дальнейшего повышения используют параллельно работающие позиции.

Зона 5 это зона массового производства. В этой зоне применяются ГАЛ с жесткими транспортными связями. Обрабатываемые детали конструктивно и технологически однородные. Наладка оборудования, как правило, проводится через длительные интервалы. Поэтому ГАЛ имеют высокую производительность.

В этапах развития ГПС можно выделить несколько периодов:

60–70-е годы — создание первых обрабатывающих центров, промышленных роботов. Разработка микропроцессоров и создание на их основе автоматизированных рабочих мест (АРМ) конструктора и технолога;

80-е годы — начало локально-комплексной автоматизации производства путем создания робототехнических комплексов (РТК), гибких модулей, гибких автоматизированных линий и участков;

90-е годы – появление устойчивых гибких цеховых структур, заводоавтоматов с гибко перестраиваемой технологией и высоким уровнем машинного интеллекта техники управления производством.

В начале третьего тысячелетия появились ОЦ с параллельной кинематикой. В таких ОЦ шпиндель вынесен из станины на гибкие кинематические звенья и стал перемещаться вокруг детали. Это обеспечило рост производительности труда. В токарных ОЦ расширены технологические возможности вплоть до полигонального точения, нарезания зубчатых колес, строгания. Все это обеспечило устойчивые тенденции к уменьшению количества групп станков.

Внедрение ГПС связано, прежде всего, с изменением схемы организации производства, что влечет за собой появление новой прогрессивной технологии и оборудования для ее реализации.

1.2 Структура построения и функции ГПС

Рабочая программа. Функциональная структура ГПС. Основопологающие принципы ГПС. Гибкость системы и ее показатели.

Литература [2] с.24-29.

1.2.1 Функциональная структура ГПС.

Бесперебойную работу ГПС поддерживают системы обеспечения работоспособности. Их условно можно разделить на технические и информационные. Согласно ГОСТ 26228-85 в состав ГПС входят следующие системы:

1 автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) – обеспечивает транспортирование, хранение и комплектацию всех грузов;

2 автоматизированная система инструментаобеспечения (АСИО) – обеспечивает хранение режущего и вспомогательного инструментов их сборку, настройку доставку к технологическому оборудованию. После работы обеспечивает разборку и восстановление инструментов;

3 автоматизированная система уборки отходов (АСУО) – обеспечивает сбор и утилизацию стружки, пыли и СОЖ;

4 автоматизированная система управления (АСУ) – обеспечивает календарное планирование, диспетчирование, управление и индикацию;

5 автоматизированная система контроля (АСК) – обеспечивает контроль и диагностику технологической системы (станка, инструментов, приспособления и детали), а также всех процессов, проходящих ГПС;

6 система автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) – обеспечивает разработку технологических процессов и управляющих программ;

7 автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) – обеспечивает входной контроль чертежей, подготовку оснастки и моделирование производственных процессов;

8 автоматическая система научных исследований (АСНИ) – обеспечивает сбор хранение информации приходящей, от всех систем обеспечения работоспособности. В АСНИ проводится обработка информации с предоставлением рекомендаций по совершенствованию производственного процесса.

Как правило информационные системы обеспечения работоспособности входят в состав управляюще-вычислительного комплекса (УВК). На рисунке 1.5 приведена структура ГПС.

В АСТПП ведется подготовка производства (подготовка заготовок, расходных материалов и т.д.) и после разработки технологических процессов в САПРТП все данные передаются в АСУ которая в свою очередь управляет информационными и техническими системами. АСК отслеживает проходящие процессы в технологической системе и передает получен-

ные данные в систему анализа АСНИ. Благодаря обратной связи в АСНИ поступают данные со всех систем. После анализа полученных данных, прогнозирования и выработки рекомендаций АСНИ передает рекомендации в АСТПП, где происходит коррекция производственных процессов.

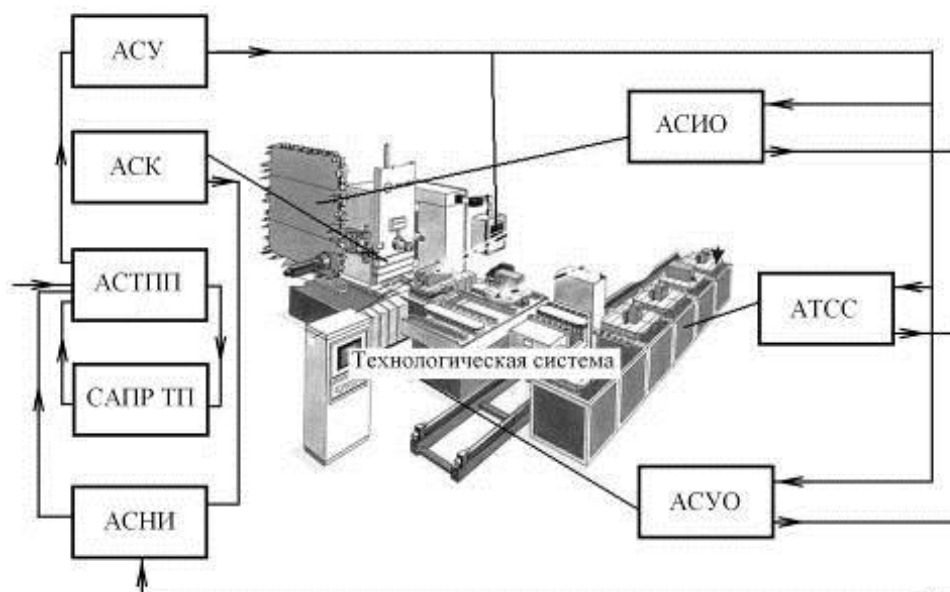


Рисунок 1.5 – Структура ГПС

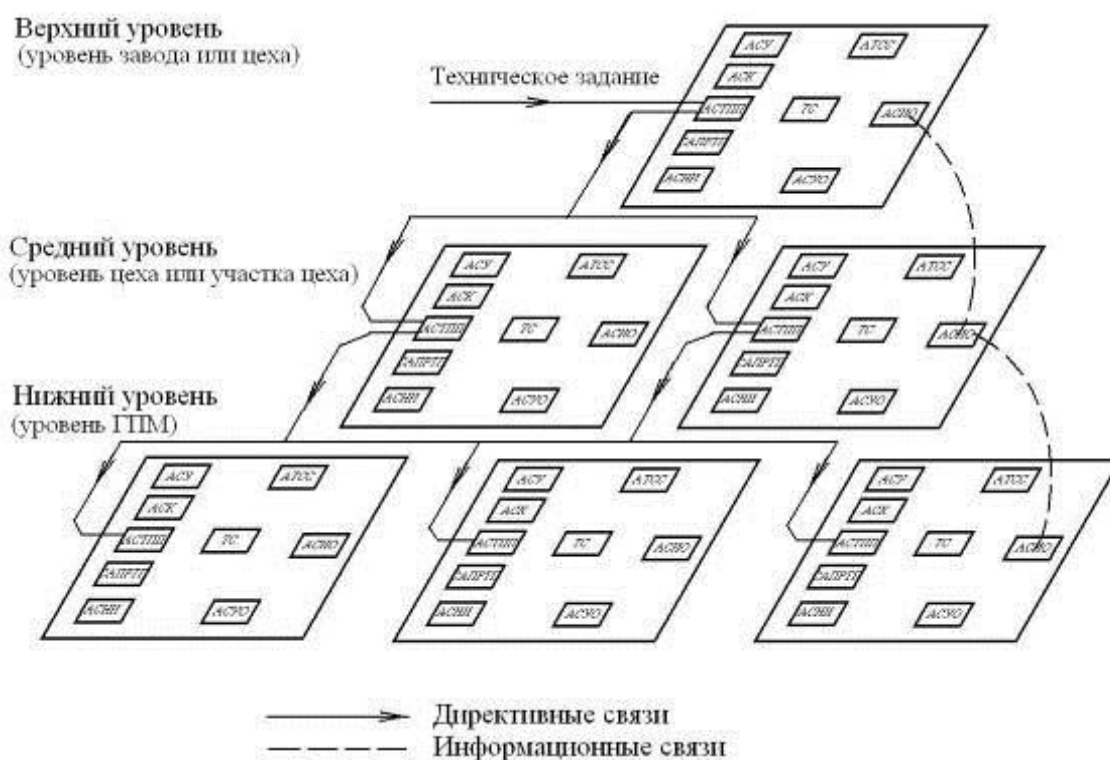


Рисунок 1.6 – Трехуровневая система управления ГПС

ГПС построены по иерархическому принципу (рисунок 1.6). Это обеспечивает высокую надежность в работе и взаимозаменяемость в случае отказов. В иерархической структуре предусматриваются уровни управления.

Как правило, в современных ГПС насчитывается 3-4 уровня управления. Каждый уровень управления имеет одинаковые структуры. На всех уровнях техническое задание (исходные данные) поступает в АСТПП.

При выборе оптимального состава объектов на каждом уровне ГПС наиболее важной задачей является определение на первых стадиях проектирования технической производительности, надежности и стоимости. Сложность решения этой задачи заключается в ограничении исходных данных, что определяет новизну объекту исследования и незначительным количеством ГПС, которые находятся в эксплуатации. Последнее обстоятельство не позволяет организовать статистическое исследование ГПС. Проведение такого исследования и разработки на его результатах соответствующих количественных рекомендаций (управляющих технологических параметров) является одной из первоочередных задач.

1.2.2 Основополагающие принципы ГПС.

В основу нормальной работы любого ГПС положены пять основополагающих принципов.

1 Принцип совмещения высокой производительности и универсальности. Предусматривает модульное построение функциональных агрегатов. В результате специальные агрегаты имеют высокую производительность, а сочетание различных агрегатов в одной ГПС позволяет обеспечить высокую универсальность.

2 Принцип высокой технологической гибкости. Предусматривает возможность быстрой переналадки технологического оборудования на выполнение различного вида операций.

3 Принцип модульности. Предусматривает построение технологического и вспомогательного оборудования по сменным агрегатам (модулям). Это обеспечивает быструю переналадку оборудования и быстрое устранение отказов.

4 Принцип концентрации операций (максимальной предметной замкнутости). Предполагает объединение как можно большего числа операций на одной единице технологического оборудования. Это снижает материальные и финансовые расходы. Особенно уменьшает затраты времени на транспортировку заготовок и оснастки.

5 Принцип иерархии. Предполагает наличие многоуровневой системы управления.

6 Принцип «безлюдного» производства. Предполагает уменьшение количество людей, занятых непосредственно в работе на технологическом

оборудовании. Работники предприятия должны заниматься контролем работы систем обеспечения работоспособности.

7 Принцип системной организации. Разбит на два подпринципа.

7.1 подпринцип самоорганизации. Предполагает наличие всех систем жизнеобеспечения на каждом уровне управления. Это позволяет на каждом уровне иерархии технологической системе функционировать в автономном режиме. Также это позволяет в случае отказов оборудования перераспределять работы между другими единицами оборудования.

7.2 подпринцип технологической универсальности. Предполагает свободное включение в состав ГАУ дополнительного оборудования для обработки деталей различной номенклатуры и.

1.2.3 Гибкость ГПС

Под гибкостью ГПС понимают ее способность быстро перестраиваться на обработку новых деталей в пределах, определяемых техническими возможностями оборудования и технологией обработки группы деталей. Сложность ГПС предопределила наличие различных аспектов гибкости, которые в совокупности характеризуют скорость адаптации системы к изменению производственной ситуации. Высокая степень экономически целесообразной гибкости обеспечивает более полное удовлетворение требований заказчика, оперативный переход к выпуску новой продукции, сохранение оправданного характера мелкосерийного производства, согласование сроков изготовления со сроками поставки оборудования, автоматизацию технологической подготовки производства на базе вычислительной техники, снижение затрат на незавершенное производство. В настоящее время различают ряд аспектов гибкости.

Гибкость состояния системы заключается в ее способности хорошо функционировать при различных внешних и внутренних изменениях. Внешние изменения связаны с появлением нового ассортимента изделий, применением более прогрессивной технологии, повышением квалификации обслуживающего персонала. Внутренние изменения или неполадки определяются наличием сбоев в системе управления станками и материальными потоками, отклонением во времени обработки, отсутствием оператора, качеством обработки

Гибкость действия должна обеспечивать возможность легко включать в систему новые станки и инструменты для увеличения ее мощности в связи с увеличением объема производства. Это свойство позволяет более оперативно следить за изменениями требований рынка, конъюнктуры, проявлений моды и мобильно наращивать мощность выпуска в зависимости от требований развития индустриального производства.

Процессы обработки деталей в гибких системах основаны на принципах групповой технологии, которая предусматривает классификацию деталей по признакам формы, технологии, применяемого оборудования и т.п.

Гибкость системы группирования должна проявляться в возможности расширения семейства обрабатываемых деталей путем включения новых, появившихся в связи с изменением номенклатуры производства. Такая система позволяет расширить жесткие рамки типажа деталей, быстро и успешно перестраивать производство однотипной продукции на качественно новом уровне

Гибкость технологии определяется способностью системы учитывать изменения в составе выполняемых технологических операций и оценивается размером подмножества операций, которые могут быть выполнены системой в случае изменения производственной ситуации. Система управления должна оценивать вероятность появления определенной технологической операции и возможность ее выполнения в гибком комплексе. Другой оценкой гибкости технологии может служить время адаптации, т.е. время, необходимое для переналадки системы на выполнение группы операций.

В многостаночной системе при выполнении операций поочередно на каждом станке должна быть решена задача минимизации перевозок и сокращения транспортных задержек. При этом необходимо учитывать время переналадки и перехода к другим операциям на каждом станке. Обычно технология допускает различные последовательности выполнения операций. С одной стороны, это открывает возможность рационального построения технологического процесса с учетом ряда стратегий управления, в том числе решаются вопросы оптимальной загрузки станков, очередности выпуска деталей по номенклатуре в пределах временного графика, минимизации перемещений робота и др. С другой стороны, необходимость иметь в системе различные материальные потоки вызывает ряд сложностей, заключающихся в блокировании некоторых станков при недостаточном объеме предстаночных буферно-накопительных устройств, появлении конкурирующих операций, простое определенных видов станочного оборудования. В этой связи решение затронутых проблем может быть достигнуто путем математического моделирования технологических операций и производственных ситуаций.

Система с высокой гибкостью технологии имеет высокую **гибкость оборудования**, которая характеризует способность системы справляться с переналадками в станках. Проблема обеспечения гибкости оборудования решается путем организации заделов перед станками, выбора однотипных многооперационных станков с ЧПУ, унификации транспортных устройств, зажимных элементов и наборов инструментов, автоматизации подготовки управляющих программ. Общая гибкость оборудования системы зависит от гибкости станочной единицы, поэтому при проектировании комплексов следует стремиться включить в их состав однотипное оборудование, что позволяет оперативно наращивать мощность системы путем создания параллельных потоков, эффективно бороться со сбоями в отдельных станках и быстро осваивать новые технологические процессы путем выделения для этой же цели группы станков.

Гибкость технологии на уровне станочного оборудования может быть увеличена путем расширения возможностей станка: совершенным программным управлением, бесперебойным обеспечением инструментом в автоматическом цикле, переходом с трехкоординатной к пятикоординатной обработке и т.п.

Гибкость транспортной системы выражается в бесперебойной и оптимальной загрузке металлорежущего оборудования по определенной, наперед заданной стратегии управления. Это относится не только к своевременному обеспечению станочной системы заготовками, но и к обеспечению всего ГАУ режущим инструментом. Система управления транспортными средствами должна учитывать возможные сбои технологического оборудования, и ее реакция на сбои должна быть адекватной в новой ситуации. Транспортная система должна иметь достаточно объемный склад, который позволил бы свести к минимуму задержки, связанные с ожиданием заготовок. Построение транспортных маршрутов связано с рациональной планировкой комплекса, которая должна решаться с учетом минимизации перемещений материальных потоков. Для повышения гибкости транспортной системы необходимо предусматривать на ее входе наличие сенсорных устройств, обеспечивающих распознавание заготовок и кодированного инструмента.

Суммарная гибкость станочного комплекса во многом зависит от **гибкости системы обеспечения инструментом**. Необходимо отдавать предпочтение централизованному питанию ГПМ инструментом, которое позволяет уменьшить количество используемых инструментов по сравнению с индивидуальным питанием отдельных ГПМ. При этом значительно уменьшаются простои оборудования, повышается коэффициент его использования, упрощаются заточка и настройка инструмента.

Гибкость системы управления комплексом характеризуется тем, что оптимизация технологического процесса может и должна продолжаться после запуска системы. Гибкая система управления обеспечивает наиболее рациональное построение маршрутов обработки и транспортных потоков с точки зрения различных критериев: обеспечения максимального выпуска продукции, удовлетворения требований сборки, достижения наивысших показателей качества путем оптимизации режимов резания, оптимального календарного планирования выпуска по номенклатуре и т.д. Система управления должна не только иметь библиотеку микроинструкций по управлению процессом механической обработки, но и обладать способностью совершенствования путем запоминания дополнительных инструкций, связанных с изменением производственной ситуации.

Организационная гибкость производства, заключающаяся в возможности простого и незамедлительного перехода на обработку любой из освоенных системой деталей, позволяет руководству оперативно ликвидировать организационные простои оборудования, которые не связаны с его надежностью, а в большей степени вызваны отсутствием требуемых заготовок, инструмента, обслуживающего персонала и т.п.

Организационная гибкость существенно зависит от **гибкости обслуживающего персонала**. Важным условием обеспечения высокого коэффициента использования комплекса является освоение смежных профессий внутри бригады, достижение взаимозаменяемости обслуживающего персонала, применение современных форм бригадного подряда.

Рассмотренные аспекты гибкости станочных систем находятся в противоречии с производительностью. Поэтому при увеличении гибкости технологии необходимо минимизировать ухудшение производительности и при этом добиваться максимального использования оборудования путем уменьшения времени переналадки при переходе на обработку другой детали. Решение таких конкурентных задач может быть получено путем математического моделирования производственных ситуаций на ЭВМ.

Сохранение всех принципов гибкости станочных систем дает возможность осуществить идею комплексной автоматизации мелкосерийного производства на основе применения современного технологического оборудования с ЧПУ, вычислительной техники и промышленных роботов.

Для сравнительного анализа и оптимизации ГПС необходимо иметь возможность оценивать степень гибкости системы с помощью интегрального показателя, который должен отражать функционально-технические возможности системы и не содержать экономических показателей. В качестве показателя гибкости принята монотонно изменяющаяся от 0 до 1 величина g . Степень гибкости определяется числом различных функциональных состояний n (количество переналадок), которые ГПС может дискретно принимать в пределах своих технических возможностей, и временем перехода t_{ij} (время переналадки) из одного функционального состояния i во второе j . Тогда в качестве первой составляющей показателя степени гибкости принимают **технологическую гибкость**

$$g_1 = \left(1 - \frac{1}{n}\right), \quad (1.1)$$

Это выражение стремится к единице при $n \rightarrow \infty$ и обращается в нуль при $n=1$.

Время T перехода от одного состояния ГПС к другому определяется как сумма времен каждого перехода:

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij}. \quad (1.2)$$

Второй составляющей показателя гибкости является **организационная гибкость**, которую можно определить как отношение суммы времен всех переходов ГПС к плановому периоду времени T_n , принятому за базовый при аттестации и сравнительной оценке ГПС. В качестве T_n может

быть принят, например, действительный фонд времени ГПС за определенный период времени:

$$g_2 = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij}}{T_n} \right), \quad (1.3)$$

при

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij} \leq T_n. \quad (1.4)$$

Это выражение стремится к единице с уменьшением суммарного времени переходов ГПС и обращается в нуль с приближением суммарного времени переходов из одного состояния в другое к T_n .

Интегральный показатель степени гибкости ГПС определяют как

$$G = g_1 g_2. \quad (1.5)$$

Оценка гибкости производственных систем необходима при определении их экономической эффективности и целесообразности применения ГПС в различных производственных условиях.

1.3 Моделирование ГПС

Рабочая программа. ГПС как объект моделирования. Принципы моделирования. Методы и средства моделирования. Моделирование на основе сетей Петри. Свойства сетей Петри. Виды сетей Петри. Имитационные модели. Построение имитационной модели производственного процесса.

Литература [1]с. 144-154, 160-167; [2]с.167-183.

1.3.1 ГПС как объект моделирования

Решение задач проектирования, создания и эксплуатации производственных систем невозможно без широкого применения моделирования как способа научного познания реальной действительности. Моделирование позволяет исследовать свойства реальной системы путем замены этой системы или отдельных ее элементов некоторой моделью, по своим свойствам воспроизводящей свойства реальной системы. Назначением моделирования производственных систем является описание движения материальных и ин-

формационных потоков по рабочим позициям их обработки или сборки во времени. Результаты, получаемые с помощью моделей, являются важным, а иногда и единственным источником информации, который исследователь использует: при проектировании новой производственной системы или процессов, которые в ней протекают. Важно, в процессе моделирования, получить оценки качества и эффективности работы системы.

Модели делятся на математические и физические. При анализе ГПС обычно применяются математические модели. Они позволяют определить технологические параметры ГПС на этапе ее проектирования.

Использование математических моделей, заменяющих ГПС или ее часть, сокращает сроки разработки системы и материальные затраты. При этом важно обеспечить системный подход к процессу моделирования.

Принципы системного подхода к моделированию. При разработке ГПС возникают следующие задачи:

- 1 выбор оптимальной структуры системы;
- 2 оптимизация организации взаимодействия элементов;
- 3 определение оптимальных режимов функционирования;
- 4 учет влияния внешней среды;
- 5 выбор законов функционирования элементов.

Общими свойствами сложных систем являются:

- 1 наличие большого числа взаимодействующих элементов;
- 2 система и входящие в нее элементы в большинстве своём являются многофункциональными;
- 3 взаимодействие элементов в системе может происходить по каналам обмена информацией, энергией, материалами и др.;
- 4 наличие у системы общей цели, несмотря на разнообразие входящих в нее элементов;
- 5 переменность структуры (связей и состава системы), обеспечивающей многорежимный характер функционирования, возможность адаптации, как в структуре, так и в алгоритме функционирования;
- 6 взаимодействие элементов в системе и с внешней средой в большинстве случаев носит случайный (стохастический) характер;
- 7 система является человеко-машиной, так как часть функций выполняется автоматически, а другая — человеком (следует отметить высокую степень автоматизации, в частности, широкое применение средств автоматики и вычислительной техники для управления и механизации труда человека);
- 8 управление в большинстве систем носит иерархический характер.

Исследование сложных систем влечет за собой необходимость разработки методов их исследования и анализа результатов. При этом с точки зрения результатов далеко не безразлично, с каких позиций осуществляется подход к исследованиям и каковы предпосылки, на которых базируется проведение эксперимента. При анализе и синтезе сложных систем получил развитие системный подход, в основу которого положено рассмотрение изучаемого объекта или процесса как системы, состоящей из взаимодействующих элементов,

построение математической модели для него и исследование его свойств методом моделирования.

К числу задач, решаемых на основе системного подхода, относят: определение общей структуры системы; организацию взаимодействия между подсистемами; учет влияния внешней среды; выбор оптимальной структуры и оптимальных алгоритмов функционирования. При этом ГПС, как набор объектов, представляется как целостная система, но разделяется на ряд объектов.

Разделение объектов — свойство, характерное для любой сложной системы, которое отражает одну из сторон ее структуры. Так, все элементы ГПС могут быть отнесены к основным и вспомогательным ее составным частям. К основным относят станки, координатно-измерительные машины и т.д., к вспомогательным — промежуточные накопители, устройства транспортирования. И при этом каждая составная часть системы может быть отдельным элементом, или их совокупность, характер и допустимый предел разделения сложной системы зависят от типа решаемых задач. Правильное исходное разбиение является важной предпосылкой построения исходной математической модели системы (процесса), поскольку нерациональное разбиение системы усложняет ее анализ.

Целостность объектов определяет другую сторону их структуры и характеризуется связями составных частей на различных уровнях разбиения, а также общими свойствами объекта системы как целого. Для более глубокого понимания свойства целостности следует рассматривать два аспекта:

1 свойства системы не являются суммой свойств ее элементов или частей;

2 свойства системы зависят от свойств элементов и частей, так как изменение в одном элементе вызывает изменение во всех остальных элементах и в целом во всей системе.

Образование системы более высокого ранга (уровня) сопровождается появлением новых закономерностей, отражающих ее существо, критерии, цели, новые задачи и функции. Однако закономерности, действующие в системе более низкого ранга, продолжают функционировать в каждой составной части системы, но доминирующее значение приобретают новые закономерности, отражающие связи внутри вновь образованной системы.

С учетом этих соображений ГПС можно представить как адаптивно-взаимосвязанную систему производства, содержащую множество активных автоматизированных элементов (станки с ЧПУ, устройства транспортирования материальных, энергетических и информационных потоков), множество связей между ними, предназначенных для автоматического изготовления деталей.

Многоуровневая система моделирования. Станочная система является активным элементом и исполнителем автоматизированного производства, т.е. частной системой, обеспечивающей изготовление деталей с заданными параметрами в последовательности, определяемой производ-

ственной системой более высокого ранга, с которой связаны граничные элементы станочной системы. Особенность взаимодействия станочной системы с системой более высокого ранга, внутри которой она функционирует, определяется векторами входов и выходов, которые в целенаправленной системе формируют ее определенные состояния.

Зависимости между параметрами в сложной системе являются разнообразными и сложными, в результате чего построение единой модели оказывается затруднительным. Поэтому для моделирования сложных систем используют принцип многоуровневого (иерархического) описания, которое предполагает внедрение различных формальных языков описания, каждый из которых отражает функционирование системы в соответствии с понятиями и отношениями, принятыми на том или ином уровне иерархии. Чтобы получить такое математическое описание, необходимо выбрать параметры, позволяющие описывать функционирование системы: во-первых, как элемента более широкой системы; во-вторых, как целостное явление; в-третьих, как сложную систему, структуру которой необходимо представить с достаточной для данного уровня детализацией.

Многоуровневое описание системы характеризуется рядом общих свойств.

1. Выбор уровня описания системы, в терминах которого она описывается, в основном, зависит от цели исследования. Для многих систем выбор уровня описания является естественным и определяется ее назначением. Выделение нескольких уровней для исследуемой системы позволяет вести параллельное построение моделей на каждом уровне описания различными специалистами.

2 В общем случае описания функционирования системы на различных уровнях не связаны между собой, поэтому принципы и законы, используемые для описания системы на любом уровне, не могут быть формально выделены из принципов, используемых на других уровнях.

3 Требования, предъявляемые к работе системы на верхнем уровне, выступают как условия или ограничения для нижеследующих уровней.

4 На каждом уровне имеется собственный набор принципов, составляющих язык описания системы.

5 Понимание системы возрастает при последовательном переходе от одного уровня к другому. Чем ниже производится спуск по иерархическим уровням, тем более детально раскрывается система, чем выше поднимается, тем яснее становится смысл и назначение всей системы.

При создании ГПС структурная модель обычно рассматривается на уровнях организации, функций управления и технических средств. В связи с этим вводятся понятия организационной, функциональной и технических структур.

При анализе организационной структуры ГПС как объекта управления решаются задачи: описания состава ГПС и построения ее структурной схемы; определения функций подсистем и раскрытия их структур-

ной схемы; описания материальных и информационных связей; построения обобщенной структурной информационной модели ГПС.

При анализе функциональной структуры изучают функции управления в структурных подсистемах ГПС; выбирают состав автоматизируемых функций и их взаимосвязи; составляют обобщенную функциональную структуру задач управления ГПС.

При анализе технической структуры определяют основные элементы, участвующие в основных информационных процессах (подготовке, сборе, передаче, хранении и воспроизведении информации); составляют формальную структурную модель системы технических средств с учетом топологии расположения элементов системы, информационного и энергетического взаимодействия их между собой и с внешней средой.

Независимо от уровня рассмотрения модели системы общая задача структурного анализа позволяет получить, исходя из заданного описания элементов системы и связей между ними, заключение о структурных свойствах системы и ее подсистемах.

Таким образом, модель — это представление системы с точки зрения принятой концепции о ней. Отсюда можно сделать заключение: традиционное деление ГПС на подсистемы, функции, документы, работы не следует рассматривать как неизменное, поскольку оно будет уточняться по мере углубления знаний о действующих закономерностях.

1.3.2 Стратегическое моделирование.

На двух стадия стратегического моделирования выполняется разработка технического проекта и рабочего проекта.

Технический проект определяет:

- 1 номенклатуру продукции;
- 2 технологические процессы;
- 3 тип и количество технологического оборудования;
- 4 структурно-компоновочное построение (резервирование группы станков для определенных групп операций);
- 5 организацию транспортирования деталей, расчет количества транспортных средств и другого оборудования АТСС;

Рабочий проект определяет:

- 1 планы-графики работы оборудования;
- 2 привязку техпроцессов непосредственно к этому оборудованию.
- 3 привязку программного обеспечения.
- 4 оптимизацию режимов обработки.

Схематически процесс стратегического моделирования представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Схема процесса стратегического моделирования

1.3.3. Классификация математических моделей.

Классификация позволяет обобщить накопленный опыт, упорядочить понятия предметной области. Не является исключением в этом смысле и математическое моделирование. В таблице 1.2 показаны виды математических моделей по различным признакам классификации.

Таблица 1.2 – Классификация математических моделей

Признаки классификации	Виды математических моделей
1 Принадлежность к иерархическому уровню.	1 Модели микроуровня; 2 Модели макроуровня; 3 Модели метаяуровня.
2 Характер отображаемых свойств.	1 Структурные; 2 Функциональные.
3 Способ представления свойств объекта.	1 Аналитические; 2 Алгоритмические; 3 Имитационные.
4 Способ получения модели.	1 Теоретические; 2 Эмпирические.
5 Особенности поведения объекта.	1 Детерминированные; 2 Вероятностные

Приведенная классификация математических моделей может быть применена по отношению к любым объектам.

Математические модели на микроуровне производственного процесса отражают физические процессы, протекающие, например, при резании металлов. Они описывают процессы на уровне перехода (или приема).

Математические модели на макроуровне производственного процесса описывают технологические процессы.

Математические модели на метауровне производственного процесса описывают технологические системы (участки, цехи, предприятие в целом).

Структурные математические модели предназначены для отображения структурных свойств объектов. Например, в САПР ТП для представления структуры технологического процесса, расцеховки изделий используются структурно-логические модели.

Функциональные математические модели предназначены для отображения информационных, физических, временных процессов, протекающих в работающем оборудовании, в ходе выполнения технологических процессов и т.д.

Аналитические математические модели представляют собой явные математические выражения выходных параметров как функций от параметров входных и внутренних. Ввиду того, что далее будет рассматриваться целый ряд аналитических моделей, поговорим о них более подробно.

Аналитическое моделирование основано на косвенном описании моделируемого объекта с помощью набора математических формул. Язык аналитического описания содержит следующие основные группы семантических элементов: критерий (критерии), неизвестные, данные, математические операции, ограничения. Наиболее существенная характеристика аналитических моделей заключается в том, что модель не является структурно подобной объекту моделирования. Под структурным подобием здесь понимается однозначное соответствие элементов и связей модели элементам и связям моделируемого объекта. К аналитическим относятся модели, построенные на основе аппарата математического программирования, корреляционного, регрессионного анализа. Аналитическая модель всегда представляет собой конструкцию, которую можно проанализировать и решить математическими средствами. Так, если используется аппарат математического программирования, то модель состоит в основе своей из целевой функции и системы ограничений на переменные. Целевая функция, как правило, выражает ту характеристику объекта (системы), которую требуется вычислить или оптимизировать. В частности, это может быть производительность технологической системы. Переменные выражают технические характеристики объекта (системы), в том числе варьируемые, ограничения – их допустимые предельные значения.

Важным моментом является размерность конкретной аналитической модели. Часто для реальных технологических систем (автоматических линий, гибких производственных систем) размерность их аналитических мо-

делей столь велика, что получение оптимального решения оказывается весьма сложным с вычислительной точки зрения. Для повышения вычислительной эффективности в этом случае используют различные приемы. Один из них связан с разбиением задачи большой размерности на подзадачи меньшей размерности так, чтобы автономные решения подзадач в определенной последовательности давали решение основной задачи. При этом возникают проблемы организации взаимодействия подзадач, которые не всегда оказываются простыми. Другой прием предполагает уменьшение точности вычислений, за счет чего удастся сократить время решения задачи.

Алгоритмические математические модели выражают связи между выходными параметрами и параметрами входными и внутренними в виде алгоритма.

Имитационные математические модели – это алгоритмические модели, отражающие развитие процесса (поведение исследуемого объекта) во времени при задании внешних воздействий на процесс или объекта (рисунок 1.8). Например, это модели систем массового обслуживания, заданные в алгоритмической форме.

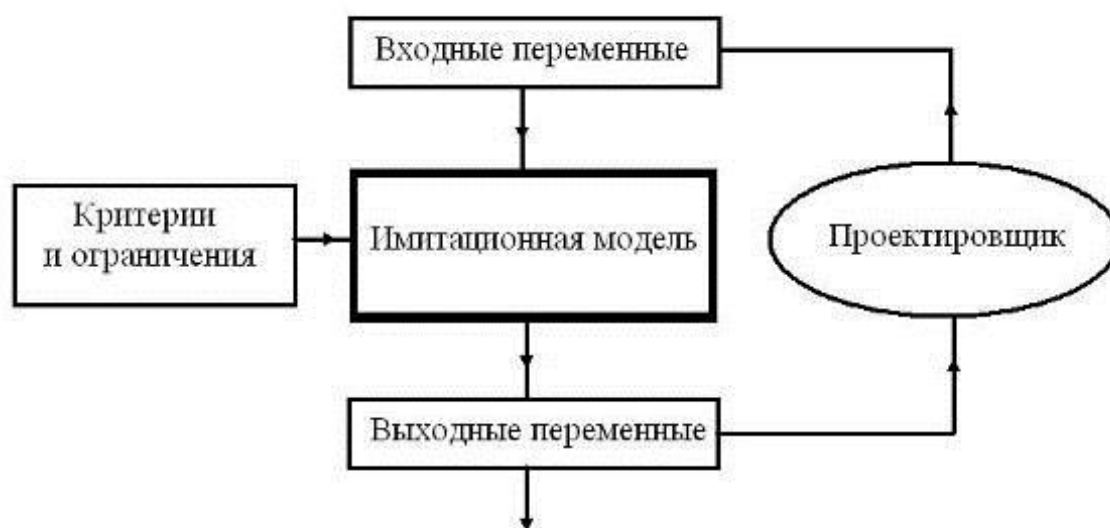


Рисунок 1.8 – Схема имитационной модели

Имитационное моделирование основано на прямом описании моделируемого объекта. Существенной характеристикой таких моделей является структурное подобие объекта и модели. Это значит, что каждому существенному с точки зрения решаемой задачи элементу объекта ставится в соответствие элемент модели. При построении имитационной модели описываются законы функционирования каждого элемента объекта и связи между ними.

Работа с имитационной моделью заключается в проведении имитационного эксперимента. Процесс, протекающий в модели в ходе эксперимен-

та, подобен процессу в реальном объекте. Поэтому исследование объекта на его имитационной модели сводится к изучению характеристик процесса, протекающего в ходе эксперимента.

Ценным качеством имитации является возможность управлять масштабом времени. Динамический процесс в имитационной модели протекает в так называемом системном времени. Системное время имитирует реальное время. При этом пересчет системного времени в модели можно выполнять двумя способами. Первый способ заключается в «движении» по времени с некоторым постоянным шагом. Второй способ заключается в «движении» по времени от события к событию, при этом считается, что в промежутках времени между событиями в модели изменений не происходит.

Теоретические математические модели создаются в результате исследования объектов (процессов) на теоретическом уровне. Например, существуют выражения для сил резания, полученные на основе обобщения физических законов. Но они не приемлемы для практического использования, т.к. очень громоздки и не совсем адаптированы к реальным процессам обработки материалов.

Эмпирические математические модели создаются в результате проведения экспериментов (изучения внешних проявлений свойств объекта с помощью измерения его параметров на входе и выходе) и обработки их результатов методами математической статистики.

Детерминированные математические модели описывают поведение объекта с позиций полной определенности в настоящем и будущем. Примеры таких моделей: формулы физических законов, технологические процессы обработки деталей и т.д.

Вероятностные математические модели учитывают влияние случайных факторов на поведение объекта, т.е. оценивают его будущее с позиций вероятности тех или иных событий. Примеры таких моделей: описание ожидаемых длин очередей в системах массового обслуживания, ожидаемых объемов выпуска сверхплановой продукции производственным участком, точности размеров в партии деталей с учетом явления рассеяния и т.д.

1.3.4 Формализация производственного процесса

Исходным моментом при формализации описания и последующего моделирования производственного процесса в ГПС является его представление в виде сложной системы, функционирующей как некое множество агрегатов, подчиненных решению единой задачи. Для формализации производственного процесса в ГПС необходимо предварительное изучение структуры составляющих его агрегатов, результатом чего является описание процесса, позволяющее определить количественные характеристики агрегатов, степень и характер взаимодействия между ними, место и значение каждого агрегата в производственном процессе. Содержательное описание производственного процесса в ГПС определяет параметры моделирования. Для этого необходимо: определить цель исследований; выделить рассмат-

риваемую ГПС как элемент некоторой системы, чтобы исследовать поведение ГПС как целого; выделить в ГПС составляющие ее элементы и формально их описать; изучить взаимодействие элементов ГПС.

Рассмотрим производственный процесс как совокупность операций, причем каждая из них характеризуется двояко. С одной стороны, производственная операция выполняется над заготовкой, представляющей собой элемент вещественного потока, преобразуемый в ходе производственного процесса. Понятие вещественного потока введено в связи с тем, что в ГПС изготовление деталей повторяется и все процессы возобновляются, в результате происходят постоянное поступление новых заготовок, инструмента, оснастки и выпуск готовых деталей. Структура вещественного потока, т. е. состав и последовательность в потоке его различных элементов, определяет последовательность выполнения производственных операций и тем самым структуру производственного процесса.

Выполнение операции требует определенных технических средств. Такими средствами являются: станки, инструменты, оснастка и др. Следовательно, описание элементов производственного процесса в ГПС и моделирование их функционирования сводится к формальному описанию и моделированию технологического оборудования и элементов вещественного потока.

Несмотря на разнообразие ГПС, отличающихся друг от друга функциональным назначением, уровнем автоматизации и другими параметрами, в них можно выявить общие признаки.

1 Структурно любая ГПС состоит из конечного множества технологических машин (ОЦ, транспортных средств, накопителей и др.) $TM \{TM1, TM2, \dots, TMS\}$, в которых реализуются технологические операции. Технологические машины представляют собой структурные элементы системы, т. е. агрегаты $A \{A1, A2, \dots, AS\}$.

2 ГПС включает конечное множество структурных связей $R \{r1, r2, \dots, rn, rn-k, \dots\}$ между агрегатами и внешними системами. Эти связи имеют разный характер и обеспечивают передачу заготовок, инструмента, изготовленных деталей, а также справочную и управляющую информацию между агрегатами, обеспечивая функционирование ГПС.

3 Каждый агрегат имеет вход и выход, служащие, соответственно, для приема и выдачи заготовок, деталей, инструмента и информации.

4 Агрегаты ГПС функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимодействии, при котором свойства одного агрегата зависят от условий, определяемых поведением других.

5 Все технологические операции являются конечными по времени.

6 ГПС функционирует во времени, взаимодействуя с внешней средой, и в каждый момент времени может находиться в одном из возможных состояний $S(t)$.

7 Продолжительность технологических операций $T \{l \in L\}$ по изготовлению различных деталей на различных агрегатах является случайной взаимно независимой величиной.

8 Момент поступления 1-й детали на j -й агрегат есть величина случайная.

9 Маршруты обработки деталей в ГПС есть множество возможных маршрутов $M \{M_1, M_2, \dots, M_S\}$.

10 Последовательность запуска заготовок для обработки может быть:

- детерминированной, когда вся последовательность поступления партий или отдельных заготовок в обработку предполагается заранее известной $n \{n_1, n_2, \dots, n_N\}$, т.е. фиксированной последовательностью, задаваемой подсистемой оперативного планирования;

- стохастической, являющейся реализацией случайного запуска из определенной совокупности партий или отдельных заготовок, определяемого требованиями сборки или неритмичностью заготовительного производства.

В качестве математического аппарата, наиболее просто и адекватно отображающего способы разбиения сложных систем на части, удобно использовать схему агрегатов и агрегатных систем, когда сложная система рассматривается как агрегатная, а ее элементы описываются в виде кусочно-линейных агрегатов $A \{A_1, A_2, \dots, A_S\}$. Введя понятие кусочно-линейных агрегатов (в дальнейшем – агрегатов) — своеобразных модулей, на которые можно разделять сложные динамические системы, можно строить модели таких систем в виде совокупности агрегатов, связанных между собой. Таким образом, при формализованном описании ГПС будем представлять ее как множество составляющих агрегатов, между которыми имеют место связи $R \{r_1, r_2, \dots, r_n, r_{n-k}, \dots\}$. Структуру ГПС принято изображать направленным или ненаправленным графом. Вершины графа обозначают технические средства (агрегаты), а ребра — отношения, связывающие агрегаты.

1.4 Средства моделирования

Рабочая программа. Применение сетей Петри. Свойства сетей Петри.

Потоки заявок и потоки обслуживания. Свойства потоков. Формула Литтла Размеченные графы состояния. Система уравнений Колмогорова. Расчет технологических параметров и эффективности применения различных структурных ГАП. Системы массового обслуживания.

Литература [1]с. 160-167.

1.4.1 Сети Петри

Сети Петри являются эффективным инструментом моделирования дискретных процессов. Они представляют собой графическое и математическое средство моделирования, применимое к системам самых различных типов. Их основными свойствами являются: мультипрограммность, параллелизм, асинхронность распределенных, параллельных, недетерминирован-

ных и/или стохастических систем обработки информации, и иерархичность моделируемых объектов. В качестве графического средства сети Петри могут использоваться для наглядного представления моделируемой системы, подобно блок-схемам, структурным схемам и сетевым графикам.

Сеть Петри представляется в виде

$$N = \{P, T, F, H, \mu\}, \quad (1.6)$$

где P – множество состояний технической системы;

T – множество событий (переходов);

F – матрица переходов событий в состояния $F : T \times P$;

H – матрица переходов из состояний в события $H : P \times T$;

μ – начальная маркировка сети (начальные условия).

В графическом представлении сети Петри представляют собой двудольный граф с двумя типами вершин (рисунок 1.9). Вершины $p \in P$ изображают кружками, а вершины $t \in T$ – черточками (барьерами). Дуги соответствуют функциям инцидентности событий и переходов.

При маркировке по всем позициям сети Петри приписываются некоторые натуральные числа $\mu : P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$. На графе маркировка отражается наличием или отсутствием в кружках точек, называемых маркерами. Сеть достижима если число маркеров в позиции состояния равно количеству инцидентностей выходящих из вершины событий.

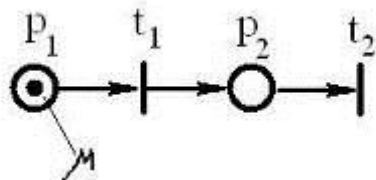


Рисунок 1.9 – Графическое представление сети Петри

Переход от одной маркировки к другой осуществляется посредством срабатывания переходов. Переход t может сработать только при маркировке μ , если он является возбужденным. Это означает, что в каждой позиции событий t число маркеров не меньше количества инцидентностей, соединяющих эту позицию с позицией состояний. В результате срабатывания перехода t , удовлетворяющего условию (маркировка μ заменяется маркировкой μ^*), т.е. в результате срабатывания из всех исходных позиций событий t изымается $F(p, t)$ маркеров и в каждую последующую позицию событий добавляется $H(t, p)$ маркеров. Это означает, что μ' достижима из μ и обозначается:

$$\mu^t \rightarrow \mu'. \quad (1.7)$$

Функционирование сети Петри – это последовательная смена маркировок в результате срабатывания возбужденных переходов.

Система переходов $\mu^t \rightarrow \mu'$ является условием достижимости.

Вводимое в сетях понятие маркер позволяет моделировать динамику функционирования систем и параллельные процессы. В качестве математического средства аналитическое представление сети Петри позволяет составлять уравнения состояния, алгебраические уравнения и другие математические соотношения, описывающие динамику систем.

Аппаратное обеспечение можно рассматривать на нескольких уровнях, и сети Петри могут моделировать каждый из этих уровней:

1 на нижнем уровне ЭВМ построены из простых устройств памяти и вентилях.

2 на среднем уровне в качестве основных компонент системы используются функциональные блоки и регистры.

3 на верхнем уровне целые вычислительные системы могут быть компонентами сети ЭВМ.

Сильным свойством сетей Петри является их способность моделировать каждый из этих уровней. Сети Петри наиболее часто применяются при составлении программного обеспечения

1.4.2 Теория систем массового обслуживания

Системой массового обслуживания (СМО) называется любая система, предназначенная для обслуживания каких-либо заявок (требований на обработку), поступающих в случайные моменты времени.

Примерами СМО являются телефонная станция, гибкий производственный модуль, автоматизированный склад. Теория систем массового обслуживания занимается изучением случайных процессов, протекающих в СМО.

Любое устройство, непосредственно занимающееся обслуживанием заявок, называется **каналом обслуживания**. СМО бывают как одно-, так и многоканальные. Примером одноканальной СМО является гибкий производственный модуль с одним ОЦ; а пример многоканальной – тот же ГПМ в состав структуры которого входят несколько станков обслуживаемых одним роботом.

Различают СМО **с отказами**, **с очередью** и **смешанные**. В СМО с отказами заявка, пришедшая в момент, когда все каналы заняты, получает отказ и покидает систему. В СМО с очередью заявка, пришедшая в момент занятости всех каналов, не покидает систему, а становится в очередь и ждет, пока не освободится какой-нибудь канал. Смешанные СМО включают элементы очереди предыдущих.

В практике механообработки преимущественно применяются системы с очередью и смешанные. Число мест в очереди может быть как **ограниченным**, так и **неограниченным**. Так в межоперационном накопителе

всегда имеется конечное число ячеек (т.е. очередь ограничена), а автоматизированном складе, в силу непрерывного поступления и выдачи деталей, очередь неограниченна.

Совокупность событий, следующих один за другим в какие-то случайные интервалы времени на обработку (или с обработки), называется **поток событий**. Различают потоки заявок и потоки обслуживания. Потоки имеют вероятностные характеристики, а у отдельно взятого события в потоке таких характеристик нет. Количественно они характеризуются интенсивностью потока заявок λ и интенсивностью потока обслуживания, μ , которые определяются:

$$\lambda = \frac{1}{t_3}, \quad \mu = \frac{1}{t_{об}} \quad (1.8),$$

где t_3 и $t_{об}$ средний интервал времени появления заявок на входе и среднее время обслуживания соответственно.

Потоки событий различаются по своим характеристикам, поэтому введено понятие **виды случайных потоков**.

Стационарный поток – это случайный поток, в котором вероятностные характеристики неизменны во времени.

Пусть $(t_0, t_0 + 1)$ – произвольный промежуток времени. Вероятность того, что в нем произойдет k событий ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$) зависит от длины t и не зависит от начального момента времени. Вероятность этого составит $\omega_R(t)$. Здесь не указывают начальный момент времени t_0 , а только длину промежутка t .

Ординарный поток – это поток, в котором события появляются поодиночке, а не группами.

Обозначим через $P(t)$ вероятность того, что в произвольном промежутке t произойдут не менее двух событий:

$$P(t) = \omega_2(t) + \omega_3(t) + \dots \quad (1.9)$$

На основании нормировочного условия (полной группы событий):

$$\omega_0(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t) + \dots = 1, \quad (1.10)$$

тогда

$$P(t) = 1 - \omega_0(t) - \omega_1(t). \quad (1.11)$$

Будем предполагать, что $P(t)$ при бесконечно малых t есть бесконечно малая величина высшего порядка, т.е., что

$$\frac{P(t)}{t} \rightarrow 0 \text{ при } t \rightarrow 0, \quad (1.12)$$

поэтому события не могут появляться группами.

Поток без последствий – так называется поток, если для двух непересекающихся участков времени τ_1 и τ_2 число событий, попадающих на один из них, не зависит от того, сколько событий попадает на другой.

Пусть $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$ рассмотрим последовательные промежутки времени $(t_0, t_1), (t_1, t_2), (t_2, t_3), \dots, (t_{n-1}, t_n)$, не накладывающиеся друг на друга. Через $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ обозначим число событий наступающих в эти промежутки. Общий поток обладает вероятностными характеристиками, которые состоят из вероятностных характеристик потоков в промежутках. Поэтому число событий в каждом промежутке являются случайными величинами независимыми друг от друга.

Регулярный поток – это поток, в котором события следуют одно за другим через определенные промежутки времени. Этот случай характерен для автоматических линий, где детали перемещаются по конвейеру через равные промежутки времени, которые определяются тактом автоматической линии. Для мелкосерийного производства такой вид потока не характерен.

Простейший поток (или Пуассоновский) – это поток, который обладает тремя свойствами: стационарности, ординарности, не имеет последствий. Он подчиняется закону Пуассона с плотностью вероятности:

$$f(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!}, \quad (1.13)$$

где e – основание натурального логарифма;

λ – интенсивность потока;

t – время;

m – количество состояний системы.

Изучение потоков событий показало, что они чаще всего являются пуассоновскими. Это означает, что сам поток является **стационарным, неординарным и без последствий**, а интервалы времени между событиями в потоках имеют **показательное (пуассоновское) распределение** с параметром, равным интенсивности соответствующего потока. В теории СМО их называют **простейшими потоками**.

В простейшем потоке математическое ожидание M равняется среднему квадратическому отклонению σ .

$$M = \sigma = \frac{1}{\lambda} \quad (1.14)$$

Это равенство позволяет разрабатывать несложные формулы для расчетов технологических параметров ГПС.

Если все потоки событий простейшие, то процесс, протекающий в СМО, представляет собой марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем [1]. В них, при выполнении некоторых условий, существуют финальные стационарные режимы, при которых как вероятности состояний, так и другие характеристики процесса не зависят от времени. Принято, что состояние, в котором находится СМО, обо-

значается S_n , а соответствующая ему финальная вероятность – P_n . Переход из одного состояния в другое осуществляется под действием потоков λ или μ .

1.4.2.1 Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний

Задачей исследования потоков событий является поиск вероятностей состояний, в которых может находиться система. По вероятностям состояний можно рассчитать количество деталей в очереди и в цеху, время ожидания в очередях, коэффициенты загрузки оборудования и другое.

Рассмотрим ГАУ из двух ОЦ. Такой ГАУ может иметь четыре состояния с соответствующими вероятностями:

- состояние S_0 с вероятностью $P_0(t)$ – ни один ОЦ не работает;
- состояние S_1 с вероятностью $P_1(t)$ – работает только первый ОЦ;
- состояние S_2 с вероятностью $P_2(t)$ – работает только второй ОЦ;
- состояние S_3 с вероятностью $P_3(t)$ – работают оба ОЦ.

Очевидно, что $\sum P_i(t) = 1$ – в теории систем СМО это называется **нормировочным условием** (напомним, что в теории вероятности это называется полной группой событий).

В размеченном графе состояний переход из состояния в состояние проходит под действием потока заказов с интенсивностью λ или потока обслуживания с интенсивностью μ . Размеченный граф состояний приведен на рисунке 1.10.

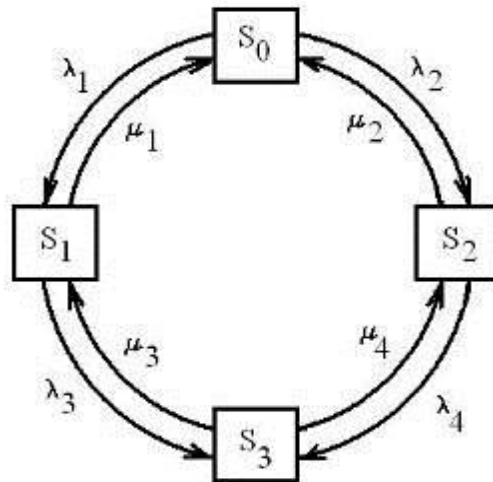


Рисунок 1.10 – Размеченный граф состояний

Для вывода системы уравнений Колмогорова рассмотрим часть размеченного графа состояний у состояния S_0 . Дадим приращение для t , равное Δt , и получим: $P_0(t + \Delta t)$. Это может быть в двух случаях:

1 в момент t система была в состоянии S_0 , а за время Δt не вышла из этого состояния;

2 в момент t система была в состоянии S_1 , а за время Δt перешла в состояние S_0 .

Случай 1. Если вероятность того, что система выйдет из состояния S_0 за время Δt

$$P(t) = (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t,$$

то вероятность, что она не выйдет из S_0 (из уравнения полной группы событий):

$$P(t) = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t.$$

Отсюда:

$$P(t) = P_0(t)(1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t).$$

Случай 2. Вероятность второго случая состоит из вероятности S_1 и вероятности перехода из S_1 в S_0 :

$$P(S_1 \rightarrow S_0) = P_1(t)\mu\Delta t$$

Т.к. потоки имеют одинаковые характеристики, то вероятность $P_0(t + \Delta t)$ найдем сложением независимых потоков событий:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t)(1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t) + P_1(t)\mu\Delta t,$$

раскроем скобки и разделим на Δt :

$$\frac{P_0(t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{P_0(t)}{\Delta t} - \frac{P_0(t)(\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t}{\Delta t} + \frac{P_1(t)\mu\Delta t}{\Delta t},$$

решим уравнение

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = P_1(t)\mu - (\lambda_1 + \lambda_2)P_0(t)$$

Слева – производная. Поэтому, рассуждая аналогично:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_1 P_1 - (\lambda_1 + \lambda_2)P_0(t) \quad (1.15)$$

Это и есть первое уравнение системы Колмогорова. Остальные уравнения можно получить, пользуясь следующим правилом:

Левая часть – производная вероятности событий.

Правая часть – сумма произведений вероятностей всех состояний, из которых идут стрелки в данное составление, умноженное на интенсивности соответствующих потоков событий, минус суммарная интенсивность всех потоков, выводящих систему из данного состояния, умноженная на вероятность данного состояния.

Получим систему уравнений Колмогорова для размеченного графа, представленного на рисунке 1.10:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = \mu_1 P_1 + \mu_2 P_2 - (\lambda_1 + \lambda_2) P_0 \\ \frac{dP_1}{dt} = \lambda_1 P_0 + \mu_2 P_3 - (\lambda_2 + \mu_1) P_1 \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_2 P_0 + \mu_1 P_3 - (\lambda_1 + \mu_2) P_2 \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_2 P_1 + \lambda_1 P_2 - (\mu_1 + \mu_2) P_3 \end{cases} \quad (1.16)$$

В практической деятельности неудобно пользоваться дифференциальными уравнениями, поэтому исследуем систему для получения алгебраического уравнения.

Зададим начальные условия. Если мы знаем точно, что система находится в каком состоянии S_i , то тогда при $t = 0$ $P_i(0) = 1$. Другие вероятности в этой системе будут равны нулю.

Например: если при $t = 0$ $P_0(0) = 1$, то $P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = 0$.

Второе условие: при $t \rightarrow \infty$ система стремится к пределам $P_i(t)$.

В теории случайных процессов доказано: если число состояний n конечно, и из каждого из них (за конечное число шагов) можно перейти в любое другое, то финальные вероятности существуют.

Поэтому $\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = P_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Если количество испытаний стремится к бесконечности, то $P_i \rightarrow \text{const}$, а $\frac{dP_i}{dt} = 0$. При этом переходим к алгебраическим уравнениям:

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2) P_0 = \mu_1 P_1 + \mu_2 P_2 \\ (\lambda_2 + \mu_1) P_1 = \lambda_1 P_0 + \mu_2 P_3 \\ (\lambda_1 + \mu_2) P_2 = \lambda_2 P_0 + \mu_1 P_3 \\ (\mu_1 + \mu_2) P_3 = \lambda_2 P_1 + \lambda_1 P_2 \end{cases} \quad (1.17)$$

Из системы уравнений Колмогорова, как правило, определяются финальные вероятности. Полученные уравнения однородны, поэтому вместо одного из уравнений нужно поставить нормировочное условие $\sum P_i = 1$.

1.4.2.2. Формула Литтла и построение моделей СМО.

Уравнением Колмогорова удобно пользоваться для моделирования небольших станочных систем. Однако, если в ГАУ количество ОЦ будет больше двух, то система уравнений получается довольно громоздкой. Вместе с тем, при моделировании процессов не всегда важно знать, какие каналы работают одновременно. Поэтому можно воспользоваться графом «гибели-размножения», который представлен на рисунке 1.11.

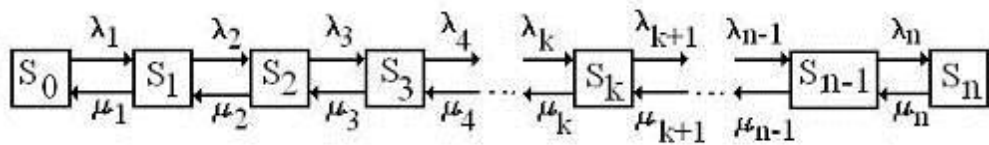


Рисунок 1.11 – Граф «гибели-размножения»

Нашей задачей, как и прежде, будет поиск финальных вероятностей и связей между потоками событий и временем пребывания в очереди.

Пользуясь графом «гибели-размножения», составим и решим уравнение для финальных вероятностей. Для первого, второго и последующих переходов уравнения будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 P_0 = \mu_1 P_1 \\ \lambda_2 P_1 = \mu_2 P_2 \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_k P_{k-1} = \mu_k P_k \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_n P_{n-1} = \mu_n P_n \end{array} \right.$$

Найдем P_1 из первого уравнения:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} P_0. \quad (1.18)$$

Из второго уравнения найдем P_2 :

$$P_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_1 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\mu_1 \cdot \mu_2} P_0. \quad (1.19)$$

Рассуждая аналогично, получим уравнение для $\mathbf{P}$:

$$P_K = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_n}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n} P_0 \quad (1.20)$$

Подставим значение P_1 в нормировочное условие $\sum_{i=1}^n P_i = 1$ и получим:

$$P_0 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\mu_1 \cdot \mu_2} + \dots + \frac{\lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_n}{\mu_1 \cdot \dots \cdot \mu_n} \right) = 1,$$

Отсюда найдем P_0 :

$$P_0 = \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\mu_1 \cdot \mu_2} + \dots + \frac{\lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_n}{\mu_1 \cdot \dots \cdot \mu_n} \right)^{-1}. \quad (1.21)$$

Таким образом, определены все финальные вероятности $P_0 \dots P_n$. Следует помнить, что интенсивности потоков заказов и обслуживания величины известные, так как известны нормы времени обработки деталей на ОЦ и дисциплина поступления деталей со склада в ГАУ.

Теперь можно найти уравнения для расчета количества заявок в СМО и время их обслуживания.

Рассмотрим любой гибкий автоматизированный участок. Обозначим через $X(t)$ – количество заявок пришедших в систему, а через $Y(t)$ – количество заявок обслуженных в системе. Заявки приходят и обслуживаются, как показано на рисунке 1.12.

Очевидно, что заштрихованная часть графика являет той частью заявок, которые остались не обслуженными. Остаток заявок найдем так:

$$Z(t) = X(t) + Y(t). \quad (1.22)$$

Если рассмотреть продолжительный период T и вычислить для него среднее число заявок, то оно равно:

$$Z_{сис} = \frac{1}{T} \int_0^T Z(t) dt. \quad (1.23)$$

Если период T достаточно большой, но конечный, то можно перейти от знака интеграла к знаку суммы:

$$Z_{cuc} = \frac{1}{T} \sum_i t_i \cdot \frac{\lambda}{\lambda}.$$

Помножим правую часть на $\frac{\lambda}{\lambda}$ и перегруппируем уравнение:

$$Z_{cuc} = \frac{1}{T\lambda} \sum_i t_i \lambda,$$

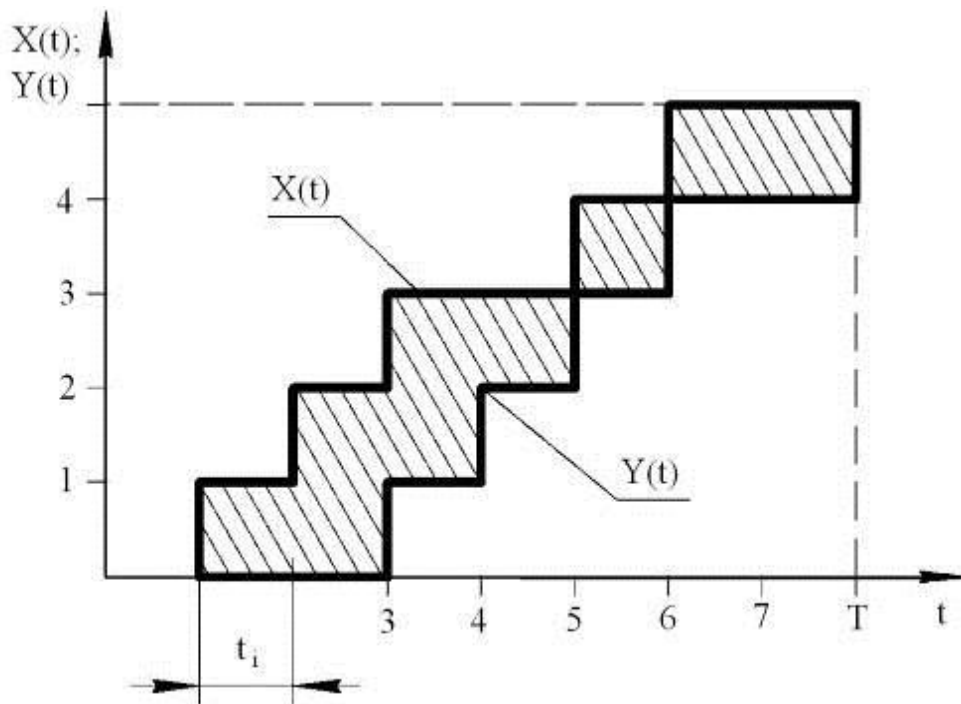


Рисунок 1.12 – Обслуживание заявок в СМО

В полученном уравнении $T\lambda$ – является средним числом заявок, приходящих за элементарный промежуток времени T , а $t_{cuc} = \frac{t_i}{T\lambda}$ – является средним временем пребывания заявки в очереди. После преобразований получим:

$$Z_{cuc} = \lambda \cdot t_{cuc}, \quad (1.24)$$

откуда:

$$t_{cuc} = \frac{1}{\lambda} Z_{cuc}. \quad (1.25)$$

Это формула Литтла. При помощи ее, в дальнейшем, будем находить связь между количеством заявок в системе временем пребывания в системе.

Рассуждая аналогично можно получить формулу Литтла для случая ожидания заявок в очереди:

$$t_{оч} = \frac{1}{\lambda} Z_{оч}. \quad (1.26)$$

1.4.2.3 Построение моделей на основе теории СМО

На начальном этапе создания модели следует представить рассматриваемый процесс в виде СМО, для чего необходимо: выявить элементы, выполняющие роль канала обслуживания (ОЦ, транспортное средство, ремонтная бригада и др.); определить характер и параметры входного потока и потока обслуживания; определить возможность образования очереди и характер ее обслуживания; определить порядок прохождения заявок через каналы обслуживания, т.е. структуру СМО с многими каналами обслуживания; оформить модель системы графически.

На следующем этапе выполняется математическое описание работы модели СМО, для чего необходимо выполнить перечисленные действия.

1 Составить перечень состояний СМО. В любой момент времени СМО может быть в одном из состояний, определяемом по числу заявок, находящихся в системе. Определить направление перехода СМО из состояния в состояние.

2 Построить граф состояний.

3 Определить параметры потоков λ и μ Проверить потоки на стационарность, ординарность и отсутствие последствий. В случае отсутствия одного из свойств потока следует преобразовать условия задачи.

4 Разметить граф состояний, для чего каждой вершине графа приписать вероятность P , т.е. вероятность нахождения системы в одном из состояний, а каждой инцидентности присвоить значение интенсивности.

5 Составить уравнения вероятностей по размеченному графу состояний.

6 Обосновать существование установившегося режима работы СМО. Установившийся режим работы, наблюдается, если отношение $\rho = \lambda/\mu$, называемое коэффициентом загрузки канала, меньше единицы. Иными словами, устойчивый режим работы системы возможен, если среднее число заявок на обслуживание, поступающих в систему в единицу времени, меньше среднего числа заявок, обслуживаемых каналом обслуживания. В противном случае очередь будет неограниченно расти.

7. Решить уравнений относительно вероятностей P_i и определить требуемые технологические характеристики работы СМО.

1.4.2.3 Многоканальная СМО с отказами

Рассмотрим работу межоперационного накопителя с n позициями (каналами) для хранения заготовок. В накопитель приходят заготовки с интенсивностью λ , и уходят из накопителя в ОЦ с интенсивностью μ .

Требуется найти технологические параметры работы накопителя: вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$, относительную производительность накопителя Q , коэффициент загрузки накопителя K .

В данном случае это многоканальная система, в которой $n + 1$ заявка не будет обслужена, так как количество позиций в накопителе n .

Система может быть в следующих состояниях:

- состояние S_0 с вероятностью P_0 – накопитель свободен;
- состояние S_1 с вероятностью P_1 – занята одна позиция;
- состояние S_k с вероятностью P_k – занято k позиций;
- состояние S_n с вероятностью P_n – заняты все n позиций.

Граф системы представлен на рисунке 1.13.

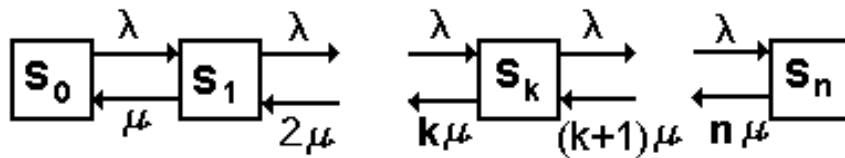


Рисунок 1.13 – Граф многоканальной системы с отказами

По формуле 1.21 определяем P_0 :

$$P_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2\mu^2} + \frac{\lambda^3}{2 \cdot 3\mu^3} + \frac{\lambda^4}{2 \cdot 3 \cdot 4\mu^4} + \dots + \frac{\lambda^K}{K! \cdot \mu^K} + \dots + \frac{\lambda^n}{n! \cdot \mu^n} \right)^{-1}$$

Члены разложения ряда при P_0 будут:

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0; \quad P_2 = \frac{\lambda^2}{2\mu^2} P_0; \quad P_n = \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} P_0.$$

Введем обозначение: $\frac{\lambda}{\mu} = \rho$. Это приведенная интенсивность потока заявок или коэффициент загрузки канала. Тогда финальные вероятности будут:

$$P_0 = \left(1 + \rho + \frac{\rho^2}{2} + \frac{\rho^n}{n!} \right)^{-1} . \quad (1.27)$$

$$P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0$$

Это формулы Эрланга, которые были выведены для расчета любых многоканальных систем с отказами.

Отказ будет в том случае, если все n каналов заняты:

$$P_{отк} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0 . \quad (1.28)$$

Относительная производительность (доля принятых заготовок от количества пришедших заготовок в накопитель из системы) составит:

$$Q = 1 - P_{отк} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0 . \quad (1.29)$$

Абсолютная производительность составит:

$$A = \lambda Q = \lambda \left(1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0 \right) \quad (1.30)$$

Среднее количество занятых каналов (коэффициент загрузки) составит:

$$\bar{K} = \frac{A}{\mu} = \rho \left(1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0 \right) \quad (1.31)$$

Для СМО с отказами и ограниченными очередями среднее количество занятых каналов можно определить по формуле:

$$K = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 + \dots + n \cdot P_n \quad (1.32)$$

Задачи с многоканальными системами с отказами характерны при расчетах УВК, системах АСУ, межоперационных накопителей.

1.4.2.5 Одноканальная СМО с неограниченной очередью

Рассмотрим работу ГПМ без межоперационного накопителя, который снабжается заготовками непосредственно из цехового склада. В ГПМ приходят заготовки с интенсивностью λ , и уходят из ГПМ в склад с интенсивностью μ .

Требуется найти технологические параметры работы ГПМ: количество заготовок в системе $Z_{\text{сис}}$, количество заготовок в очереди $Z_{\text{оч}}$, время пребывания заготовок в системе и очереди $t_{\text{сис}}$ и $t_{\text{оч}}$, коэффициент загрузки ГПМ K .

В данном случае это одноканальная система, а, поскольку, она снабжается со склада, в котором устанавливается динамическое равновесие между ушедшими и пришедшими заготовками, то очередь будет неограниченной.

Система может быть в следующих состояниях:

- состояние S_0 с вероятностью P_0 – ГПМ свободен;
- состояние S_1 с вероятностью P_1 – ГПМ обрабатывает заготовку, очереди нет;
- состояние S_2 с вероятностью P_2 – ГПМ обрабатывает заготовку и одна заготовка стоит в очереди;
- состояние S_k с вероятностью P_k – ГПМ обрабатывает заготовку и $k-1$ заготовок стоит в очереди.

Граф системы представлен на рисунке 1.14

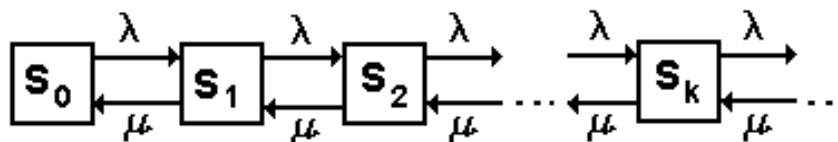


Рисунок 1.14 – Граф одноканальной системы с неограниченной очередью

Проверим систему на существование установившегося режима работы. Если $\rho < 1$ – режим работы установившийся и финальные вероятности существуют, а если $\rho \geq 1$ – нет установившегося режима работы. При этом очередь в складе растёт до бесконечности. Интересным является случай при $\rho = 1$. В этом случае ГПС работоспособна только в случае регулярного потока (например – автоматическая линия). В противном случае очередь растёт до бесконечности.

Финальная вероятность P_0 определяется по формуле 1.21:

$$P_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^K + \dots \right)^{-1}.$$

Заменим $\frac{\lambda}{\mu} = \rho$ и получим:

$$P_0 = \left(1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^K + \dots \right)^{-1}.$$

Уравнение 1.33 представляет собой бесконечный ряд геометрической прогрессии. При $\rho < 1$ геометрическая прогрессия сходится и имеет решение, а при $\rho \geq 1$ геометр. прогрессия расходится и решения не имеет.

Сумма сходящейся геометрической прогрессии составит:

$$1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^K + \dots = \frac{1}{1 - \rho}.$$

Отсюда

$$P_0 = \left(\frac{1}{1 - \rho} \right)^{-1} = 1 - \rho. \quad (1.33)$$

Вероятности $P_0, P_1 \dots P_K$ найдём:

$$P_1 = \rho \cdot P_0 ; P_2 = \rho^2 \cdot P_0 \dots P_K = \rho^K \cdot P_0 ,$$

или

$$P_1 = \rho(1 - \rho) ; P_2 = \rho^2(1 - \rho) \dots P_K = \rho^K(1 - \rho) . \quad (1.34)$$

Как видно, вероятности $P_0, P_1 \dots P_K$ образуют геометрическую прогрессию со знаменателем ρ . Вероятность P_0 из них максимальна. Другими словами, если система справляется с работой, то вероятное число заявок в системе стремится к 0.

Определим среднее количество заготовок (заявок) в системе. Математическое ожидание количества заготовок составит:

$$Z_{сис} = 0 \cdot P_0 + 1P_1 + 2P_2 + \dots + kP_K + \dots = \sum_{K=1}^{\infty} kP_K .$$

Подставим значение P_K :

$$Z_{сис} = \sum_{K=1}^{\infty} k\rho^K(1 - \rho) .$$

Вынесем $\rho(1 - \rho)$ и получим:

$$Z_{сис} = \rho(1 - \rho) \sum_{K=1}^{\infty} k\rho^{K-1} .$$

Член $k\rho^{K-1}$ является производной ρ^K :

$$Z_{cuc} = \rho(1-\rho) \sum_{K=1}^{\infty} \frac{d}{d\rho} \rho^K.$$

Меняем операции суммы и производной:

$$Z_{cuc} = \rho(1-\rho) \frac{d}{d\rho} \sum_{K=1}^{\infty} \rho^K.$$

Сумма $\sum_{k=1}^{\infty} \rho^k$ есть сумма бесконечно убывающей геометрической прогрессии с первым членом ρ и знаменателем ρ . Ее сумма равна: $\sum_{K=1}^{\infty} \rho^K = \frac{\rho}{1-\rho}$, а её производная равна $\frac{1}{(1-\rho)^2}$.

Подставляем производную в формулу расчета количества заготовок в системе и получим:

$$Z_{cuc} = \rho(1-\rho) \frac{1}{(1-\rho)^2} = \frac{\rho}{1-\rho}. \quad (1.35)$$

По формуле Литтла:

$$t_{cuc} = \frac{1}{\lambda} \cdot Z_{cuc} = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)}. \quad (1.36)$$

Для нахождения Z_{cuc} и $Z_{оч}$ сначала определяем вероятность занятости канала $P_{заг}$. Очевидно, что число заявок в очереди равно числу заявок в системе минус число заявок, находящихся на обслуживании.

$$Z_{оч} = Z_{cuc} - Z_{обсл}.$$

Число заявок на обслуживании может принимать значения 0 или 1 (канал свободен или занят). Математическое ожидание в этом случае равно $P_{заг}$. Следовательно:

$$P_{заг} = 1 - P_0 = \rho.$$

Поэтому, $Z_{обсл} = P_{заг} = \rho$. Отсюда:

$$Z_{оч} = Z_{cuc} - \rho = \frac{\rho}{1-\rho} - \rho = \frac{\rho^2}{1-\rho}. \quad (1.37)$$

По формуле Литтла время пребывания заявки в очереди составит:

$$t_{оч} = Z_{оч} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{\rho^2}{\lambda \cdot (1 - \rho)}. \quad (1.38)$$

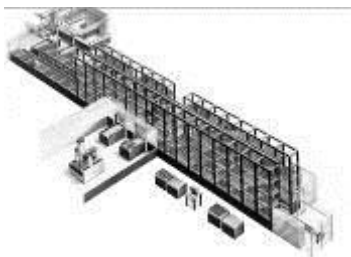
Коэффициент загрузки ГПМ составит:

$$K = \frac{\lambda}{\mu} = \rho. \quad (1.39)$$

В одноканальных системах с неограниченной очередью относительная производительность равна 1, а абсолютная производительность равна λ .

Другие виды систем массового обслуживания можно рассчитать по аналогии с приведенным СМО.

МОДУЛЬ 2



СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГПС

В модуле 2 предусмотрено:

- изучение теоретического материала. Темы 2.1, 2.2, 2.3;
- выполнение лабораторных работ 3 и 4;
- выполнение тестов 3 и 4.

Система контроля и оценивания студентов приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Система контроля и оценивания студентов

Контрольная точка	Критерии оценивания	Оценка	Рейтинг	Национальная оценка
Лабораторная работа 3	Полный ответ	A	50	5
	Каждый неверный ответ снижает рейтинг на 5 балла	B	40	4
		C	30	4
		D	20	3
		E	15	3
	Ответы не верны	FX	-	-
Лабораторная работа 4	Нет ответов	F	-	-
	Повні відповіді	A	50	5
	Кожна невірна відповідь знижує рейтинг на 3 бали	B	40	4
		C	30	4
		D	20	3
		E	15	3
	Ответы не верны	FX	-	-
	Нет ответов	F	-	-

Общее количество баллов за модуль – 100. Коэффициент – 0,4

2.1 Технологическая система и оборудование ГПС

Рабочая программа. Общая характеристика оборудования ГАП. Классификация технологического оборудования. Требования к технологическому оборудованию. ГПМ для механической обработки и сборки и их характеристики и требования к ним. Основные направления развития ГПМ. Многоцелевые станки. Многоцелевые сборочные ГПМ. Агрегатные станки. Принципы модульного построения оборудования ГПС.

Литература: [1]с.188-194; [2]с.86-102.

Состав станков в ГПС зависит, прежде всего, от технологического назначения системы для обработки деталей определенного типа. Проектированию набора и компоновки станочного оборудования обычно предшествуют работы по классификации обрабатываемых деталей, разделению их на группы, созданию технологических процессов на основе принципов групповой технологии. Станочный парк гибкой системы должен полностью обеспечивать технологические потребности обработки группы деталей, для которой проектируется эта система. Кроме того, он должен обладать запасом технологических возможностей, под которым подразумевается возможное расширение номенклатуры обрабатываемых деталей в связи с изменчивостью производства. Только в этих условиях будет соблюдаться принцип сохранения живучести гибкой системы.

Технологическое оборудование для ГПС выбирают исходя из технологических особенностей обработки деталей на конкретном предприятии с учетом способа получения заготовок, размеров, материалов и формы обрабатываемых деталей, требуемой точности и качества обработанных поверхностей, размеров партий запуска и годовых программ.

В состав гибких систем обработки входят, как правило, гибкие производственные модули (обрабатывающие центры). Иногда в систему включают универсальные и автоматизированные станки для выполнения операций подготовки баз и доводочных операций. В гибкие комплексы включают 2...25 станков, причем количество и качественный набор их диктуются технологическими потребностями системы. Для повышения живучести комплексов предусматривают предпочтительное включение однотипных станков или станков-дублеров. Общее количество станочного оборудования также определяется возможностями управляющей ЭВМ. При небольшом числе станков ее использование окажется неэффективным, а при чрезмерно большом (более 20) усложняется система управления гибким комплексом.

В соответствии с принципами построения ГПС, к основному технологическому оборудованию предъявляют следующие требования: возможность обработки в автоматическом режиме широкой номенклатуры деталей при максимальной концентрации операций, что позволяет сократить количество оборудования и число переустановок, улучшить качество обработки и сократить продолжительность производственного цикла; необходимость

увязывать технологические базы заготовок с оборудованием и оснащением; выполнение принципа постоянства баз при переходе на другой станок; обеспечение работы оборудования в автоматическом цикле; возможность быстрой переналадки оборудования при смене объекта производства; компоновочная и программная стыковка оборудования с транспортно-складскими системами и измерительными установками.

Для использования ОЦ в составе ГПС необходимы конструктивные, технологические и организационные решения, направленные на автоматизацию закрепления заготовок, смены инструмента, контроля качества обработки, контроля за износом и поломкой инструмента, удаления стружки из зоны резания, очистки базовых и установочных поверхностей приспособлений, закрытия зоны резания, диагностики неисправностей основных механизмов и др.

Общий подход к подготовке ОЦ заключается в том, чтобы обеспечить их работу в течение двух-трех смен по выпуску качественных деталей без участия оператора (с многостаночным надзором).

Подключение станка к транспортным системам предусматривает оснащение его устройствами автоматизированной подачи заготовок и удаления готовых деталей (зачастую осуществляемую промышленным роботом), подачи требуемого инструмента и удаления изношенного, подачи СОЖ и удаления стружки, ввода управляющей программы (УП).

Оснащение станка комплексом средств обеспечения надежной работы предусматривает применение устройств автоматического контроля размеров и введения необходимых коррекций в УП обработки, поломки и износа инструмента, условий резания, времени работы, инструмента и сопоставления его с гарантированным сроком годности, а также устройств адаптивного управления, предохраняющих станок от перегрузки и обеспечивающих его автоматическую наладку.

Наиболее удобными для использования в ГПС являются обрабатывающие центры, позволяющие эффективно использовать принципы концентрации операций постоянства баз, осуществить последовательную и одновременную обработку многими инструментами.

ОЦ для обработки корпусных деталей оснащают столами-спутниками, которые с нижней стороны имеют унифицированный профиль, позволяющий точно и прочно фиксировать стол-спутник с закрепленной на нем деталью на станине ОЦ.

Подачу заготовок и удаление готовых деталей на токарные ОЦ осуществляют обычно без спутников, применяя специальные роботы и накопители.

Для подачи и удаления инструмента применяются магазины инструментов, емкость которых достаточна для обработки в течение нескольких детапеустановок, а также используются сменные магазины инструментов по принципу: одно наименование детали — один магазин.

При создании многоцелевых станков стремятся увеличить вместимость инструментальных магазинов путем установки сдвоенных магазинов

либо путем организации инструментального склада, полностью автоматизировать смену инструмента с помощью различных манипуляторов, применять кассетные инструментальные магазины с большой вместимостью и компактностью, автоматизировать контроль качества и диагностики состояния инструмента, оснастить станки многопозиционными устройствами смены приспособлений-спутников, связанных с накопителями или с центральным складом, увеличивать количество одновременно участвующих в работе шпинделей, расширить круг выполняемых операций посредством добавления к сверлильно-фрезерно-расточным токарным и шлифовальным; переводить рабочие шпиндели с вертикального в горизонтальное положение и наоборот.

Модернизация конструкций ОЦ способствует расширению возможности встраивания их в ГПС.

Одним из наиболее элементарных компонентов ГПС является гибкий производственный модуль, который представляет собой ОЦ, оборудованный автоматизированными устройствами загрузки заготовок, удаления обработанных деталей и накопителем заготовок и деталей. Такой ОЦ должен обрабатывать различные детали, а также иметь устройство, определяющее сроки службы инструментов, ставить диагноз неполадок в работе.

Формирование гибких производственных модулей на базе токарных ОЦ производят путем применения специализированных роботов-автооператоров, а также накопителей заготовок и деталей. Технологические возможности токарных ОЦ, как правило, шире чем у станков с ЧПУ. Некоторые виды обработки представлены на рисунке 2.1.

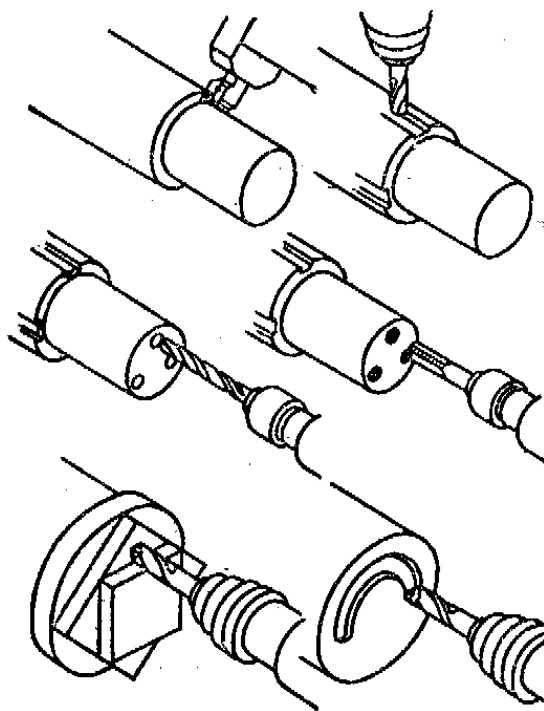


Рисунок 2.1 – Операции, выполняемые на токарных ОЦ

Модули на базе ОЦ предназначены для обработки деталей призматической формы типа корпусов, плит сложной криволинейной формы, дисков, рычагов и обеспечивают одновременную обработку деталей с разных сторон фрезерованием, сверлением, растачиванием, нарезанием резьбы в автоматическом режиме. Управление осуществляется от устройства ЧПУ типа *CNC* и обеспечивает высокую точность позиционирования. Детали закрепляют на спутниках, что дает возможность, применяя транспортные роботы, легко встраивать станочный модуль в гибкую производственную систему.

Основными направлениями развития единичных модулей являются: увеличение их технологических возможностей путем расширения объема инструментальных магазинов и способов крепления деталей, снижение потерь вспомогательного времени в результате совершенствования транспортно-загрузочных устройств, унификация отдельных элементов станочных модулей (управляющих и транспортно-накопительных систем), способствующая широкому применению модулей при создании гибких систем более высокого уровня.

Токарные ОЦ создают на базе одношпиндельных токарных станков с ЧПУ, оснащенных промышленными роботами. Применение порталных роботов позволяет создавать ОЦ меньшего габарита, устанавливать на портале одно- и многорукие роботы, выполняющие, кроме загрузки-выгрузки заготовок, смену неподвижного и вращающегося инструмента, кулачков патронов или самих патронов; обеспечивает доступ в рабочую зону станка с фронтальной стороны. Функциональные возможности порталных роботов могут быть расширены с помощью устройств автоматической смены захватов, а также путем использования совместно с робокарами.

Перспективными являются ГПС на базе токарных ОЦ, инструментальные головки которых оснащены вращающимися инструментами, благодаря чему появляется возможность при неизменной установке детали помимо основных токарных операций выполнять различные вспомогательные отделочные операции.

Токарные ГПМ, входящие в состав ГПС, оснащают устройствами автоматической смены кулачков патрона, самих патронов или сменной их части, которую монтируют на детали вне станка.

Наибольшего эффекта при создании гибких систем достигают путем использования агрегатно-модульного принципа построения технологического и вспомогательного оборудования. Это обеспечивает:

- увеличение гибкости при построении компонентов и систем в целом;
- возможность перехода к типовому проектированию, сокращающему объем и сроки разработки конструкторской документации создания комплексов благодаря запуску в производство основных его унифицированных элементов параллельно с разработкой конструкторской документации;
- снижение стоимости изготовления компонентов гибких систем вследствие серийного изготовления унифицированных элементов на специализированных заводах;

- расширение фронта работ по автоматизации производства в машиностроении путем привлечения мощностей заводов-потребителей для сборки и монтажа, агрегатов и систем из унифицированных элементов;

- увеличение надежности работы гибких систем в связи с применением апробированных конструкций унифицированных элементов.

Модульный, или агрегатный, принцип построения оборудования основан на системном подходе, который предусматривает одновременный анализ и обобщение большинства известных задач по автоматизации данного производства. На этой основе разрабатывается комплекс технических средств, функционально дополняющих друг друга и позволяющих компоновать на них широкую номенклатуру автоматизированного оборудования, которое обеспечивает выполнение любой из частных задач. Одновременно разрабатывается комплекс организационно-технических мероприятий, создающих возможность изготовления, комплектации, эффективной эксплуатации и ремонта этих технических средств.

Разработка агрегатного комплекса технических средств значительно сложнее разработки отдельных моделей оборудования. Агрегатный комплекс технических средств может и должен развиваться как непрерывно совершенствуемая и наращиваемая система, что дает большой экономический эффект.

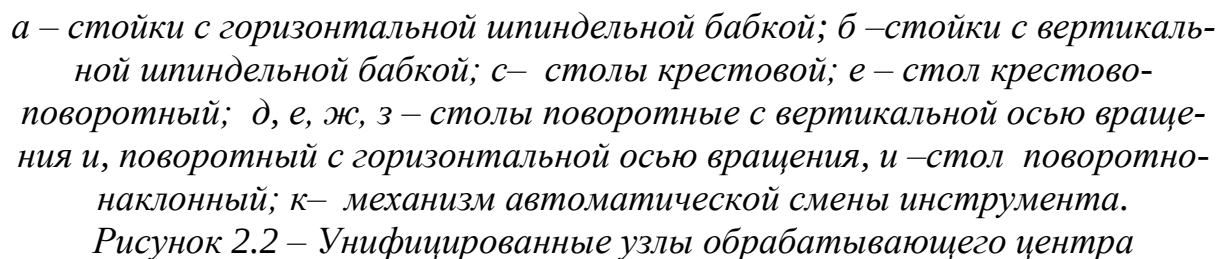
К основным унифицированным элементам станков, управляемых по числовой программе, относят элементы, выполняющие взаимное пространственное перемещение инструмента и обрабатываемой детали (столы прямолинейного и кругового перемещения), а также элементы, обеспечивающие требуемые скорость и силу резания (шпиндельные бабки).

Основной особенностью унифицированных элементов станков нового поколения является возможность управлять их работой от устройств с ЧПУ, что обеспечивает их быструю автоматическую переналадку на обработку других деталей.

На рисунке 2.2 приведена типовая компоновка обрабатывающего центра модульной конструкции.

ОЦ включает в себя унифицированные узлы, такие как стол поворотный, станина центральная 6, арочная стойка 5 со встроенной шпиндельной бабкой 3 (три стойки). На каждой стойке размещены: механизм автоматической смены инструментов 4, стол крестовый и два крестово-поворотных стола 7. Обрабатываемую деталь закрепляют на планшайбе поворотного стола, установленного на центральной станине, и обрабатывают с трех сторон одновременно тремя силовыми агрегатами. На каждом агрегате обеспечивается перемещение по трем координатам.

На всех трех силовых агрегатах шпиндельные бабки перемещаются по направляющим стоек в вертикальном направлении (координаты Y). Стойка со шпиндельной бабкой на агрегате установлена на крестовом столе и перемещается в направлениях оси шпинделя (координата Z) и перпендикулярно к этому направлению (координата X).



Основой компоновок модульных станков с ЧПУ являются унифицированные узлы (рисунок 2.3), включающие в себя стойки со шпиндельными бабками, поворотные, прямолинейные и крестовые столы, механизмы сме-

ны инструмента. Из разработанных десяти типов унифицированных узлов возможно выполнить до тридцати различных компоновок станков.

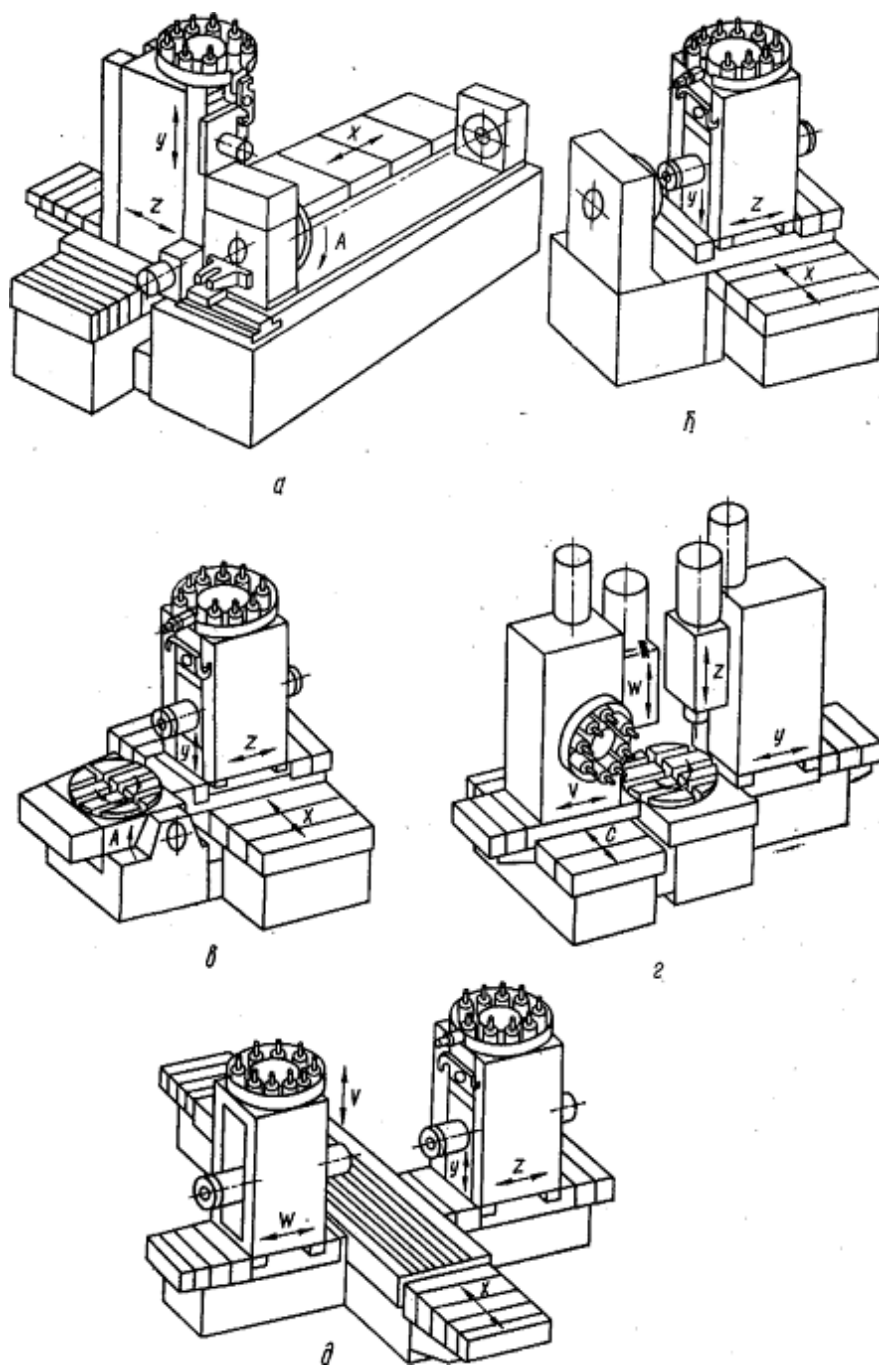


Рисунок 2.3 – Типовые компоновки обрабатывающих центров

Агрегатирование относится также к транспортным устройствам гибких систем — промышленным роботам (ПР), создание которых с использованием агрегатных узлов позволяет унифицировать их производство, повысить степень их универсальности (гибкости), расширить область применения.

Проведена стандартизация основных узлов промышленных роботов, таких как рабочие приводы и двигатели, захватные устройства приборов

промышленного зрения и др. По результатам работ фирмы “Мицубиси” по созданию промышленных роботов на агрегатной основе можно привести следующие их преимущества: элементы всех движений имеют модульную конструкцию, что позволяет по желанию потребителя выбрать конструкцию оптимального типа; обеспечивается взаимозаменяемость между двухпозиционными гидравлическими и пневматическими сервоприводами; возможна конструкция робота, скомпонованного в прямоугольно-цилиндрической системе координат; диапазон перемещения рук робота широк благодаря телескопической конструкции; существует реальная возможность упрощения робота при использовании только одной или двух координат; обеспечивается высокая точность позиционирования; упрощается ремонт робота в процессе эксплуатации.

Оптимальное решение гарантируется тем, что выбор станков производится с учетом их стоимости и технологических возможностей. Творческим решением, обеспечивающим формальный процесс оптимизации, является выбор признаков, связывающих стоимость станков с их технологическими возможностями, и трансформация этих признаков для возможности ранжирования деталей по сложности обработки.

Компоновка основного технологического оборудования ГПС определяется производственными возможностями, объемом выпускаемой продукции и характером обрабатываемых деталей. Рациональная компоновка оборудования позволяет повысить экономическую эффективность ГПС путем уменьшения занимаемой площади, применения более простых транспортных систем, оптимизации перемещений промышленных роботов, сокращения вспомогательного времени, затрачиваемого на транспортировку деталей и инструментов, повышения ремонтпригодности оборудования.

2.2 Технические системы обеспечения работоспособности ГПС

Рабочая программа. АТСС, ее назначение, функции и структура построения. Классификация АТСС по способам транспортирования и по видам компоновки. Требования, предъявляемые к оборудованию АТСС. Центральные склады и местные накопители. Расчет складов. Выбор и обоснование методов идентификации и адресации грузов.

АСИО, ее назначение, функции и структура построения требования, выбор оборудования. Требования к АСИО. Определение рациональной структуры системы. Модульные принципы построения инструментальных систем. Разработка организации функционирования АСИО. Идентификация и адресация инструментов.

АСУО, ее назначение, функции и структура построения требования, выбор оборудования. Требования к АСУО. Методы определения количества отходов. Удаление стружки из зоны резания. Транспортирование и утилизация стружки. Оборудование подачи, очистки и утилизации СОЖ.

Оборудование для удаления и утилизации абразивной пыли. Принципы компоновки модулей АСУО в ГАП.

Литература: [1]с.158-159.

2.2.1 Автоматизированная транспортно-складская система

Основные функции АТСС заключаются в организации накопления, переработке и перемещении изделий, обрабатываемых в ГПС.

Автоматические склады предназначены для накопления исходного сырья, основных материалов и заготовок, вспомогательных материалов, порожней тары, хранения инструментов и приспособлений, сменных захватов для промышленных роботов, накоплений готовых изделий, временного хранения отходов производства, бракованных деталей.

Роботы-штабелеры транспортируют грузовые единицы; загружают и выгружают стеллажи, приемные устройства технологического оборудования, транспортные механизмы; распределяют грузовые единицы между основным технологическим оборудованием. В их состав могут входить автоматические краны-штабелеры, мостовые краны и др.

Накопители предназначены для накопления грузовых единиц перед технологическим оборудованием, создания технологических заделов, необходимых для ритмичной и бесперебойной работы оборудования, сглаживания нарушений технологического ритма. В качестве накопителей могут быть использованы также приемные устройства, транспортные устройства (например, конвейерные накопительные линии, набираемые из отдельных секций) и др.

Перегрузочные и загрузочно-разгрузочные устройства позволяют изменять направление движения грузовой единицы без ее поворота, поворачивать грузовую единицу на 90...360 градусов, загружать и выгружать краны-штабелеры, транспортные роботы, конвейерные механизмы, связывать между собой погрузочно-разгрузочное транспортное и технологическое оборудование.

Транспортные роботы (рельсовые) транспортируют грузовые единицы, загружают и выгружают приемные устройства технологического оборудования, транспортные механизмы, распределяют грузовые единицы между основным технологическим оборудованием.

Транспортные перегрузочные рельсовые роботы предназначены для межоперационного транспортирования грузовых единиц, автоматической загрузки (разгрузки) конвейеров, штабелирования грузовых единиц.

Транспортные перегрузочные напольные (конвейерные) роботы предназначены для автоматической загрузки (разгрузки) тары на движущийся подвижной транспорт по заданной программе транспортирования и накопления грузовых единиц.

Автоматические безрельсовые транспортные средства (робокары) позволяют осуществлять транспортирование грузов с автоматического

склада к модулям обработки и обратно по командам центральной ЭВМ или бортового компьютера.

Конвейеры и подвесные дороги могут быть цепными, роликовыми, ленточными, пластинчатыми, подвесными и напольными, с автоматическим адресованием и др. Их основными функциями является транспортирование и накопление грузовых единиц.

Главными параметрами модулей АТСС является грузоподъемность (масса брутто) и габариты в плане перерабатываемой грузовой единицы.

В таблице 2.2 приведены области применения транспортно-складского оборудования по типам производства.

Таблица 2.2 – Области применения транспортно-складского оборудования по типам производства

Виды работ	Единичное производство	Мелко-серийное производство	Средне-серийное производство	Крупно-серийное производство
Складирование	Накопители (2-5 дет.)	Тактовые столы (18-20 дет.)	Стеллажные склады	Роторно-конвейерные склады
Перемещение внутри склада	Манипуляторы, поворотные столы	Портальные роботы	Роботы-штабелёры	Конвейеры
Перемещение деталей по участку	Робототехническая тележка	Робототехническая тележка	Робототехническая тележка	Конвейеры
Загрузка в ГПМ	Роботы, манипуляторы	Роботы, манипуляторы	Роботы, манипуляторы	Питатели

Существуют следующие принципы организации складирования: централизованный, децентрализованный и комбинированный.

Централизованный принцип организации заключается в том, что все заготовки хранятся в одном центральном складе цеха (или участка цеха). Обмен заготовками между различными группами оборудования также осуществляется через центральный склад. Этот принцип организации складирования используется в многономенклатурном производстве с небольшим грузопотоком и при малых сроках и объемах хранения заготовок. Для снижения величины грузопотоков необходимо заготовки хранить и передавать группами на одном поддоне.

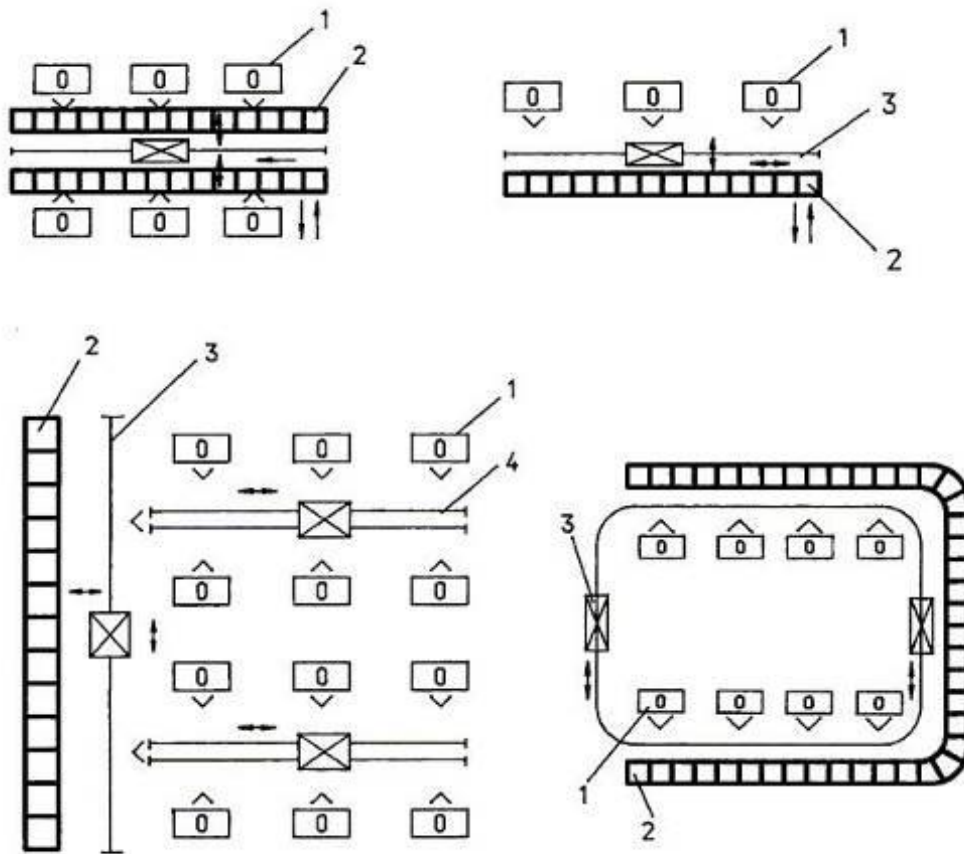
Схемы участков с централизованным принципом хранения приведены на рисунке 2.4.

Децентрализованный принцип хранения заготовок предусматривает наличие складов только на производственных участках. Такие склады обычно называются межоперационными накопителями. Кроме специальных межоперационных накопителей, используются также

накопители и тактовые столы, входящие в состав производственных модулей. Такой принцип хранения используется при наличии больших грузопотоков. Схемы участков с децентрализованными принципами хранения приведены на рисунке 2.5.

Комбинированный принцип хранения предусматривает наличие централизованного склада и межоперационных накопителей. Преимущество такого принципа заключается в большой гибкости и эффективности изготовления изделий широкой номенклатуры.

Необходимость передачи заготовок через склад вызвана тем, что непоточное производство характеризуется нестабильными входящим и выходящим грузопотоками.

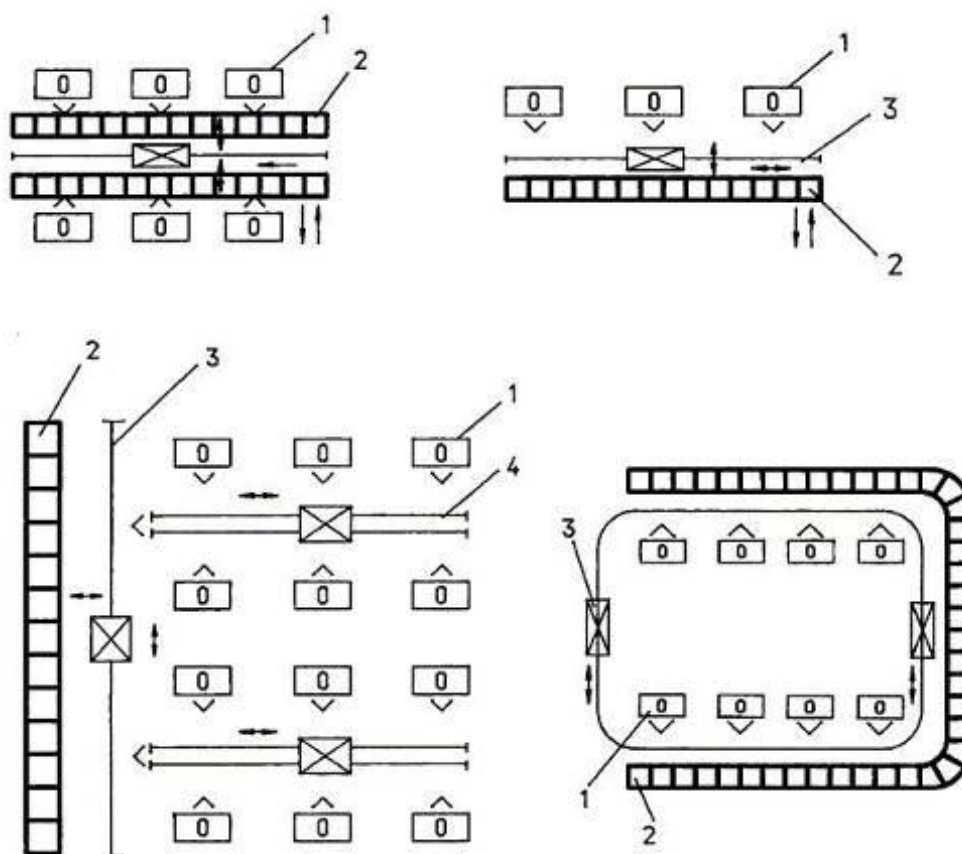


1 – технологическое оборудование; 2 – склад; 3 – кран-штабелёр;
4 – транспортная тележка

Рисунок 2.4 – Схемы планировочных решений с центральным складом

Основной причиной нестабильности грузопотоков является многономенклатурность производства и, как следствие, изменяющаяся станкоемкость выполнения операций. Поэтому условие функционирования автоматизированного склада состоит в том, чтобы принимать с транспортной системы материальный поток с одними параметрами,

размещать и хранить грузы и выдавать их обратно в транспортную систему с другими параметрами.



1 – межоперационный склад; 2 – ГПМ; 3 – транспортная тележка;
4 – позиция загрузки и выгрузки; 5 – технологическое оборудование;
6 – робот; 7 – тактовый стол; 8 – накопитель

Рисунок 2.5 – Схемы планировочных решений с межоперационными складами (а), тактовыми столами и накопителями, встроенными в ГПМ (б)

Выбор принципов организации хранения заготовок следует проводить на основании расчетов емкости складов. При этом оптимальным принципом считается тот, который предполагает меньшее количество ячеек склада.

Ёмкость склада рассчитывается с учетом того, что ГАП должен устойчиво функционировать в условиях изменения номенклатуры изготавливаемых деталей и объема их выпуска.

С этой целью процесс функционирования ГАП рассматривается как случайный, с заданными средними значениями и разбросами параметров.

Для централизованного принципа хранения очевидно, что при любой предельно большой емкости склада существует вероятность того, что он переполнится. Поэтому при проектировании необходимо выбрать такую емкость склада E , чтобы вероятность работы его без переполнения была не

менее заданной величины P . Вероятность P можно трактовать как долю времени, в течение которого склад не переполнен. Например, при $P=0,99$ склад из 100 дней работы в среднем будет находиться в переполненном состоянии один день. Величину P задают, исходя из конкретных условий производства.

При закреплении ячеек склада за группами оборудования склад считается переполненным, если переполнена хотя бы одна группа ячеек, закрепленная за какой-либо группой оборудования. Пусть P_i – вероятность того, что ячейки склада, закрепленные за i -й группой оборудования, не переполнены, тогда заданная вероятность того, что склад в целом не переполнен, будет

$$P = \prod_{i=1}^M P_i, \quad (2.1)$$

где M – количество групп станков.

В первом приближении можно считать все вероятности P_i одинаковыми, тогда

$$P_i = \sqrt[M]{P}. \quad (2.2)$$

Обычно в системах массового обслуживания (СМО) поступление заявок на обслуживание подчиняется закону Пуассона. Тогда вероятность того, что на складе находится не более E_i деталей, ожидающих обработки на i -й группе оборудования, составит:

$$P(e_i \leq E_i) = 1 - \rho_i^{E_i + r + q}, \quad (2.3)$$

где ρ_i – коэффициент загрузки ГПМ, $\rho_i = \lambda / \mu$;

E_i – количество ячеек для хранения заготовок;

r – количество заготовок, которые обрабатываются или ждут обработки у станков;

q – количество заготовок, перемещающихся на транспортных тележках.

Логарифмируя уравнение (2.3), получим:

$$E_i = \frac{\ln(1 - P_i)}{\ln \rho_i} - (r + q). \quad (2.4)$$

Тогда общая емкость склада

$$E = \sum_{i=1}^M E_i \quad (2.5)$$

Для децентрализованного принципа хранения необходимо определить длину очереди к ГПМ, которая фактически является емкостью межоперационного склада. Емкость накопителя составит:

$$e_i = \frac{\rho(k\rho)^k}{k!(1-\rho)} P_0. \quad (2.6)$$

Вероятность того, что в СМО нет заявок составит:

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{k-1} \frac{(k\rho)^j}{j!} + \frac{(k\rho)^k}{k!(1-\rho)} \right]^{-1},$$

где k – количество ГПМ, выполняющих одинаковые операции по обработке заготовок;

Такие расчеты необходимо провести для каждой группы оборудования. При этом получим данные для всех i межоперационных складов.

После определения оптимального варианта хранения заготовок необходимо выбрать складское оборудование.

2.2.2 Автоматизированная система инструментаобеспечения

ОЦ обеспечиваются увеличенными инструментальными складами по сравнению со станками с ЧПУ. Обработка деталей в ГПС требует высокопроизводительного инструмента, рассчитанного на высокую надежность работы в автоматическом режиме. Наиболее эффективна ГПС при использовании систем инструмента блочно-модульной конструкции.

Такой инструмент состоит из отдельных элементов (модулей), которые могут компоноваться в оптимальные конструкции инструмента. Блочнo-модульные инструменты подразделяются на следующие модули:

- 1 базовые хвостовики, устанавливаемые в шпиндели станков;
 - 2 собственно держатели инструментов, предназначенные для непосредственной установки (базирования и закрепления) режущих инструментов;
- резцедержатели,
 - резцовые головки;
 - борштанги;
 - элементы, предназначенные для установки насадного или концевого осевого инструмента с цилиндрическим или коническим хвостовиком;
 - кулачковые и цанговые патроны,
 - державки;

- оправки;
- патроны для метчиков;
- центроискатели,
- измерительные щупы.

В хвостовиках, держателях и переходниках имеются специальные посадочные и присоединительные поверхности, обеспечивающие точное базирование и закрепление сочленяемых модулей.

Путем замены одного или нескольких модулей модульные вспомогательные инструменты без их съема могут быть использованы многократно для разных операций. При затуплении инструмента, замене подлежит не весь инструмент, а только один модуль – непосредственно держатель или инструмент. При подготовке производства модульные инструменты собираются и разбираются для компоновки большого количества конструкций инструментов, для различных станков. Элементы блочно-модульных инструментов обладают высокой унификацией. Инструменты, komponуемые из модульных элементов (что резко сокращает срок изготовления инструмента), могут использоваться взамен специальных. Модульные инструменты значительно дешевле (в особенности, при централизованном изготовлении) цельных инструментов, применяемых для конкретных операций.

Вспомогательный инструмент, предназначенный для установки, базирования и закрепления режущих инструментов, составляет основу существующих модульных инструментальных систем. Его технический уровень существенно влияет на точность, производительность, длительность простоев металлорежущих станков, входящих в модули обработки.

Вспомогательный инструмент должен обеспечивать достаточную жесткость, высокую точность и стабильность установки режущего инструмента, возможность выполнения всех технологических переходов, предусмотренных технической характеристикой станка, быстросменность, межразмерную унификацию, настройку инструмента вне станка.

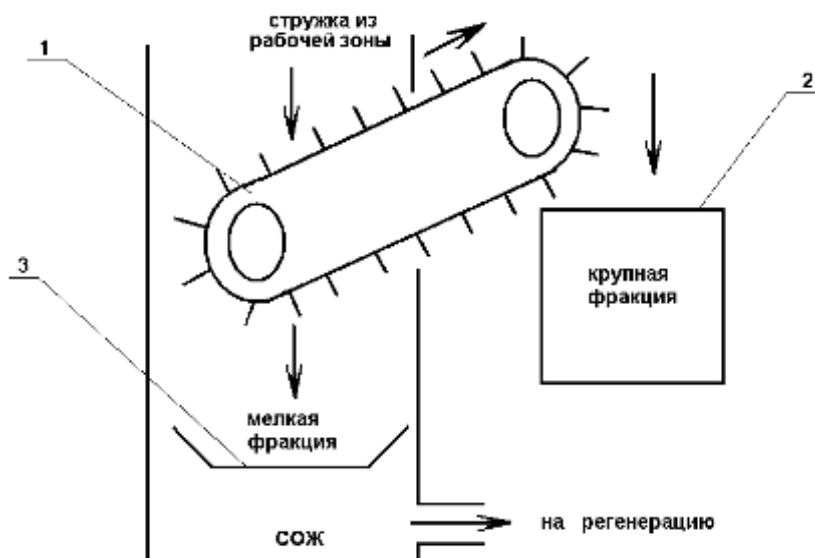
Разработанная ЭНИМС и ВНИИ система вспомогательного инструмента устанавливает три подсистемы инструмента: инструмент с цилиндрическим базирующим хвостовиком (для крепления на токарных станках), инструмент с базирующей призмой (для крепления на токарных станках); инструмент с коническим и цилиндрическим хвостовиком (для крепления на сверлильно-фрезерно-расточных станках).

2.2.3 Автоматизированная система уборки отходов

К отходам производства в ГПС относятся стружка, СОЖ и пыль. В условиях автоматического режима обработки удаление стружки из зоны резания является одним из важных условий надежной, качественной и высокопроизводительной обработки изделий на металлорежущем оборудовании ГПС. Наличие стружки может привести к появлению дефектов на обрабатываемой поверхности, вызвать преждевременный износ режущего инструмента, его затупление и поломку.

Для удаления стружки используются системы, состоящие из следующих основных элементов: пылестружкоотводчиков, осуществляющих удаление стружки из зоны резания; устройств транспортирования стружки за пределы станка или участка; циклонов и фильтров, обеспечивающих отделение стружки от воздуха и СОЖ; системы магистрального транспортирования стружки к устройствам переработки; системы переработки стружки, обеспечивающей обезжиривание, дробление и брикетирование стружки.

Примером устройства уборки стружки является скребковый транспортёр выносного типа с углом наклона транспортёра – около 20° (рисунок.2.6). Скорость перемещения ленты – до 4 м/мин, длина транспортёра – до 900 м. Транспортёр устанавливается рядом со станком. Стружка попадает из зоны резания на скребковый транспортёр 1. Скребки ленты транспортёра перемещают стружку вверх, где она через окно корыта попадает в желоб конвейера 2. Мелкая стружка через небольшие отверстия в транспортёре 1 попадает на поддон 3 с мелким ситом для стекания СОЖ.

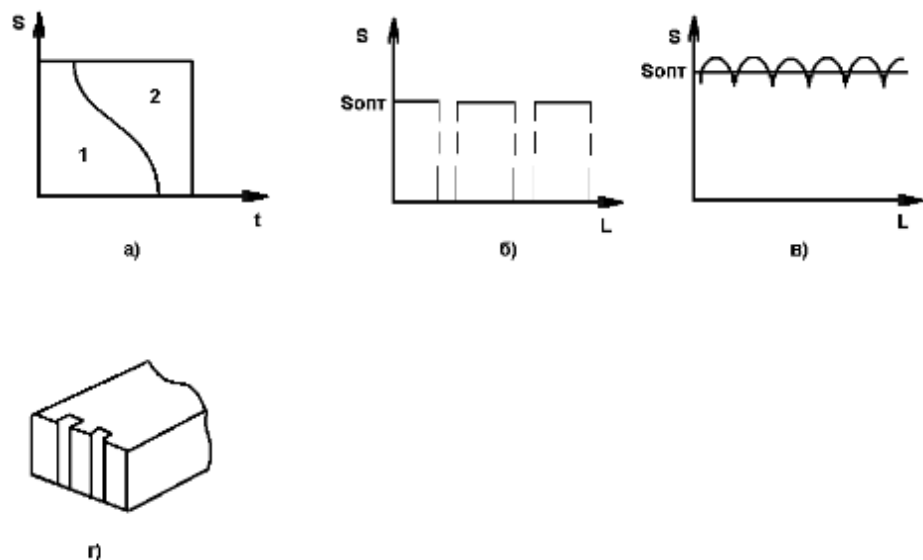


1 – скребковый транспортёр; 2 – конвейер; 3 – поддон.

Рисунок 2.6 – Организация уборки отходов из рабочей зоны ОЦ

Для надёжной работы системы удаления и переработки стружки должна быть обеспечена требуемая однородная фракция стружки (обычно длиной 1-2 см). Многообразие режущих инструментов, форм и материалов, обрабатываемых заготовок приводит к образованию стружки различных форм и размеров (сливная, элементная и т.д.), зависящих от вида, режимов обработки и физико-механических свойств обрабатываемого материала. В связи с этим одной из важнейших задач, связанных с удалением стружки, является ее формирование.

ЭНИМС разработаны рекомендации по применению методов дробления стружки. На рисунке 2.7 представлены методы стружкодробления, а в таблице 2.3 приведены области их использования методов.



1 – зона надёжного стружкодробления; 2 – зона ненадёжного стружкодробления

Рисунок 2.7 – Методы стружкодробления

Таблица 2.3 – Области использования методов стружкодробления

Вид обработки	Номер метода по рекомендации ЭНИМС			
	Конструкционная сталь	Высокоуглеродистая сталь	Нержавеющая сталь	Жаропрочная сталь
Сверление, рассверливание	4	4	4	4
Черновое точение	1	1	4, 6	4, 6
Чистовое точение	1, 5	1, 5	5	5
Черновое растачивание	2	2, 3	4, 6	4, 6
Чистовое растачивание	1,5	1,5	5	5
Точение канавок и выточек	1, 3, 5	1, 3, 5	3, 4	3, 4

Используются следующие методы:

1 Выбор геометрии режущей части инструмента, при котором используются стружколоматели в виде лунок, уступов или канавок, выполняемых на гранях режущей кромки резца. Применяются также накладные стружколоматели, закрепленные на верхней грани режущих пластинок.

2 Выбор режимов резания, то есть нахождение такого соотношения глубины резания и подачи, при котором имеет место эффект стружколома (рисунок 2.7, а).

3 Выбор схем перемещения инструмента короткими ходами, например, при обработке канавок или черновой расточке (рисунок 2.7в).

4 Прерывание подачи (рисунок 2.7, б).

5 Формирование стружкоразделительных канавок, осуществляемое для чистовых проходов. Прорезка канавок производится на глубину 0,05...0,06 мм, (рисунок 2.7, з).

6 Дополнительные относительные перемещения инструмента (осциллирующие движения).

Этап транспортирования стружки обеспечивается скребковыми транспортерами или по трубопроводам. В состав агрегатов для уборки стружки входят моечно-сушильные агрегаты, которые служат для мойки и сушки деталей, что является отдельной операцией техпроцесса. Мойка и сушка осуществляется перед каждой чистовой и финишной операцией и, как правило, перед черновой. Время выполнения моечно-сушильной операции 12...15 минут. Моечно-сушильные агрегаты различаются по емкости рабочей зоны. В зависимости от этого, в рабочую зону можно подавать как отдельные детали (крупногабаритные), так и поддоны с деталями.

Пыль, возникающая на финишной обработке, утилизируется в циклонах.

2.3 Информационные системы обеспечения работоспособности ГПС

Рабочая программа. АСУ, ее структура и подсистемы технического и организационного управления. Структура системы управления ГАП. Увязка и корректировка всех структурных элементов АСУ по общим критериям, возникающим в результате принятия решения об ориентации на специальные аппаратные средства вычислительной техники и их возможности в части математического обеспечения. Модули АСУ. Контроллеры управления технологическим процессом.

Определение функций и разработка требований к АСК. Контролируемые параметры в ГПС перед обработкой, в процессе обработки и по ее завершении. Модули АСК. Адаптивное управление. Техническая диагностика состояния систем ГАП.

Функции и требования к АСТПП. Связи АСТПП с другими системами. Требования современного производства к автоматизации проектирования. Назначение и характеристики различных систем САПР ТП. САПР механической обработки. САПР технологической оснастки. САПР технологических чертежей. САПР технологических процессов сборки.

АСНИ, ее назначение, функции, структура построения. Требования к АСНИ. Методы сбора и обработки статистических данных. Методы, программы и алгоритмы управления качеством выпускаемой продукции.

Литература: [2]с34-69.

К информационным системам обеспечения работоспособности ГПС относятся:

АСУ – автоматизированная система управления;

АСК – автоматизированная система контроля;

САПРТП – система автоматизированного проектирования технологических процессов;

АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства;

АСНИ – автоматизированная система научных исследований.

2.3.1 Автоматизированная система управления.

Система управления состоит из средств вычислительной техники в виде управляющего вычислительного комплекса со средствами программного обеспечения и реализует следующие функции:

1 оптимальное управление работой технологической системы;

2 управление системами: транспортной, складской, инструментального обеспечения, технического обслуживания, контроля качества, охраны труда;

3 оперативное планирование загрузки оборудования – разработка оперативных заданий для станков и систем обслуживания (переработка, передача и накопление информации, относящейся к согласованию перемещения в пространстве и времени заготовок, инструментов, оснастки и др.);

4 оперативный учет выполнения плановых заданий;

5 управление технологическим и вспомогательным оборудованием (переработка, передача и накопление информации, относящейся к технологическим режимам обработки, маршрутам и др.);

6 хранение управляющих программ в долговременной и оперативной памяти ЭВМ;

7 автоматизация контроля и корректировки управляющих программ;

8 сбор, первичную переработку и хранение технической и технологической документации в ЭВМ;

9 расчёт технико-экономических показателей работы ГПС.

Требования к АСУ:

1 автоматизация выполнения всех указанных функций с помощью ЭВМ;

2 наличие диспетчерского центра на случай аварийного управления производством;

3 линейность всех систем управления и точность отработки сигналов;

4 технически обоснованная скорость срабатывания всех приёмников;

5 модульность конструкции СУ, что позволяет быстро устранять отказы и реализует принцип гибкости;

6 удобство обслуживания.

Реализация вышерассмотренных функций с соблюдением предъявленных требований осуществляется на основе иерархического построения

структуры АСУ. Под иерархией структуры управления понимается много-ступенчатый пирамидальный принцип её построения с подчинением низших уровней высшим. При такой структуре функции контроля и управления производством распределяются на несколько уровней, с приоритетом управляющих сигналов старших уровней.

Кроме того, структура АСУ предполагает перераспределение различных функций по различным уровням (рисунке 2.8).



Рисунок 2.8 – Структура АСУ

Верхний уровень обеспечивает технологическую подготовку производства и календарное планирование, что предполагает моделирование и разработку планов запуска продукции, прихода, перемещения и ухода материальных и информационных потоков, по результатам чего осуществляется управление ТПП.

Средний уровень включает в себе функции оперативного контроля и управления (диспетчирование), что предполагает диагностирование подсистем ГПС, отображение информации, учёт и документирование. На основе прогнозов от АСНИ собранная информация обеспечивает принятие решений и реализацию функции управления объектами на среднем уровне.

Нижний уровень обеспечивает отработку не только программ ЧПУ. Здесь обрабатываются программы управления всех технических систем. Объектами управления являются металлорежущие станки, накопители, роботы и т.д. На этом уровне осуществляется контроль их жизнедеятельности (время отработки на отказ и пр.), результаты которого передаются на верхние уровни вместе с прогнозами от АСНИ.

Управление и обратные связи обеспечены наличием датчиков обратной связи и приёмников управляющих программ.

С целью увязки структурных элементов АСУ при принятии решений об ориентации на конкретные средства информационного обеспечения разрабатываются схемы информационных потоков, которые отражают состав, объём и маршруты движения информации между средствами АСУ.

Основой для построения схемы информационных потоков, кроме планировочного размещения всех элементов ГПС, служат схемы материальных и энергетических потоков. Информационную связь осуществляют в числовом, текстовом или графическом виде. Числовая информация передаёт количественные параметры, полученные при расчётах и измерениях. Текстовая информация выражает качественные свойства производственного процесса и отражает условия, при которых происходит описываемый процесс. Графическая информация представляет собой графики, схемы и чертежи.

Для составления математической модели ГПС, помимо материальных, энергетических и информационных потоков, требуется знать и временные связи, определяющие момент поступления материалов, энергии и информации на каждый объект ГПС.

Разработанная схема информационных потоков наносится на планировку ГПС (рисунке 2.9).

Схема информационных потоков (см. рис.2.9) позволяет оценить требования к элементам системы управления:

- 1 число входов и выходов устройства сбора и переработки информации;
- 2 характеристики периферийных устройств;
- 3 быстродействие процессоров управляющих ЭВМ;
- 4 объём оперативной памяти и ёмкость носителей информации.

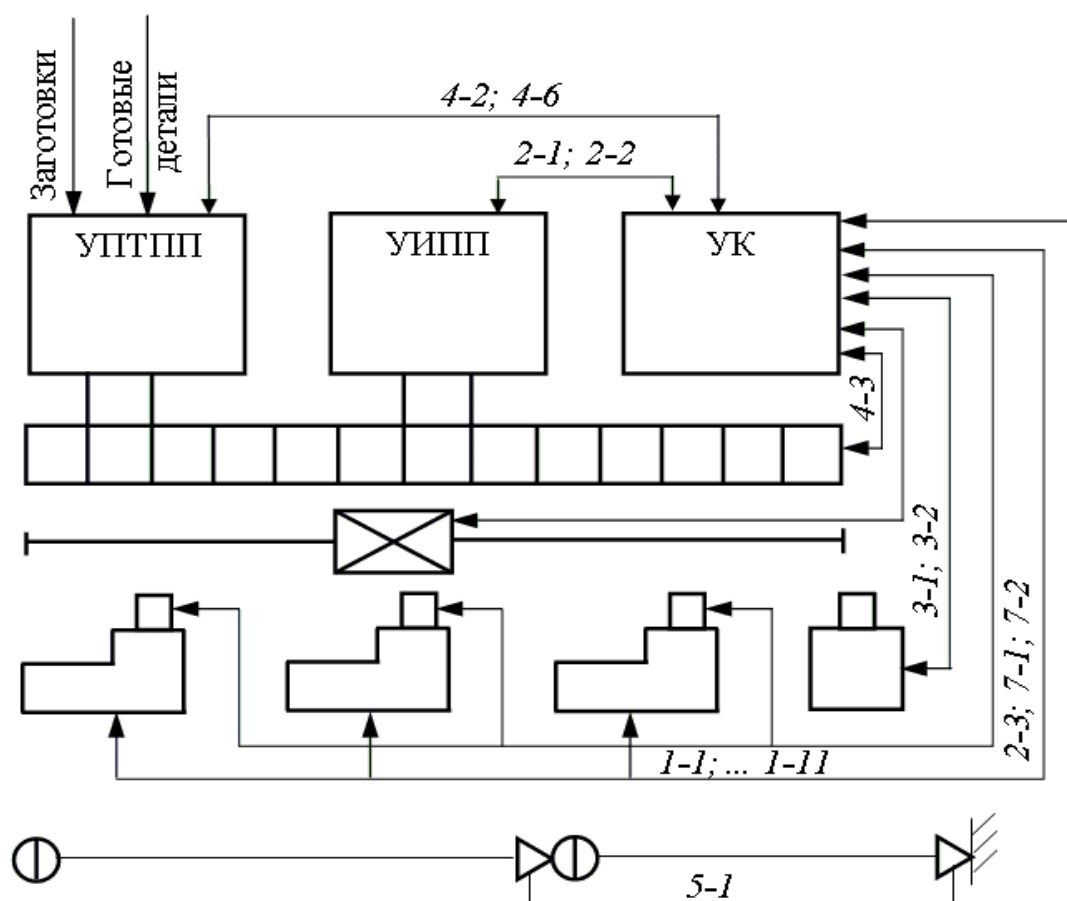
На основе анализа выбираются элементы АСУ с оптимальными техническими характеристиками. Параллельно с разработкой системы управления производством проводится проектирование программного обеспечения системы.

На базе процессов изготовления изделий задают данные для проектирования автоматизированной системы управления ТС, в которых указывают функции системы, режимы её работы, способы вывода оборудования из сбойных ситуаций. В техническом задании указывают число управляющих программ, необходимых для изготовления изделий, время их выполнения на оборудовании, допустимое время задержки при передаче кадров на устройства ЧПУ оборудования и объём информации по коррекциям.

Современные АСУ предполагают, модульное построение и включают:

- 1 модуль управления диагностикой и контролем (АСУ СК);
- 2 Модуль управления транспортно-складской системой (АСУ ТСС);
- 3 Система управления инструментообеспечением (АСУ СИО);
- 4 Управление системой технического оснащения (АСУ СТО);

5 Управление системой охраны труда (АСУ СТО);



1-1 – программы управления станками; 1-2 – сигнал готовности к работе; 1-3 – сигнал «Работа»; 1-4 – запрос о загрузке станка; 1-5 – сигнал «Переналадка»; 1-6 – сигнал «Простой»; 1-7 – запрос о разгрузке станка; 1-8 – сигнал об окончании обработки; 1-9 – сигнал «Конец простоя»; 1-10 – сигнал о количестве обработанных деталей; 1-11 – сигнал о вводе коррекции в ЧПУ станка; 2-1 – сменное задание участку инструментальной подготовки производства (УИПП); 2-2 – информация о готовности инструментов; 2-3 – запрос об инструменте; 3-1 – сигнал о бракованных деталях; 3-2 – информация о работе контрольно-измерительной машины (КИМ); 4-1 – сигнал датчиков стола накопителя; 4-2 – сменное задание участку подготовки транспортной партии (УПТПП); 4-3 – сигнал датчиков о загрузке склада; 4-4 – запрос о загрузке накопителя; 4-5 – запрос о разгрузке накопителя; 4-6 – информация о готовности транспортной партии; 5-1 – информация от светолокационных датчиков; 6-1 – управляющая команда крану-штабелёру; 6-2 – сигнал датчиков крана-штабелёра; 6-3 – информация о работе крана-штабелёра; 6-4 – сигнал «Сбой в работе»; 7-1 – сигнал «Отказ»; 7-2 – сообщение о причине простоя

Рисунок 2.9 – Схема информационных потоков ГАУ

Управление диагностикой и контролем (АСУ СК). Диагностирование подразделяется на функциональную диагностику, при которой производится измерение параметров, характеризующих состояние оборудования,

и статистическую, при которой регистрируется изменение состояния оборудования и производится расчёт эксплуатационных показателей его работы. Для диагностирования система оснащается датчиками, определяющими готовность оборудования к работе, производящими поиск места и причин отказа и др.

Назначение системы диагностики – обеспечить функционирование оборудования путём оперативного определения критических и аварийных ситуаций. Это выполняется путём сбора информации о состоянии ответственных узлов основной и вспомогательной систем, переработки этой информации по алгоритму и принятия решений о возможности дальнейшего функционирования элементов этих систем и вывода информации о неисправностях.

Управление транспортно-складской системой (АСУ АТСС). Исходными данными для определения характеристик этого модуля являются номенклатура изделий, периодичность их выпуска, размеры, масса, характеристики штабелёров, автооператоров, подъёмных столов и т.д., количество захватных устройств в ПР и позиций на поворотных столах, количество стеллажей и число ячеек.

При разработке АСУ транспортными и складскими потоками необходимо:

- 1 определить приоритетность обслуживания оборудования;
- 2 разработать режимы «Запуск» и «Плановый останов»;
- 3 организовать потоки заявок на доставку к месту назначения подвижных устройств;
- 4 организовать защиту системы и выход из сбойных ситуаций;
- 5 организовать подготовку информации для исполнительных устройств, устройств отображения и передачу её, при необходимости, в другие подсистемы.

Существуют два уровня управления складской и транспортной системами. **На первом уровне** решаются задачи: управления приводами транспортных средств; точного их позиционирования; останова транспортных средств в аварийных ситуациях; загрузки и разгрузки накопителей и склада. **На втором уровне** производится управление материальными потоками, оценка причин, вызвавших отклонение процесса транспортирования и складирования от заданного, учёт движения и хранения груза.

Управление инструментаобеспечением (АСУ СИО). Реализуется на основе информации о номенклатуре инструмента, его стойкости, маршрутах перемещения, параметрах СИО, определяющих размеры информационных и моделирующих потоков с учётом условий и параметров связи с другими вспомогательными системами.

Управление системой технического оснащения (АСУ СТО). Предусматривает контроль работы автоматических систем удаления стружки, раздачи СОЖ, подачи электроэнергии и сжатого воздуха. Информация о работе этих систем поступает на ЭВМ, где определяется их состояние.

Управление системой охраны труда (АСУ СТО). Работа системы сводится к проверке датчиков, контролирующих безопасную работу обслуживающего персонала и санитарные условия труда, различных блокировочных устройств, а также к обработке сигналов с датчиков на аварийное отключение оборудования.

Общее программное обеспечение и общее специальное программное обеспечение чаще всего не разрабатываются, так как они поставляются вместе с вычислительной машиной. При разработке технического задания на проектирование специального программного обеспечения указывают все необходимые данные, полученные в ходе технологического проектирования ГПС, а также язык и структуру управляющих программ, возможность их редактирования.

2.3.2 Автоматизированная система контроля.

Система контроля реализует следующие функции:

- 1 контроль технических средств ГПС и деталей;
- 2 диагностика работоспособности автоматического оборудования, входящего в состав технологической, транспортной, складской систем и системы инструментообеспечения, контроля;
- 3 контроль положения заготовок и деталей;
- 4 контроль положения рабочих органов технологического и вспомогательного оборудования;
- 5 хранение информации об изготовляемых изделиях (их конфигурации, технических требованиях и др.);
- 6 настройка контрольно-измерительных устройств;
- 7 своевременное обнаружение брака;
- 8 операционный и приемочный контроль качества;
- 9 выдача информации по результатам контроля в АСНИ и систему управления.

Технические устройства контроля ГПС в общем случае включают:

- 1 информационные устройства, представляющие собой первичные измерительные преобразователи (датчики) для сбора информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном положении контролируемых объектов, а также о состоянии технологической среды;
- 2 промежуточные преобразователи, приборы или вычислительные устройства, осуществляющие анализ полученной информации и сравнение полученных фактических значений с заданными;
- 3 управляющие вычислительные устройства, вырабатывающие сигналы оповещения, индикации или управления, необходимые для своевременного введения, коррекции или принятия других мер.

Номенклатура основных контролируемых параметров в ГПС и применяемость технических устройств контроля может быть систематизирована по трем периодам производственного процесса:

1 контроль, производимый перед началом цикла обработки с целью определения исправности и готовности к работе технологического оборудования, наличия и надежности закрепления приспособления, заготовки и инструмента, проверки заданного положения и идентификации всех технологических объектов, участвующих в обработке;

2 контроль, производимый во время цикла обработки (или при прерывании цикла), имеющий целью проверку параметров технологического процесса – усилия резания, температуры в зоне резания, точности обработки перемещений, диагностику состояния инструмента, контроль основных размеров детали по переходам;

3 контроль, проводимый после окончания цикла обработки, задачей которого является проверка конечных положений рабочих органов станка (возврат в заданную точку), контроль состояния инструмента и размеров обработанной детали.

Рассмотрим основные модули АСК, их характеристики и функциональное назначение.

Устройства контроля исправности основных систем технологического и вспомогательного оборудования. Системы технологического и вспомогательного оборудования ГПС, включающие станки, промышленные роботы, транспортные и загрузочные устройства, автоматические склады, являются сложными объектами контроля и диагностирования, имеющими в своем составе устройства, в которых происходят физические процессы различного вида, характеризующиеся как непрерывно, так и дискретно изменяющимися параметрами.

Заключение о техническом состоянии таких систем и их элементов может основываться на контроле достаточно большого количества как статических, так и динамических характеристик, например, напряжений и токов в цепях электроприводов и блоков их управления, частот вращения роторов двигателей, крутящих моментов, давления и температуры масла в гидросистемах, расхода рабочей жидкости, температуры ответственных механических узлов, скоростей и ускорений рабочих органов, точности линейных и угловых перемещений, усилий и деформаций в механизмах, шума и вибраций при работе узлов, времени срабатывания реле или муфт, спектральных характеристик колебаний упругой системы и др.

Средства получения информации о характеристиках элементов систем можно разделить на три группы:

1 штатные устройства, как правило, уже имеющиеся в оборудовании для обеспечения его циклов работы (реле, электромагниты, путевые переключатели, датчики скорости и перемещений);

2 Дополнительные устройства, встраиваемые в соответствии с выбранными параметрами диагностирования (вибродатчики, реле давления, расходомеры, датчики температуры, тока и т.д.);

3 Специальные контрольно-измерительные устройства, работающие автономно или подключаемые по запросам (контрольно-измерительные си-

стемы, измерительные роботы-манипуляторы, виброизмерительные стенды и т.п.).

Устройства для определения наличия технологических объектов, их положения в пространстве и идентификации. Устройства определения наличия объекта (инструмента, приспособления, заготовки, детали и пр.) на технологической позиции, предназначенные для сигнализации о наличии объекта в поле зрения системы излучатель-приемник, могут применяться как в модулях обработки, так и в транспортно-накопительных складских системах, а также в промышленных роботах в качестве элементов их очувствления.

Принцип действия основан на обнаружении инфракрасного излучения, отраженного объектом, и прерывание объектом потока инфракрасного излучения, поступающего от излучателя на приемник.

В качестве устройств для определения положения технических объектов в пространстве используют индикаторы контактов типов, которые позволяют определить координаты заданных точек объектов в системе координат станка и осуществить контроль размеров заготовок, деталей и инструмента на станке перед циклом обработки, в период прерывания обработки и после ее окончания. С помощью индикаторов может быть также определено наличие повреждений кромки инструмента.

Основным элементом индикаторов является датчик касания, работающая по принципу электроконтактного датчика и выдающая электрический сигнал при касании наконечником щупа поверхности детали или инструмента.

В комплект индикатора входят датчики касания, хранящиеся в магазине инструментов и при измерении устанавливаемые в шпиндель станка, датчик касания для инструмента, закрепляемые на базовой поверхности станка, передатчики сигналов, приемники, электронные блоки и некоторые вспомогательные элементы.

Считывание кодов, определяющих шифр инструмента, детали или груза, может осуществляться либо при установке объекта на позиции контроля (например, на столе станка или в ячейке склада), либо в динамическом режиме – при перемещении объекта мимо считывающей головки, установленной неподвижно.

Устройства контроля состояния режущего инструмента. Существует несколько типов устройств, основанных на различных принципах действия.

Фотоэлектрические устройства контроля режущего инструмента предназначены для определения поломок инструмента, контроля предельного износа инструмента типа резцов, а также идентификации типа заготовки, поступающей на станок. Устройства работают на принципе машинной обработки изображения рабочей зоны технологического оборудования.

Оптоэлектронные датчики положения (ОДП-1), вырабатывающие электрические сигналы при совмещении поверхности объекта с фиксированной точкой пространства, могут применяться для определения поломки

инструмента, измерения геометрических размеров инструментов, контроля, позиционирования рабочих органов технологического оборудования, обнаружения технологических объектов в заданных зонах.

Лазерные измерители объектов предназначены для определения размерного износа резца перед началом обработки. Могут использоваться для контроля координатных перемещений суппорта станка.

Измерители работают на основе дифракции Фраунгоффера в зоне отверстия, образованного диафрагмой прибора и режущей кромкой резца.

Контроль состояния инструмента в процессе обработки в настоящее время производится косвенными методами. К ним относятся контроль тока, потребляемого главным приводом, измерение усилия резания и его составляющих, температуры в зоне резания, электрических характеристик в зоне контакта «инструмент - деталь», характеристик механических колебаний, возникающих в зоне резания.

На измерении мощности или тока, потребляемых электродвигателем главного привода, основан принцип действия устройств активного контроля режимов резания и состояния режущего инструмента. Такие устройства позволяют также поддерживать постоянную мощность резания за счет коррекции скорости подачи для токарной и фрезерной обработки при совместной работе с УЧПУ модуля обработки.

Модули контроля качества продукции. В состав модулей входят ОТК, включающий измерительную лабораторию, которая разрабатывает схемы и планы контрольных проверок средств измерений и выполняет наиболее сложные из них, контрольно-проверочные пункты (КПП), цеховые контрольные пункты (КП) и испытательные отделения.

Способы контроля качества изделий классифицируют по назначению – приемочный, профилактический, прогнозирующий; взаимодействию с объектом изготовления – активный (прямой и косвенный), пассивный (после каждой операции или через несколько операций), параметрический (количественный, допусковый) и функциональный; конструктивному решению – внутренний (самоконтроль) и внешний; реализации во времени – непрерывный (в процессе изготовления) и периодический (тестовый).

Перспективным является активный контроль при обработке, позволяющий исключать брак путем своевременной коррекции процесса изготовления и повысить производительность за счет совмещения времени изготовления со временем контроля.

При проектировании системы контроля качества (СКК) следует уделять внимание вопросам снижения трудоемкости контрольных операций путем использования автоматических контрольных устройств, позволяющих проводить контроль широкой номенклатуры изделий.

Классификация СКК в ГАП представлена на рисунке 2.10.

Выбор контрольных средств и методов контроля зависит от точности измеряемых изделий, их номенклатуры, формы и размера, числа контролируемых параметров, условий измерений, требуемой производительности и экономичности. Каждый метод и используемые при этом средства

измерения обладают собственной погрешностью и эффективной областью использования. При выборе средств измерения погрешность измерения принимается не более 10...15% допуска контролируемого параметра. Контрольно-измерительные средства действуют по одному из трех методов: прямому, косвенному и комбинированному.

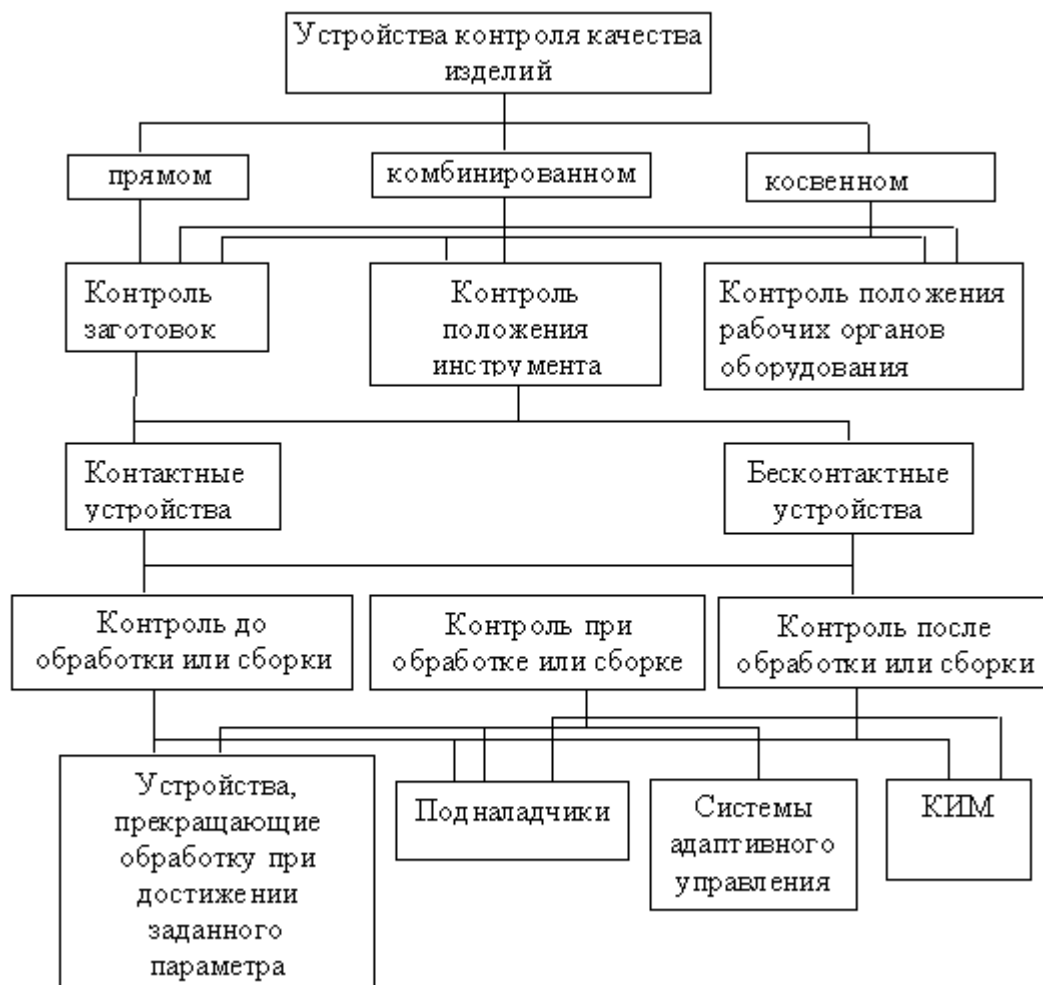


Рисунок 2.10 – Классификация СКК

При прямом методе используют средства, имеющие контакт с измеряемой поверхностью, и бесконтактные средства, определяющие контролируемый параметр как при обработке, так и после нее.

Косвенный метод не обладает указанным свойством, но позволяет получать информацию о контролируемом параметре по характеристике одного или нескольких элементов оборудования, например по величине перемещения рабочего органа станка, несущего режущий инструмент. При комбинированном методе измерения одновременно происходит контроль параметров изготавливаемого изделия и элементов оборудования.

Большое влияние на выбор средств контроля оказывают условия протекания процесса обработки, в частности, возможность доступа контрольно-измерительных средств в рабочую зону, температура в зоне обработки и

др. При механообработке важным фактором, оказывающим влияние на выбор средств контроля, является тип стружки.

Перспективным путем сокращения трудоемкости контроля качества изделий является использование систем адаптивного управления процессом обработки изделий, повышающих качество изготавливаемой продукции. Разработаны системы адаптивного управления: упругими перемещениями ТС за счет изменения размера статической и динамической настройки; скоростью изнашивания режущего инструмента, относительным положением деталей и усилиями при сборке, а также многомерные адаптивные системы, позволяющие управлять одновременно несколькими параметрами.

По техническим требованиям некоторые изделия должны проходить контроль параметров качества не только в статическом состоянии, но и в динамическом, для чего в ГПС применяют испытательные станции. Испытания подразделяют на производственные и испытательные.

Производственные испытания обычно входят в процесс изготовления изделия и, в свою очередь, подразделяются на обкатку вхолостую и испытание под нагрузкой. Экспериментальные испытания не связаны с производственной программой, их проводят в экспериментальных цехах.

Контроль качества изделий может быть организован на рабочей позиции и в контрольных отделениях. Контроль на рабочей позиции осуществляют на технологическом оборудовании или около него. Контроль качества при обработке с помощью средств активного контроля не удлиняет цикл изготовления изделия, а контроль изделия на оборудовании после изготовления приводит к его простоям. Причем точность проведения контроля в этом случае ниже по сравнению с внешним контролем.

Применение пассивного контроля качества часто не оказывает влияния на продолжительность производственного цикла, так как контроль изделий может быть проведен при транспортировании или складировании изделия. Контроль качества на КП организуется, если: применяют разнотипные или крупногабаритные средства контроля, которые неудобно доставлять к рабочим позициям; средства контроля на рабочих позициях не обеспечивают необходимую точность из-за температурных деформаций, вибраций и др.; проверяют большое количество изделий, удобных для транспортирования; проверяют продукцию после последней операции перед ее сдачей на склад.

Основные этапы технологического процесса контроля качества изделия представлены на рисунке 2.11.

При входном контроле заготовок проверяют их соответствие по размерам, массе, физико-химическим параметрам, внешнему виду. Контролируются геометрические размеры поверхностей, используемых в качестве баз.

Контроль при установке заготовок в тару производится для обеспечения ориентации заготовок при их автоматической установке.

Контроль заготовок на механическом оборудовании предполагает измерение размеров соответствующих поверхностей и их положение на станке, что снижает погрешность установки.

Контроль точности готовых деталей проводят на КП. Здесь же контролируют точность, шероховатость и др. Заключительный этап – испытание готовой продукции.

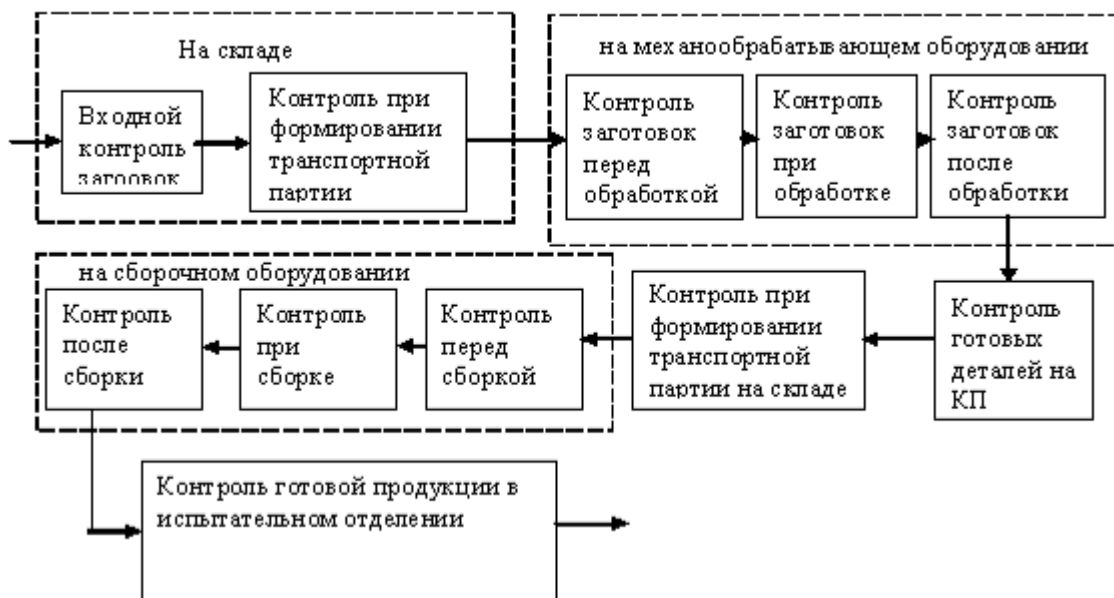


Рисунок 2.11 – Основные этапы технологического процесса контроля качества изделия

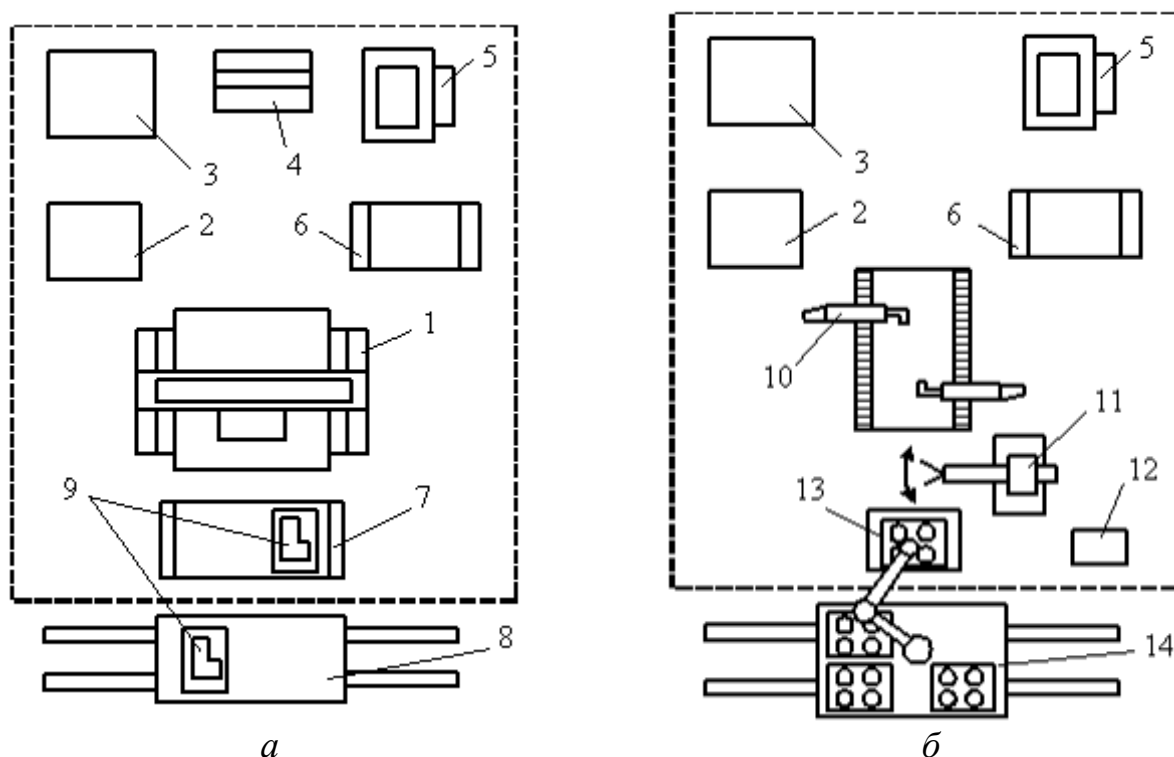
Детали машиностроения, особенно корпусные, изготовленные в ГПС, являются достаточно сложными объектами контроля. Как правило, в структуре технологического процесса механической обработки предусматривается транспортирование деталей к месту их измерения и точная установка в приемном устройстве модуля контроля качества.

Модуль контроля качества осуществляет входной, межоперационный и окончательный контроль размерно-геометрических параметров деталей. После обработки результатов контроля на ЭВМ может быть выдано заключение о годности детали, определены возможные отклонения размеров, и, при необходимости, внесена коррекция в технологический процесс.

Модули контроля качества корпусных деталей строятся на базе программируемых координатно-измерительных машин (КИМ) с использованием контактных и бесконтактных измерительных устройств (щуповых головок) различного назначения. Управление модулем осуществляется в автоматическом режиме – от собственной ЭВМ. Модуль может контролировать следующие параметры: внутренние диаметры отверстий, длину внутренних и наружных поверхностей, ширину канавок, точность цилиндрических, конических и сферических поверхностей, отклонения расположения и формы, углы, радиусы, резьбы и пр.

Модули контроля качества деталей тел вращения могут быть построены с использованием специальных прецизионных стандов, обеспечивающих точную установку, центрирование, зажим и перемещение деталей, индикаторов контакта или измерительных роботов. Контролируемыми параметрами являются внутренние и наружные диаметры, длина внутренних и наружных поверхностей, ширина и глубина канавок, отклонение формы и расположения поверхностей, радиусы, углы и пр.

Компоновочные схемы модулей контроля качества продукции для корпусных деталей и деталей типа тел вращения показаны на рисунке 2.12.



1 – координатно-измерительная машина; 2 – управляющая ЭВМ;
 3 – устройство связи с АСНИ; 4 – фотосчитывающее устройство;
 5 – АЦПУ; 6 – дисплей; 7 – устройство перегрузки деталей;
 8 – транспортная тележка; 9 – паллета с деталью; 10 – измерительное устройство; 11 – промышленный робот; 12 – система управления роботом; 13 – стол-накопитель; 14 – транспортный робот

Рисунок 2.12 – Схемы компоновки модулей контроля качества продукции ГПС корпусных деталей (а) и деталей типа тел вращения (б)

2.3.3 Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП).

Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) предусматривает решение технологических задач в объеме более 60% в автоматизированном режиме «человек-машина». АСТПП явля-

ется первичным звеном в структуре ГПС, куда изначально поступает информация об объекте изготовления, включающая конструкторскую документацию, программу, сроки выпуска и др.

После обработки входных данных АСТПП выдаёт задание в САПРТП на проектирование технологии и разработку управляющих программ. На базе входных данных и результатов САПРТП формируется поток информации в АСУ, что обеспечивает прямую связь АСТПП с другими системами ГПС.

Качественные и количественные результаты функционирования ГПС поступают в автоматизированную систему научных исследований (АСНИ), которая производит анализ и передаёт коррективы по изменению параметров технологического процесса в АСТПП. В результате формируется обратная связь АСТПП со всеми подсистемами ГПС.

Наличие двусторонней связи АСТПП с другими системами обеспечивает гибкость функционирования ГПС, возможность оптимальной организации технологического процесса и оперативное изменение его параметров на всех уровнях.

Таким образом, АСТПП предназначена для приведения производства в исходный режим и обеспечивает 4 группы функций.

1. Определяет технические возможности ГПС (возможно ли вообще изготовление детали на том или ином ГПУ):

1.1 контроль конструкторского чертежа (чаще всего контроль размерных цепей – возможно ли изготовление размеров с заданными допусками);

1.2 система технологической оценки процессов механической обработки и сборки (возможна ли обработка деталей с такими габаритами и т.д., насколько удобна обработка такой детали на данном оборудовании).

2. Функция проектирования технологий:

2.1 системы проектирования технологических процессов сборки и механической обработки;

2.2 проектирование и сборка оснастки;

2.3 разработка операционных карт;

2.4 разработка управляющих программ.

3. Функция, направленная на моделирование и рациональное структурно-компоновочное построение участка:

3.1 математическое моделирование;

3.2 имитационное моделирование.

4. Функция, направленная на сервисное обслуживание:

4.1 контроль исходных данных;

4.2 диагностика хода решения;

4.3 диалог для обеспечения вмешательства человека в ход решения.

В современном производстве к автоматизации проектирования предъявляют следующие требования:

1 информационная увязка с другими системами ГПС;

2 использование прогрессивных методов автоматизированного проектирования;

3 рациональное распределение функций между технологом-проектировщиком и ЭВМ;

4 функциональная взаимосвязь САПР конструкторской и технологической документации;

5 модульность построения САПР ТП с выделением отдельных подсистем технологической подготовки производства.

Последнее требование предполагает деление САПР ТП на подсистемы, функции и содержание которых представлены ниже.

Подсистема управления. Выполняет функции оперативного регулирования деятельности всех технологических служб.

Подсистема отработки конструкции на технологичность. Содержит сведения о типовых конструкциях деталей и нормализованных элементах, типовые технологические процессы, сведения о материалах, точности и качестве обработки поверхностей, видах химико-термической обработки и пр. Основные функции подсистемы:

1 оценка конструкции на технологичность на основе количественных и качественных показателей;

2 прогнозирование технологичности конструкции на стадии проектирования новых изделий;

3 снижение номенклатуры изделий путём их унификации и стандартизации;

4 развитие конструктивного подобию и унификации поверхностей для типизации технологических процессов;

5 проработка конструктивных форм изделий, позволяющих с необходимой точностью и жёсткостью устанавливать изделия на оборудовании при изготовлении, транспортировании, складировании и контроле качества;

6 обеспечение минимального количества операций за счёт использования единых технологических баз;

7 изменение конструкции изделия с целью использования стандартного инструмента, унифицированной оснастки, транспортных и др. средств.

Подсистема проектирования технологических процессов. Включает информацию о типовых технологических переходах, операциях, содержит базы данных оборудования, технологической оснастки, режущего инструмента, мерительного инструмента, подпрограммы определения и оптимизации режимов резания. На систему возлагаются следующие функции:

1 проектирование маршрутных технологических процессов;

2 проектирование операционных технологических процессов;

3 формирование типовых и групповых технологических процессов.

Подсистема технического нормирования. Представляет собой пакет программ расчёта норм времени на основе баз данных по нормированию технологических процессов. Основной функцией является расчёт времени обработки, что формирует основу для календарного планирования и контроля в АСУ. Существует два типа систем: опытно-статистического и расчётно-аналитического нормирования.

Подсистема разработки управляющих программ. Обеспечивает автоматизированную разработку управляющих программ для станков с ЧПУ и систем обеспечения ГПС.

Подсистема проектирования оснастки. Функционирует параллельно с проектированием технологического процесса. Основывается на базах данных, содержащих классификаторы приспособлений, режущего и мерительного инструмента, типовые схемы базирования, библиотеки нормализованных и унифицированных элементов приспособлений, нормативные материалы и др. Подсистема предполагает:

- 1 ориентацию на унифицированную оснастку, выбор стандартных приспособлений;
- 2 доработку универсальных и нормализованных приспособлений;
- 3 проектирование спецоснастки;
- 4 обеспечение требуемой точности изготовления изделия;
- 5 возможность закрепления широкой номенклатуры заготовок – гибкость;
- 6 обеспечение свободного доступа режущего, слесарно-сборочного и контрольно-измерительного инструмента;
- 7 возможность использования её для транспортирования и хранения полуфабрикатов.

2.3.4 Автоматизированная система научных исследований

Автоматизированная система научных исследований (АСНИ) предназначена для сбора и обработки внутренней и внешней информации.

Функции АСНИ:

- 1 сбор технологической информации (внешней и внутренней);
- 2 сбор организационной информации (о запасах заготовок, количестве деталей, персонале и т.д.);
- 3 хранение информации;
- 4 переработка информации.

Приведём пример функционирования АСНИ. При обработке валов диаметры колеблются в определённом диапазоне значений. Нецелесообразно хранить информацию по результатам обработки каждого вала, лучше составить уравнение регрессии и хранить только его. Анализируя уравнение, мы можем прогнозировать точность обработки в будущем.

Первоначально собираются дискретные данные, которые обрабатываются для получения уравнения регрессии, распределения случайной величины разброса размера или др. По прошествии обработки первой партии дискретные данные вытираются, вместо них остается математическая модель. В результате в памяти хранятся не сами результаты обработки, которые занимают большой объём, а только их математические модели. При изготовлении других партий деталей математическая модель корректируется.

Рассмотренные функции характерны для нижнего и среднего уровня ГПС. Функции верхнего уровня ГПС направлены на обеспечение связей с другими предприятиями или поиск необходимой информации.



МОДУЛЬ 3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПС

В модуле 3 предусмотрено:

- изучение теоретического материала. Темы 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5;
- выполнение лабораторных работ 5 и 6;
- выполнение тестов 3 и 4.

Система контроля и оценивания студентов приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Система контроля и оценивания студентов

Контрольная точка	Критерии оценивания	Оценка	Рейтинг	Национальная оценка
Лабораторная работа 3	Полный ответ	A	50	5
	Каждый неверный ответ снижает рейтинг на 5 балла	B	40	4
		C	30	4
		D	20	3
		E	15	3
	Ответы не верны	FX	-	-
Лабораторная работа 4	Нет ответов	F	-	-
	Повні відповіді	A	50	5
	Кожна невірна відповідь знижує рейтинг на 3 бали	B	40	4
		C	30	4
		D	20	3
		E	15	3
	Ответы не верны	FX	-	-
	Нет ответов	F	-	-

Общее количество баллов за модуль – 100. Коэффициент – 0,3

3.1 Разработка технологических процессов в ГПС

Рабочая программа. Производственный и технологический процессы в условиях ГАП. Анализ номенклатуры выпускаемой продукции. Элементы технологического процесса в условиях ГАП. Технологичность изделия в условиях ГАП. Технологическая подготовка гибкого производства. Оптимизация технологии. Особенности выполнения технологических операций на ГПМ различного назначения. Особенности выполнения деталей типа тел вращения, фланцев, крышек, корпусных деталей с элементами зубчатого зацепления в условиях ГПС.

Литература: [1]с.53-94, с.154-161; [2]с.29-38; [3]с.61-118.

3.1.1 Выбор деталей для обработки в ГПС

Выбор деталей является ответственным этапом технологического проектирования ГПС. Случайно подобранная, непродуманная номенклатура может привести к неэффективности любых, даже самых совершенных в техническом отношении проектных решений.

Ниже перечислены основные критерии выбора деталей для обработки в ГПС.

Конструктивно-технологическое подобие. Необходимо подбирать детали, имеющие сходство по габаритным размерам, конфигурации, характеру конструктивных элементов, числу и взаимному расположению обрабатываемых поверхностей и особенно по составу операций и маршруту технологических процессов. Чем выше степень подобия, тем больше возможностей для сокращения номенклатуры оснастки и инструмента, применения методов групповой обработки.

Подобие марок материалов. Одновременная обработка на ГПС деталей из разнородных материалов создает проблемы, связанные с разделением стружки, ведет к усложнению организации работы ГПС и росту номенклатуры инструментов. Если в процессе обработки возможно образование сливной стружки, методы ее дробления должны быть точно определены до начала разработки проекта ГПС, в противном случае обработку таких деталей переводить на ГПС не рекомендуется.

Станкоемкость и число установов. На основе опытов эксплуатации первых ГПС можно рекомендовать, чтобы в состав автоматизированной линии или участка входило не менее четырех и не более 12 станков. Точно установленных ограничений по числу переустановок нет, однако в первую очередь необходимо выбирать детали, которые могут быть полностью обработаны не более чем за два-три установка. Минимальная станкоемкость одной операции (по всей номенклатуре деталей) зависит от числа станков в системе, пропускной способности транспортной системы и вспомогательных технологических позиций. Максимальная станкоемкость операции

определяется надежностью оборудования ГПС, наличием и степенью совершенства систем адаптации. В первом приближении станкоемкость одной операции должна быть не менее 10...15 мин (для ГПС на базе токарных станков с тактовыми столами 0,5...2,0 мин.) и не более 2...3 ч.

Состав оборудования ГПС. Номенклатура переводимых для обработки в ГПС деталей должна, по возможности, обеспечивать использование однотипного оборудования. Если необходимо применение специализированных станков разных моделей, в состав ГПС должно входить не менее двух единиц каждой из них. Особое внимание должно быть уделено вопросам совместимости разнотипного оборудования, как между собой, так и с основными агрегатами и системами ГПС (одинаковые присоединительные размеры спутников, кассет, хвостовиков вспомогательного инструмента, одинаковые устройства ЧПУ и др.).

Степень замкнутости маршрута обработки. В первую очередь на обработку в ГПС необходимо переводить детали, которые могут быть полностью обработаны в ней без прерывания маршрута для выполнения вне системы каких-либо специфических операций. Такие операции усложняют организацию производственного процесса в ГПС и увеличивают длительность производственного цикла. На основании опыта создания первых ГПС установлено, что отношение трудоемкости операций, выполняемых в ГПС, к общей трудоемкости обработки деталей должно быть не менее 0,8...0,9.

Заготовки для ГПС. Заготовки деталей, обрабатываемые на автоматизированных линиях и участках, должны отвечать следующим основным требованиям:

1 минимальный припуск, достаточный для обеспечения заданной точности и шероховатости обрабатываемой поверхности;

2 распределение припуска должно быть равномерным по поверхности заготовки и стабильным для всей партии деталей;

3 постоянство физико-механических свойств по всей поверхности;

4 постоянство уровня остаточных напряжений, не вызывающего деформирования детали при обработке;

5 база должна иметь относительно высокую точность формы и расположения поверхностей и обеспечивать надежное крепление детали при обработке;

6 характер отвода стружки от режущих кромок инструментов должен быть свободным, исключающим заклинивание и поломку инструментов, особенно при обработке отверстий малого диаметра;

7 разброс припуска не должен превосходить допустимого значения, обеспечивающего эффективный зажим заготовки в заранее настроенную оснастку;

8 заусенцы на обоих торцах заготовок должны быть сняты и кромки притуплены;

9 отклонение от перпендикулярности торцов заготовки к образующей не более 0,5 мм для заготовок диаметром до 100 мм и не более 1,0 мм для заготовок диаметром свыше 100 мм.

Опыт показывает, что заготовки, изготовленные одним и тем же способом, имеют значительные колебания припусков. Это требует обычно дополнительных усилий при выполнении первоначальных операций обработки деталей: программа обработки должна быть индивидуальной для каждой детали, требуется организация входного контроля и др.

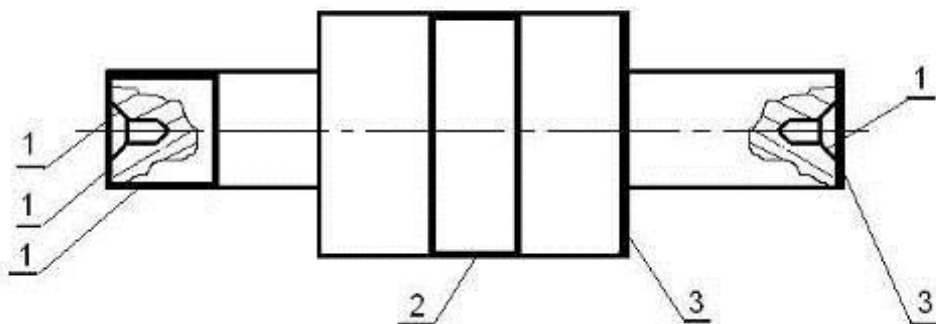
Учитывая, что создание автоматизированных производств ведется, как правило, в условиях действующих производств с установившимися требованиями к заготовкам, необходимо предусматривать создание вспомогательных участков из универсальных станков для обдирочных операций, обеспечивающих постоянство распределения припусков в заготовках. При этом надо учитывать, что чем выше точность заготовки, тем вероятнее возможность включения операций подготовки поверхности в производственные процессы ГПС.

3.1.2 Структура маршрутного технологического процесса.

В условиях ГПС маршрутный технологический процесс, как правило, разбит на три этапа.

Этап 1. На универсальном оборудовании выполняются операции подготовки баз. Для реализации этого этапа на участке устанавливаются универсальные станки (отрезные, токарные, фрезерные и другие). Они обеспечивают обработку базовых поверхностей.

Схема расположения баз на заготовке приведена на рисунке 3.1. Обрабатываются три вида баз: для установки детали, для захвата манипулятором и контроля положения заготовки.



1 – базы для установки детали; 2 – база для захвата манипулятором;
3 – базы для контроля положения детали

Рисунок 3.1 – Базы у детали типа тел вращения

Базами для установки деталей типа вал являются шейки, торец или центровочное отверстие. В деталях типа фланец и кольцо базами, как для установки заготовки, так и захвата манипулятором целесообразно выбирать отверстие заготовки. В процессе выполнения операции механообработки отверстие может быть использовано для переустановки детали. У корпус-

ных деталей базами являются опорная, направляющая и упорная поверхности. Они же одновременно могут служить и базами для контроля положения заготовки. Базы для захвата манипулятором не выполняются, так как заготовки устанавливаются в приспособления-спутники оператором, на слесарном участке.

На операциях по обработке баз нецелесообразно выполнять черновую обработку (обдирку) заготовок, так как это увеличивает время обработки и, тем самым снижает общую экономическую эффективность получения деталей.

Этап 2. Выполняются операции: механообработки, моечные, транспортные, электрофизические и электрохимические. Как правило, после черновой обработки выполняется термообработка (нормализация), которая предполагает транспортирование детали в цех термообработки. Это связано с расходом времени на транспортирование, поэтому нормализацию целесообразно заменять виброобработкой. Оборудование для нее устанавливается непосредственно в механообрабатывающем цеху.

Моечные операции проводятся в моечно-сушильном агрегате. Они должны выполняться после каждой операции механообработки. В моечно-сушильных агрегатах заготовки обмывается смазочно-охлаждающей жидкостью, а затем высушиваются горячим воздухом. Штучное время выполнения операции примерно 12-15 мин.

Заусенцы на ребрах между смежными поверхностями заготовки появляются вследствие вывода инструмента после проведения обработки. Снятие заусенцев проводится на электрофизических станках. Для повышения эффективности процесса снятия заусенцев необходимо разрабатывать операции механообработки, предшествующие электрофизической операции, таким образом, чтобы заусенцы находились на заданных ребрах заготовки. Это достигается правильным движением инструмента на инструментальных переходах.

Транспортирование деталей проводится по специальным технологическим процессам и алгоритмам. Подача заготовок со склада производится робототехническими тележками. Передача деталей с одного ОЦ на другой может проводиться только через склад, так как в условиях ГПС время выполнения операций не синхронизируется. Если заготовка не может быть изготовлена за одну установку от одной технологической базы, то в процессе обработки тела вращения переустанавливаются манипулятором, а корпусные детали переустанавливаются оператором, на слесарных участках. После переустановки заготовки она поступает на ГПМ для дальнейшей обработки.

В маршрутную технологию механообработки транспортная операция может вводиться в том случае, когда заготовка должна изменить свое положение и это повлияет на ход технологического процесса.

Этап 3. На последнем этапе выполняется контроль геометрических размеров, а в случае необходимости – физико-механических свойств поверхностного слоя изготовленной детали. Геометрические размеры контро-

лируются на координатно-измерительных операциях. Они, обычно, завершают маршрутный технологический процесс. В том случае если измерение с достаточной точностью можно провести датчиками касания, установленными на ОЦ, координатно-измерительная операция не вводится.

3.1.3 Структура операции технологического процесса

В связи со спецификой установки заготовок на ОЦ особое значение приобретает понятие **перехода**. Различают вспомогательные, элементарные, инструментальные и позиционные переходы.

Вспомогательный переход заключается в перемещении инструмента без снятия стружки. Следует записывать вспомогательные переходы, на которых осуществляется перемещение заготовки или инструмента по осям X, Y, Z и их поворот по координатам A, B, C. Первые переходы всегда являются вспомогательными. В них задаются действия по установке детали, контролю ее положения и вводу коррекции в систему ЧПУ. В процессе механообработки во вспомогательных переходах задаются повороты и перемещения заготовки по соответствующим координатам. Последовательная обработка нескольких одинаковых поверхностей, обычно связана с последовательным перемещением инструмента или заготовки. Задаются также переходы по замене режущего инструмента и его перемещению в заданные координаты. Система координат приведена на рисунке 3.2.

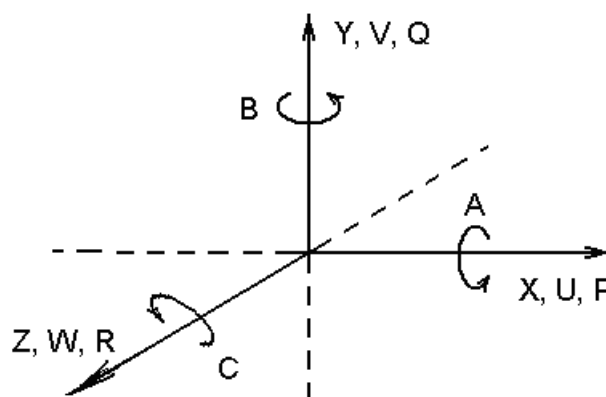


Рисунок 3.2 – Система координат системы ЧПУ

Элементарный переход заключается в обработке одной элементарной поверхности одним инструментом по заданной программе.

Инструментальный переход заключается в обработке одной или нескольких поверхностей при непрерывном движении одного инструмента по программе. Он характерен для токарных ОЦ, но может применяться и для сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ

Позиционный переход — это совокупность инструментальных и вспомогательных переходов, выполняемых при неизменной позиции заго-

товки по неизменной программе. Он характерен для операций на сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ

В начале операции механообработки идет вспомогательный переход обеспечивающий подачу заготовки в зону резания. Затем – вспомогательные переходы контроля положения заготовки и ввода коррекции для компенсации погрешности установки заготовки. Далее идут переходы по снятию припуска и вспомогательные переходы. Следует учитывать температурный режим заготовки. При этом назначать последовательность обработки необходимо таким образом, чтобы температура заготовки изменялась равномерно без перегрева отдельных ее частей.

Особенностью формирования операции является также наличие координатно-измерительных переходов. Они устанавливаются перед началом обработки для определения положения детали в пространстве и в конце операции – для определения истинных размеров детали. Измерение в конце операции устанавливается в том случае, если точность детали не требуется ее контроля на координатно-измерительной машине.

3.2 Разработка проекта ГПС

Рабочая программа. Организационно-технологическая подготовка производства на предпроектной стадии. Последовательность разработки проекта ГПС. Техническое задание на проектирование ГПС. Основные требования к организационной структуре в условиях ГПС. Организационно-технологическая структура, алгоритм функционирования ГПС и их оптимизация. Принципы построения планировочных решений. Проектирование схем размещения оборудования.

Литература: [1]с184-188, с230-235.

3.2.1 Предпроектный анализ производства

Длительность цикла проектирования ГПС и высокая стоимость их изготовления определяют необходимость проведения до начала проектных работ технологической проработки и исследования действующего производства с целью определения целесообразности создания ГПС и эффективности ее работы.

Методика проведения, перечень и содержание работ по анализу технологических процессов с целью их автоматизации зависят в первую очередь от серийности производства. При массовом и крупносерийном производстве рассматривают, как правило, весь технологический процесс изготовления изделия, начиная с заготовки и кончая упаковкой. При мелко- и среднесерийном производстве объектом анализа, как правило, является одно из производств предприятия, например механосборочное или кузнечно-прессовое.

Целью технико-экономического анализа при массовом и крупносерийном производстве является выявление наиболее эффективных путей сокращения трудоемкости изготовления изделий и выбор видов и составных частей ГПС в соответствии с конкретными производственными условиями.

Методами достижения этой цели являются:

- 1 изменение технологии;
- 2 замена материала;
- 3 изменение конструкции;
- 4 механизация отдельных операций;
- 5 комплексная механизация и автоматизация процессов изготовления наиболее трудоемких деталей и узлов;
- 6 использование многооперационного автоматического оборудования, в том числе на сборке.

Наиболее эффективным чаще всего является использование нескольких из перечисленных методов, например одновременное изменение материала конструкции и применение высокопроизводительного автоматического оборудования.

При выполнении технико-экономического анализа мелко- и среднесерийного производства может быть рекомендовано проведение следующих работ:

- 1 сбор и систематизация общих сведений об объекте автоматизации (участок, цех), техническое описание существующего объекта;
- 2 разработка существующей схемы технологических транспортных операций на объекте автоматизации;
- 3 разработка предложений по повышению уровня механизации и автоматизации;
- 4 обоснование, объем и содержание предлагаемой реконструкции производства;
- 5 технико-экономический анализ производства с учетом предложений по пп. 2 и 3;
- 6 разработка предлагаемой окончательной схемы технологических и транспортных операций на объекте;
- 7 определение стадий и этапов проведения работ по пп. 2 и 3;
- 8 утверждение документа.

В п. 1 «Сбор и систематизация общих сведений по изделию» приводят следующие данные: завод-изготовитель, наименование и назначение изделия, планируемый объем выпуска на текущий год, планируемый объем выпуска на ближайшее пятилетие, планируемая и фактическая себестоимость, планируемая и фактическая трудоемкость изготовления, перспективы изменения конструкции изделия. При технико-экономическом анализе составляют:

- полный перечень узлов и деталей с их чертежами;
- трудоемкость изготовления и себестоимость узлов и деталей.

При выполнении технико-экономического анализа мелко- и среднесерийного производства может быть рекомендован следующий перечень ра-

бот: сбор и систематизация общих сведений об объекте автоматизации (участке, цехе); анализ существующих схем технологических и транспортных операций на объекте автоматизации; разработка предложений по повышению уровня механизации и автоматизации.

Заключительным этапом предпроектного обследования должны явиться выводы и предложения по целесообразности организации автоматизированных производств и технико-экономической эффективности их функционирования.

Материалы предпроектного обследования должны стать основой для последующей разработки технических заданий на создание автоматизированных производств.

3.2.2 Принципы компоновки оборудования в ГПС

Для разработки компоновочного плана ГАУ и ГАЦ, т.е. решения вопросов размещения всех входящих в него подразделений, необходимо предварительно определить основные параметры здания, обеспечивающие наиболее рациональное взаимное положение участков с учетом существующих между подразделениями технологических связей и требований строительной техники.

Существует несколько типов компоновок ГПС:

Произвольная, при которой несколько станков в ГПС произвольно располагают в виде прямоугольника. Недостаток такой компоновки в том, что при наличии в ГПС свыше трех станков транспортные маршруты усложняются и удлиняются.

Функциональная, при которой станки (токарные, фрезерно-расточные и шлифовальные) располагают по функциональному признаку так, чтобы заготовки последовательно проходили с начала до конца ГПС. Эта компоновка характерна для цеха мелкосерийного производства.

Модульная, при которой аналогичные операции выполняются параллельно одинаковыми гибкими производственными модулями. Такая компоновка обладает определенными возможностями резервирования и при некоторых условиях может заменять функциональную. В свою очередь, резервирование облегчает применение этой компоновки при выполнении срочных заказов или решения неожиданно возникших проблем.

Групповая, при которой каждая группа станков предназначена для обработки определенной номенклатуры заготовок. Эта компоновка является развитием принципа групповой технологии и обеспечивает наивысшую производительность на операциях механической обработки. При различных типах заготовок ее можно применять также для поэтапного внедрения ГПС, поскольку каждая группа входящих в ГПС модулей может обладать автономной структурой. В случае крайней необходимости существуют некоторые возможности переноса обработки от одной группы к другой.

Планы ГАУ приведены на рисунках 3.3 – 3.6. На рисунках используются следующие сокращения:

- УВК – управляюще-вычислительный комплекс;
- ГПМ – гибкий производственный модуль;
- ПБ – участок подготовки базовых поверхностей;
- АСИО – автоматизированная система инструментаобеспечения;
- И – участок сборки, настройки и восстановления инструмента;
- М – моечно-сушильный агрегат;
- КИМ – координатно-измерительная машина;
- Б – участок утилизации отходов;
- Ш – участок финишной (шлифовальной) обработки;
- ПЗВ – позиция загрузки-выгрузки деталей и заготовок;
- СУ – слесарный участок;
- ТР – транспортная тележка.

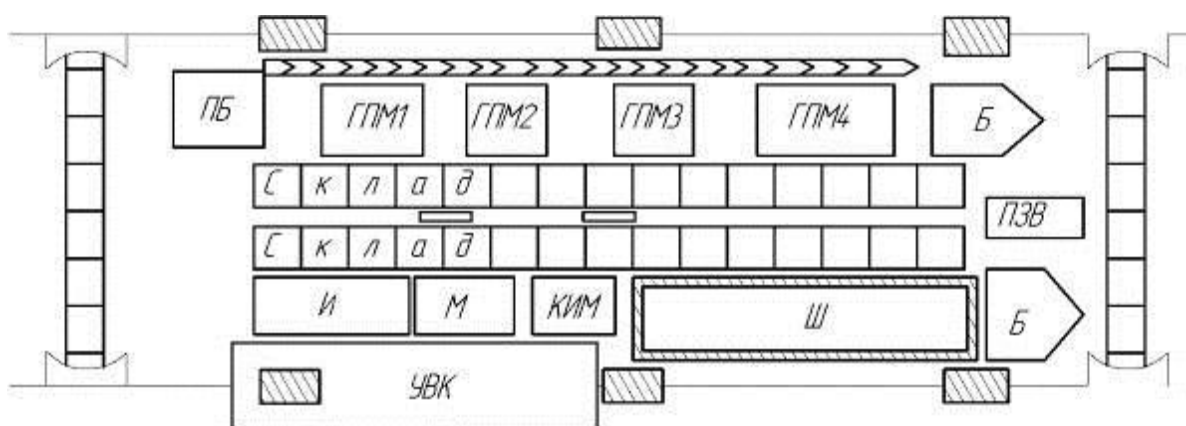


Рисунок 3.3 – План ГАУ с легкими токарными ОЦ

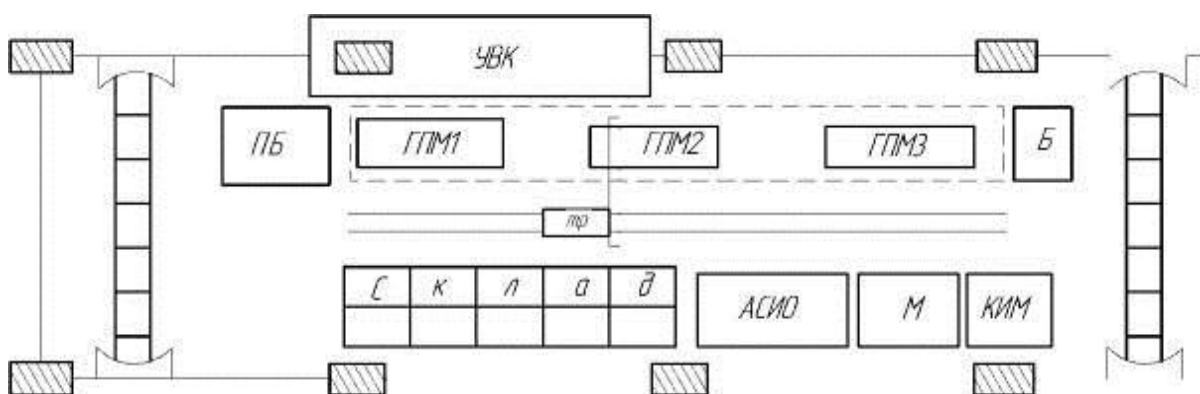


Рисунок 3.4 – План ГАУ с тяжелыми токарными ОЦ

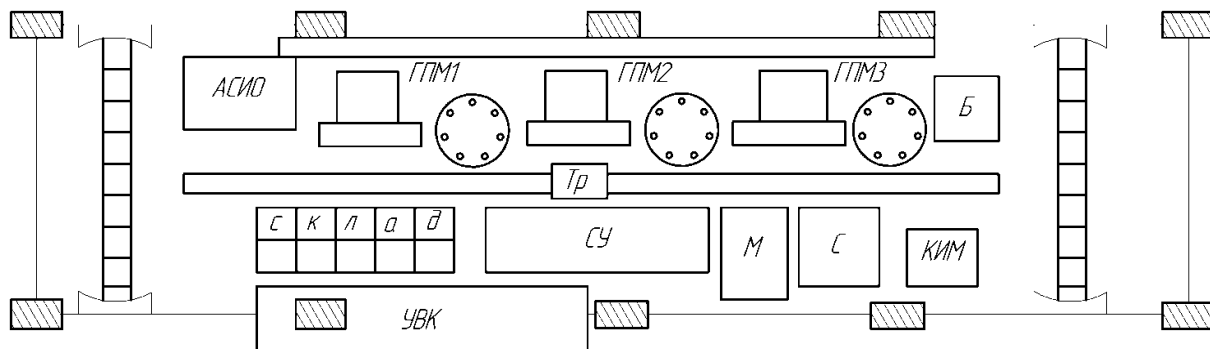


Рисунок 3.5 – План ГАУ со сверлильно-фрезерно-расточными ОЦ

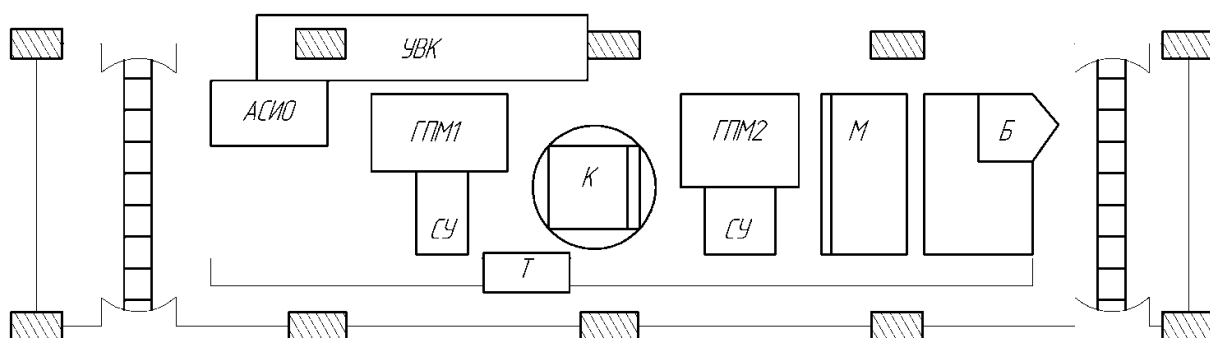


Рисунок 3.6 – План ГАУ с тяжелыми сверлильно-фрезерно-расточными ОЦ

ОЦ и вспомогательное оборудование в ГАУ можно устанавливать
1 непосредственно на полу;

2 на отдельных или общих для нескольких станков фундаментах.

Непосредственно на полу можно устанавливать легкие и средние станки общего назначения со спокойным ходом.

Отдельные фундаменты для металлорежущих станков устраиваются с целью равномерного распределения на грунт динамических усилий и предотвращения колебаний станин, а также распространения колебаний на окружающую площадь и соседнее оборудование.

Фундаменты под оборудование не должны быть связаны с фундаментом здания.

3.2.3 Техническое задание на проектирование ГПС.

Техническое задание (ТЗ) является основным документом для создания ГПС. Роль и значение этого документа существенно выше значения ТЗ на проектирование традиционных, неавтоматизированных производств. ТЗ на ГПС не только определяет требования к отдельным функциональным агрегатам и подсистемам, но и обеспечивает их сбалансированность и четкое взаимодействие.

При сложившейся практике проектирования ГПС техническое задание является единственным общесистемным документом, регламентирующим интеграцию отдельных элементов ГПС в единую систему; поэтому процесс разработки ТЗ с полным основанием можно считать важнейшей составной частью технологического проектирования ГПС.

Техническое задание на создание ГПС должно включать в себя, в общем случае, следующие разделы:

1 Общее описание и основные производственно-технологические параметры. В этом разделе приводят: формулировки целевого назначения и области применения ГПС; основание для разработки; основные характеристики ГПС (габариты, масса, конструктивные особенности, станкоемкость обрабатываемых деталей, производительность, режим работы, число единиц оборудования и оснастки, численность обслуживающего персонала и др.); структурную схему с внутренними и внешними связями; предварительную технологическую планировку с описанием работы ГПС.

2 Технологический процесс и оснастка. В данном разделе приводят перечень операций, выполняемых в ГПС, с привязкой к соответствующим техническим средствам. Классификатор обрабатываемых деталей. Технологические процессы (маршрутные и операционные) обработки типовых деталей с режимами резания, схемами базирования, номенклатурой и стойкостью режущего инструмента. Расчет элементов основного и вспомогательного времени; общие перечни технологической оснастки; сводную таблицу характеристик деталяеопераций (станкоемкость, закрепление за оборудованием; требуемое число инструментов и др.). Технологические процессы, выполняемые на вспомогательных позициях (закрепление заготовок на спутниках, ручной контроль обработанных деталей, сборка и настройка инструментов, сборка и переналадка приспособлений на спутниках) с расчетом времени их выполнения; технологические процессы переналадки ГПС; технологические процессы, выполняемые на автоматизированном вспомогательном оборудовании (очистка деталей от стружки, хранение, накопление, транспортирование деталей, их автоматизированный контроль и др.).

3 Расчет основных параметров ГПС. Здесь приводят: основания выбора структурно-компоновочного решения ГПС, расчеты фонда времени работы оборудования и коэффициентов использования станков; выбор их моделей и расчет их количества; определение величины партий запуска и расчет периодичности переналадок; расчет числа технологических позиций; расчет характеристик транспортной системы (вместимость автоматизированного склада), характеристик системы инструментального обеспечения, числа спутников, оптимизации пространственного размещения ГПС и др. Параметры рассчитывают методами теории массового обслуживания.

4 Технические требования к оборудованию, оснастке и технологическим позициям. В разделе приводят: общие и специальные требования к основному (металлорежущему) оборудованию, в том числе к его модернизации и дополнительному оснащению специальными системами; требования к оборудованию и системам для транспортирования, манипуляции, хране-

нию, контролю деталей, удалению стружки и СОЖ, к системам инструментального обеспечения, оборудованию и оргоснастке технологических позиций, режущему и вспомогательному инструменту, спутникам и приспособлениям.

5 Организация производства и управления. Приводят общие и специальные требования к системам организации производства и организации труда обслуживающего персонала. Требования к системам документооборота, регламентируются внешние связи ГПС. Рассчитывают количество и определяют функции обслуживающего персонала. Определяют порядок работы ГПС в сбойных и аварийных ситуациях, определяют структуру комплекса технических средств и программно-математического обеспечения системы управления. Организационно-технологические требования к ним и др.

6 Требования техники безопасности и промышленной санитарии. Приводят требования к оборудованию, системам организации труда, обеспечивающих безопасные и комфортные условия труда обслуживающего персонала при монтаже, отладке, эксплуатации и ремонте ГПС.

7 Расчет показателей технико-экономической эффективности и лимитной цены. Расчет проводят с соблюдением условий сопоставимости, желательно, для нескольких вариантов структурно-компоновочных решений ГПС (например, для участка из автономно работающих ГПМ).

Разработку ТЗ целесообразно вести в два этапа: сначала укрупненно определить основные параметры, после чего приступить к уточненным расчетам и детализации требований.

На основании общего ТЗ при необходимости разрабатывают отдельные ТЗ на оборудование, агрегаты, оснастку, системы управления и пр. ТЗ должны разрабатывать квалифицированные технологи при непосредственном участии конструкторов-разработчиков создаваемого производства.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Технологические основы ГПС : учебник для машиностр. вузов / В А Медведев, В Н Брюханов и др.; Под. ред. Ю М Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1991. – 239с.
- 2 **Пуховский Е.С.** Технологические основы ГАП : учебное пособие. – К. : Выща школа, 1989. – 240 с.
- 3 **Ратмиров В.А.** Управление станками ГПС / И А Ратмиров – М. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
- 4 **Пуховский Е.С.** Технология гибкого автоматизированного производства / Е.С.Пуховский, Н.Н.Мясников. – К. : Техника, 1989. – 207с.
- 5 Основы создания гибких автоматизированных производств /Под. ред. И Н Тимофеева – К. : Техника, 1986. – 144с.
- 6 Гибкие производственные комплексы. / В.А.Лещенко, В.М.Кисилев, Д.А.Куприянов и др.; Под. ред. П.Н.Белянина и В.А.Лещенко. – М. : Машиностроение, 1984. – 104с.
- 7 Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы : В 14 т. Т 3 : Гибкие производственные модули / Под ред. Б.И.Черпакова. – М. : Высшая школа, 1989. – 108с.
- 8 Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы: В 14 т. Т 6 : Роботехнические комплексы / Под ред. Б И Черпакова. – М. : Высшая школа, 1989. – 91с.
- 9 Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы: В 14 т. Т 9 : САПР в ГПС / Под ред. Б И Черпакова. – М. : Высшая школа, 1990 – 96с.
- 10 Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы: В 14 т. Т 10 : Гибкие автоматические линии массового и крупносерийного производства / Под ред. Б И Черпакова. – М. : Высшая школа, 1989. – 111с.
- 11 Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы : В 14 т. Т 13 : ГПС для сборочных работ /Под ред. Б.И.Черпакова. – М. : Высшая школа, 1989. – 108с.
- 12 Гибкие производственные системы : учеб. пособие для техникумов / П Н Белянин, М Ф Идзон, А С Жогин. – М. : Машиностроение, 1988. – 256с.
- 13 Игровое организационно-технологическое проектирование гибкого автоматизированного участка механической обработки : учеб. пособие для вузов / Харьковский политехн. ин-т. – К. : УМК ВО, 1989. – 144с.
- 14 **Вальков В.М.** Контроль в ГАП : / В М Вальков – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 232с.
- 15 Оперативное управление в ГПС / В Ф Горнев, В В Емельянов, М В Овсяников. – М. : Машиностроение, 1990. – 256с.
- 16 **Дабанян А.В.** Моделирование процессов развития и конструкции гибких автоматических систем / А В Дабанян, И В Кононенко. – Харьков:

Изд-во при ун-те, 1989. – 155с.

17 Гибкая производственная система: от проекта до эксплуатации / В П Занин, Г И Кабанов, В Г Логашев. – Л.: Лениздат, 1989. – 110с.

18 Моделирование гибких производственных систем / О М Панин, С Л Ямпольский, Л В Песков. – К. : Техника, 1991. – 180с.

19 **Лескин А.А.** Алгебраические модели гибких производственных систем / А А Лескин – Л. : Наука, 1986. – 150с.

20 **Логашев В.Г.** Технологические основы гибких автоматизированных производств / В Г Логашев – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985. – 176с.

21 **Меламед Г.И.** Гибкое автоматизированное производство: Станки с ЧПУ и роботы / Г И Меламед, Б М Турсунов. – Минск : Беларусь, 1986. – 159с.

22 ГПС в действии / Под. ред. В А Кудинова. – М. : Машиностроение, 1987. – 328с.

23 Технологическое оборудование ГПС /Под. общ. ред. А И Федотова, О Н Миняева. – Л. : Политехника, 1991. – 320с.

24 Модульное оборудование для ГПС механообработки : справочник / Р Є Сафраган, Г А Кривов, В Н Татаренко [и др.]. Под ред. Р Є Сафрагана. – К. : Техника, 1989. – 175 с

25 Оборудование и другие компоненты гибких производственных систем стран членов СЭВ (1987 – 1988) : Каталог /Сост.: А Н Кочкина, Г А Толкачева – М. : ВНИИТЭМР 1990. – 136с.

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Конспект лекций
и методические указания к самостоятельной работе**

**для студентов специальности 7.05050201, 8.0505201
всех форм обучения**

(Російською мовою)

Укладач: МЕДВЕДЕВ Вячеслав Степанович

За авторською редакцією

Редагування О. М. Болкова

Комп'ютерне верстання О. С. Орда

13/2014. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 1,16.
Обл.-вид. арк. 1,12. Тираж пр. Зам. №

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003