

ЛЕКЦИИ

Тема 1. Введение

Лекция 1. Некоторые определения из технологии средств связи (ТСС).

Производственный процесс (ПП)-это совокупность всех действий людей по изготовлению продукции с использованием необходимых средств технологического оснащения (СТО) на предприятии, включая материальное снабжение, транспортировку и управление.

Технологический процесс (ТП)-это часть ПП, содержащая непосредственную деятельность по изменению предметов труда. Различают следующие виды ТП: рабочий, проектный, единичный, типовой, стандартный, временный, перспективный и др. По методу исполнения различают следующие части ТП: формообразование, литьё, обработка резанием, термическая обработка, сборка, сварка, пайка, контроль качества и др. Важное значение имеет понятие типовой ТП (ТТП). ТТП –это процесс, разработанный для нескольких деталей или узлов, сходных по конструктивно-технологическим характеристикам и имеющим в данных производственных условиях общую последовательность выполнения технологических операций (ТО). ТО –представляет собой законченную часть ТП, выполняемую на одном рабочем месте. ТП, таким образом, состоит из отдельных технологических операций (ТО). ТО состоит в свою очередь из технологических переходов. Технологический переход-часть ТО, выполняемая одним инструментом. Часто используются также термины производственная система (ПС) и технологическая система (ТС). ПС-это совокупность людей, СТО, материалов и предметов труда, а также всего того, что необходимо на предприятии для изготовления или ремонта изделий, т.е продукции входящей в номенклатуру выпуска предприятия. В этом случае ПП определяется, как процесс функционирования ПС.

Соответственно, ТС-это часть ПС, непосредственно участвующая в преобразовании предметов труда в готовые изделия, а ТП- это процесс функционирования ТС. В процессе производства используется технологическое оборудование (ТО) и технологическая оснастка (вместе-СТО), которое может быть либо автоматическим (АСТО, АТО), либо-нет.

При этом под ТО понимают орудия производства, в которых для выполнения определенной части ТП размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них и, при необходимости, источники энергии.

Технологическая оснастка –это также орудия производства, добавляемые для выполнения определенной части ТП к основному ТО.

Виды производств, виды изделий. формы организации производств, технологическая подготовка производства (ТПП).

Производство бывает единичным, серийным и массовым.

Единичное –когда изготовление изделий по неизменным чертежам в общем случае не повторяется.

Серия –когда изделия, детали или узлы периодически изготавливаются по неизменным чертежам.

Массовое производство- когда изделия длительное время изготавливаются по неизменным чертежам.

Изделие –это объект производства, включённый в номенклатуру продукции предприятия. Изделия бывают специфицированные, которые состоят из двух или более частей, и неспецифицированные, не имеющие составных частей.

Неспецифицированные изделия иначе называются деталями, специфицированные – сборочными единицами (узлами).

По форме организации производство может быть поточным или непоточным.

Поточная организация производства характеризуется расположением СТО в последовательности выполнения технологических операций ТП и специализацией рабочих мест.

Перед началом выпуска изделий на предприятии проводится технологическая подготовка производства (ТПП).

ТПП- это совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих готовность предприятия к выпуску изделий в необходимых объёмах и заданного уровня качества.

ТПП регламентируется системой государственных стандартов (ЕСТПП).

ТПП включает решение задач, группируемых по следующим основным функциям:

1. Обеспечение технологичности конструкции изделий (ТКИ)
2. Разработка ТП

3. Проектирование и изготовление СТО
4. Организация и управление процессом ТПП.

Классификация ТП в ТСС.

По воздействию на предмет труда ТП можно классифицировать следующим образом:

1. Группа заготовительных ТП.

Предназначена для подготовки сырья и материалов, формирования заготовок.

В неё входят подгруппы:

переработка сырья и материалов (резка, рихтовка);

переработка жидких и сыпучих материалов (дробление, помол);

изменение агрегатного состояния (плавка металлов).

2. Группа ТП формообразования.

Предназначена для формирования конструктивных или электрических параметров.

Подгруппы ТП:

перераспределение объёмов исходных заготовок (штамповка, ковка, гибка);

удаление лишнего вещества (обработка резанием, шлифовка);

формообразование из жидких и сыпучих сред (литьё, формовка пластмасс, гальванопластика).

3.Группа ТП формирования структур.

ТП предназначены для придания заготовкам нужных физических свойств.

Подгруппы ТП:

объёмное формирование структур (полимеризация, пропитка);

формирование поверхностных свойств (создание резистивных и изоляционных плёнок);

смешанное структурообразование (оксидирование, диффузия).

4.Группа ТП сборки и монтажа

ТП предназначены для соединения деталей и узлов в функциональные группы.

Подгруппы ТП:

сборка с механическим креплением (свинчивание, склепка);

сборка с помощью физико-химических методов (сварка, пайка);

специальные виды сборки (намотка, селективная сборка).

5. Группа ТП сортировки и контроля.

ТП предназначены для выявления и группирования заготовок по сходным параметрам.

Подгруппы ТП:

визуальный контроль (сортировка по внешнему виду);

размерный контроль (измерение линейных и угловых параметров);

электрический контроль (контроль по допускам электрического параметра).

6. Группа ТП защиты и отделки.

Назначение –временная или постоянная защита от технологических или эксплуатационных факторов, придание эстетических свойств.

Подгруппы ТП:

технологическая защита (фотолитография);

эксплуатационная и декоративная защита (окраска, лакирование, гальванопокрытия);

специальные виды защиты (металлизация).

7. Вспомогательные ТП.

Назначение- подготовка к началу и к завершению ТП.

К этой группе ТП относятся: очистка, расконсервация, промасливание, комплектовка, упаковка и т.п.

Особенности ТП производства средств связи.

1.Большое разнообразие и сложность методов обработки: механические, химические, физико-химические, электрофизические и т.д.

2.Большое количество измерительных операций, с помощью которых контролируется соответствие параметров в процессе изготовления заданным величинам.

Это связано со сложностью ТП, которые обуславливают разброс параметров.

3. Многовариантность исполнения ТП, предназначенных для одной и той же цели. Например, электрические соединения могут выполняться пайкой, сваркой, скруткой и т.д. Не говоря уже о том, что сама сварка может быть лазерной, дуговой, электронно-лучевой и т. д.

4. Изменение серийности на различных стадиях производства.

Если на начальных стадиях производство массовое (например, производство электрорадиоэлементов), то по мере приближения к конечным операциям производство может быть мелкосерийным.

5. ТП имеют различную степень управляемости.

Соотношение между «входом» и «выходом» ТП характеризуется количественной и качественной неопределённостью.

Качественная неопределенность возникает тогда, когда, при заданных входных параметрах, на выходе можно получить несколько разновидностей изделий, которые рассортировываются в соответствии с величинами их параметров.

Количественная неопределенность в том, что, при заданном объеме запуска изделий на входе, количество изделий на выходе с требуемыми параметрами колеблется.

Случайный характер отношения «вход-выход» может привести к разветвлению одного потока изделий на несколько параллельных потоков.

6. Предыдущая особенность приводит к большому количеству контрольно-сортировочных операций.

7. Различный уровень автоматизации ТП (наряду с автоматическими есть и ручные операции, например, визуальный контроль). Это требует согласования по производительности и ритму.

Структура ТП.

В процессе изготовления изделия перемещаются друг за другом от одной ТО к другой , образуя поток изделий.

Поток соединяет между собой ТО и , таким образом, возникает структура ТП.

Можно выделить четыре структуры ТП:

последовательная;

параллельная;

встречно-параллельная;

комбинированная.

Рис.1.1. Последовательная структура ТП

Рис 1.2. Параллельная структура ТП.

Рис 1.3. Встречно- параллельная структура ТП.

На практике используется комбинированная структура из этих трех.

Стандартизация в области технологии.

Порядок и последовательность проектирования ТС регламентируется стандартами. Существует три категории стандартов:

- государственные стандарты (ГОСТы);
- отраслевые стандарты (ОСТы);
- стандарты предприятий (СПП).

ГОСТы по технологии объединены в системы стандартов:ЕСТД и ЕСТПП.

ЕСТД- единая система технологической документации устанавливает единые правила выполнения, оформления, комплектации и обращения технологической документации.

ЕСТПП-единая система технологической подготовки производства устанавливает правила по организации и управлению процессами ТПП предприятий

Подготовка ТП и производств к автоматизации. Требования к АТО

Создание автоматизированного производства- это комплексная задача, которая решается на основе совершенствования технологии изготовления деталей и сборочных единиц, применения промышленных роботов и робототехнических модулей, разработки новых оригинальных форм производства и управления, автоматизации погрузочно-разгрузочных и складских работ, использования имеющегося и создание нового высокопроизводительного оборудования. При подготовке имеющегося производства к автоматизации и созданию нового следует учитывать, что разные виды производства, например гальваническое, сварочное, штамповка и др. характеризуются различным составом технологического оборудования(ТО) и различными требованиями к нему.

Все виды производства по характеру деятельности и последовательности выполнения основных технологических операций можно разделить на дискретные (штамповка), дискретно-непрерывные (гальванические, литейные) и непрерывные (например, химическое).

Общие свойства автоматизированных производств: высокая гибкость, т.е. способность к быстрой переналадке, работа без обслуживающего персонала позволяют сформулировать и общие требования к оборудованию, а именно: высокая производительность, возможность работы в автоматическом режиме, управление с помощью систем ЧПУ, унифицированный модульный состав всех компонентов, высокая надежность и ремонтпригодность, помехозащищенность.

Таковы общие требования, но в зависимости от вида производства имеются и специфические требования к тому или иному виду ТО.

Лекция 2.

Системный подход к организации производства. Примеры сложных систем (СС).

Под сложной системой понимают совокупность частей (подсистем) или элементов, объединенных в одно целое общей целью функционирования.

Например:

- система связи создается с целью обеспечения связью;
- система радиолокации – для обнаружения объектов;
- ТС имеет целью выпуск продукции;
- система радиовещания создается для информационного обеспечения населения и т.д.

СС обычно состоит из подсистем низшего уровня иерархии, функционирующих самостоятельно.

Системный подход –это совокупность методов исследования СС.

Системный подход является общенаучным направлением в методологии и занимает ведущее место в познании.

В его основе лежит исследование объектов как сложных систем, направленное на поиск механизма целостности объекта и выявление всех его связей.

СС имеют свои методы исследования, совокупность которых называется системотехникой.

Системный подход предполагает, что любая система, безотносительно к ее физической природе , рассматривается как единое целое, функционирующее оптимальным по принятым критериям образом. Эти критерии иначе называют целевыми функциями. При этом методами системотехники оптимум общей для системы целевой функции можно отыскать по целевым функциям подсистем, взятым с соответствующими весами.

Изучение процессов функционирования систем производится с помощью моделирования.

Отличительные признаки СС

1. Наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов.
2. Сложность выполняемой системой функции, направленной на достижение заданной цели функционирования.
3. Возможность разбиения системы на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели функционирования всей системы.
4. Наличие управления, часто имеющего иерархическую структуру, разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации.

5. Наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия внешних факторов.

Методы исследования сложных систем и автоматизированных производств

Основным методом исследования является моделирование. Моделирование любой технологической системы, предполагает определение состава и характеристик её подсистем, элементов и связей между ними.

Методы моделирования можно разделить на два широких класса: аналитические и имитационные. Аналитическое моделирование основано на косвенном описании моделируемого объекта с помощью набора математических формул. Язык аналитического описания содержит следующие основные группы семантических элементов: критерий, неизвестные данные, математические операции, ограничения. Наиболее существенная характеристика аналитических моделей заключается в том, что модель не является структурно подобной объекту моделирования. Под структурным подобием понимается однозначное соответствие элементов и связей модели элементам и связям моделируемого объекта. К аналитическим относятся модели, построенные на основе аппарата математического программирования, корреляционного, регрессионного анализов, методов планирования эксперимента, теории массового обслуживания.

Аналитическая модель всегда представляет собой формальную конструкцию, которую можно проанализировать и разрешить математическими средствами. Так, если используется аппарат математического программирования, то модель состоит из целевой функции и системы ограничений на переменные. Целевая функция, как правило, выражает ту характеристику системы, которую требуется вычислить или оптимизировать. В частности, это может быть производительность системы. Переменные выражают варьируемые технические характеристики системы, ограничения – их допустимые предельные значения.

Процесс, происходящий на объекте, не имеет прямого аналога в аналитической модели. Аналитические модели являются эффективным инструментом для решения задач оптимизации или вычисления характеристик технологических систем.

Однако в ряде задач их практическое применение вызывает трудности из-за большой размерности. Например, для определения или оптимизации производительности и загрузки оборудования технологической системы необходимо решить задачу составления расписания её функционирования. Часто для реальных подсистем ГПС размерность этой задачи столь велика, что получение оптимального решения оказывается весьма сложным с вычислительной точки зрения. Для повышения вычислительной эффективности используют различные приёмы. Один из них связан с разбиением задачи большой размерности на подзадачи меньшей размерности так, чтобы автономные решения подзадач в определённой последовательности давали решение основной задачи.

При этом возникают проблемы организации взаимодействия подзадач, которые не всегда оказываются простыми.

Другой приём предполагает уменьшение точности вычислений, за счёт чего удаётся сократить время решения задачи.

Имитационное моделирование основано на прямом описании моделируемого объекта. Существенной характеристикой таких моделей является структурное подобие объекта и модели. Это означает, 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 эксперимента, подобен процессу в реальном объекте.

Поэтому исследование объекта на его имитационной модели сводится к изучению характеристик процесса, протекающего в ходе эксперимента.

Для формального представления ТС при имитационном моделировании обычно используется схема с дискретными событиями. При этом процесс функционирования системы во времени отождествляется с последовательностью событий, возникающих в системе в соответствии с закономерностями её функционирования. В формальное понятие «событие» вкладывается конкретное смысловое содержание, определяемое целями моделирования. Ценным качеством имитационного моделирования является возможность управлять масштабом времени. Системное время имитирует реальное время. При этом пересчёт системного времени в модели можно выполнять двумя способами: первый заключается в «движении» по времени с некоторым постоянным шагом Δt , второй в «движении» по времени от

события к событию. Считается, что в промежутках времени между событиями в модели изменений не происходит.

Кроме реального и системного времени существует ещё один тип времени – машинное, т.е. время, за которое реализуется имитационный эксперимент. При имитационном моделировании ТС стремятся «сжать» реальное время, т.е. продолжительность процессов в модели, измеряемое машинным временем, значительно меньше продолжительности тех же процессов в реальном объекте. Это даёт возможность изучать работу ТС на длительных интервалах времени.

Таким образом, основное назначение имитационного моделирования состоит в следующем:

- выделить наиболее существенные переменные, оценить степень влияния их изменения на исследуемые параметры системы, а также определить «узкие места», т.е. технологические, организационные или управленческие факторы, наиболее существенно влияющие на показатели функционирования системы;
- изучить воздействие различных организационных, управленческих и технико-экономических изменений на показатели функционирования системы;
- оценить различные варианты технических решений и стратегий управления при поиске оптимальной структуры ТС.

Имитация позволяет работать с моделями большой размерности, учитывать ограничения и условия, которые трудно включать в аналитическую модель, а также предоставлять результаты моделирования в наглядной, легко интерпретируемой форме. Однако, проведение имитационного эксперимента иногда оказывается трудоёмкой и длительной процедурой. Поэтому на практике при решении задач анализа и синтеза ГПС аналитическое и имитационное моделирование объединяют в комплексную процедуру. Аналитическое моделирование в такой процедуре используют для быстрой, но приближённой оценки основных характеристик ТС, что позволяет устранять наиболее существенные неточности проектирования, сбалансировать производительность отдельных элементов, выбрать ёмкость накопителей и сформулировать требования к системе управления. Имитационное моделирование занимает больше времени, но позволяет определить указанные и другие характеристики с более высокой степенью точности. Технологическую систему с точки зрения объекта моделирования можно разделить на основное технологическое оборудование (в том числе робототехнические модули), транспортную подсистему, подсистему складирования, контроля и испытаний и подсистему управления.

В каждой из этих подсистем, в свою очередь, можно выделить совокупность взаимосвязанных элементов. Так, основное технологическое оборудование состоит из отдельных единиц оборудования, каждая из которых характеризуется определёнными параметрами, например: длительностью выполнения технологических операций, надёжностью, ёмкостью магазина инструментов и т.д. Элементами подсистемы складирования являются склады, оперативные накопители и персональные накопители, совмещённые с основным оборудованием.

Наиболее важные их характеристики:

- ёмкость;
- время обмена изделиями;
- порядок доступа к изделиям в накопителе.

Все элементы (как и подсистемы) абстрактно можно описать тремя категориями: входы, процесс, выходы.

Входы и выходы представляют собой потоки материалов, заготовок, энергии, информации. Они могут иметь как непрерывный, так и дискретный характер. Процесс- это изменение состояния элементов во времени. Состояние можно представить вектором параметров, характеризующих процесс.

В зависимости от типа элемента и степени детализации процесса состояние может меняться дискретно (компоненты вектора состояния меняются в некоторые моменты времени скачком), либо непрерывно. Для моделирования удобно выделить типовые элементы, которые заранее могут быть описаны. К типовым элементам моделей ТС могут быть отнесены: элемент с одним входом и одним выходом, элемент с несколькими входами и одним выходом, элемент с одним входом и несколькими выходами.

ВХОДЫ

ВЫХОДЫ

Рис 1.4. Элемент технологической подсистемы.

Рассмотрим типовые элементы подробнее.

1. Элемент с одним входом и одним выходом.

Таковыми элементами описывается обрабатывающее оборудование, накопители, транспортные системы. Состояние накопителя определяется числом изделий, находящихся в нём в данный момент времени; состояние транспортной системы определяется такими характеристиками как загруженность, а также находится она в состоянии движения или простаивает, скорость и ускорение перемещения и т.п.

Состояние обрабатывающего оборудования может определяться следующими параметрами: перечень инструментов, которыми заполнен инструментальный магазин, тип инструмента, находящегося в данный момент в работе, характер движения инструмента, длительность выполнения операции и т.п. Выбор параметров, которыми описывается состояние, происходит на этапе постановки конкретной задачи моделирования и диктуется её характером.

Входами элемента являются потоки заготовок, изделий, инструментов, энергии, управляющей информации. Выходы элемента образуются потоками обработанных заготовок, изделий, изношенных инструментов, информации в управляющую подсистему.

2. Элемент с несколькими входами и одним выходом.

К таким элементам относятся сборочные автоматы, в которых происходит объединение (сборка) нескольких деталей в один узел.

3. Элемент с одним входом и несколькими выходами.

К таким элементам в некоторых случаях можно отнести автоматизированный склад изделий, заготовок, материалов или инструмента, имеющий одну загрузочную и несколько разгрузочных позиций.

Структуру всей системы можно представить в общем случае взаимосвязанной совокупностью её элементов, объединённых последовательно, параллельно, встречно-параллельно (т.е. с обратной связью) или смешанным образом.

При последовательном соединении выход предыдущего элемента является входом последующего.

Очевидно, при таком соединении элементов обрабатывающего типа необходимо, чтобы производительности их были равны. В ином случае элементы с большей производительностью будут работать с недогрузкой. В случае, когда возможны простои, связанные, например, с отказами оборудования, между последовательно соединёнными элементами целесообразно устанавливать буферный накопитель со страховым заделом (некоторым запасом заготовок для обработки). При нормальном функционировании в накопителе поддерживается постоянный задел.

При выходе из строя первого (по ходу технологического процесса) элемента второй не прекращает работу, но при этом страховой узел в накопителе будет уменьшаться.

Время работы второго элемента при неработающем первом определяется величиной страхового задела в накопителе. При отказе второго элемента задел в накопителе будет увеличиваться, а время работы первого элемента при неработающем втором определяется разностью между предельной ёмкостью накопителя и величиной задела в момент отказа второго элемента.

При параллельном соединении элементов их входы и выходы объединены. Такое соединение обеспечивает увеличение интенсивности обработки входных потоков, так как производительности элементов, соединённых параллельно, складываются.

Структура с встречно-параллельным соединением элементов (соединение с обратной связью), при котором часть выходного потока элемента S1 подаётся на вход элемента S2, приведена на рис.1.5.

Рис.1.5. Структура встречно-параллельного соединения элементов ТС.

На практике структуры с обратными связями применяются, например, если в элементе S1 производится контроль параметров изделия, а в элементе S2-исправление дефектов изделий, не прошедших контроль.

Реальные системы обычно имеют комплексную структуру, объединяющую различные типы соединений элементов.

Построение структуры новых высокоавтоматизированных производств является, как правило, трудно формализуемым процессом. Анализ предлагаемой структуры в значительной мере опирается на математическое моделирование. При этом возможно решение следующих задач:

- определить производительность всей системы и загрузку её отдельных элементов при известных характеристиках изделия, технологии, ресурсах производительности всех элементов и ёмкостях накопителей;
- определить необходимые ресурсы производительности всех элементов системы и ёмкости накопителей при известных характеристиках изделия, технологии и плановом задании;
- определить необходимую производительность транспортной подсистемы и ёмкости накопителей при известных характеристиках изделия, технологии, плановом задании и ресурсах производительности обрабатывающих и сборочных элементов;
- определить потерю производительности системы при отказе определённых элементов при известных характеристиках изделий, технологии, плановом задании, ресурсах производительности и ёмкостях накопителей.

Перечисленные задачи являются наиболее характерными при анализе проектов ГПС, но не исчерпывают список возможных постановок задач.

Лекция 3.

Уровни автоматизации в условиях различных видов производств

Под автоматизацией технологических процессов (ТП) и производств понимается частичная или полная замена труда людей в производстве продукции и управлении производством с помощью машин.

По степени развития автоматизации производственного процесса можно выделить следующие уровни:

- автоматизация отдельных технологических операций;
- одновременная автоматизация комплекса основных технологических операций;
- комплексная автоматизация, охватывающая как основные, так и вспомогательные операции;
- гибко перенастраиваемое автоматизированное производство и интегральные производственные комплексы – это высшая форма автоматизации.

Для первого уровня характерно наличие автоматического технологического оборудования (АТО) или полуавтоматов на отдельных, обычно наиболее трудоёмких, технологических операциях (ТО).

Под АТО понимается такое оборудование, которое выполняет и рабочие и холостые (вспомогательные) движения (ходы) без участия человека-оператора.

Рабочие ходы – это движение рабочих органов АТО, в процессе которых производятся формирующие воздействия на предмет труда.

Холостые ходы – это, например, подвод и отвод рабочего органа, загрузка и т.п.

Поддержание работоспособности АТО обеспечивают наладчики. Если кроме наладчика оборудование обслуживает оператор, то такое оборудование называют полуавтоматами. Автоматы и полуавтоматы могут быть организованы в поточные линии.

Для второго уровня характерно создание автоматических линий.

Под автоматической линией понимается система машин, расположенных в определённой последовательности, автоматически выполняющих комплекс ТО и объединённых средствами транспортировки и управления.

В целом традиционная автоматизация на базе специальных средств имеет следующие ограничения: быстрое моральное старение, длительный срок и высокая стоимость освоения новой продукции, ограниченные возможности для автоматизации операций, требующих гибкости в процессе их выполнения (сборка, контрольно-испытательные и ремонтные операции). При общей тенденции

современного производства к увеличению мобильности выпускаемой продукции и технологии производства значение этих ограничений со временем растёт.

Новые возможности в автоматизации производства для преодоления существующих ограничений даёт развитие робототехники и так называемых гибких (или гибко - переналаживаемых) автоматических производственных систем (ГПС).

Коротко ГПС можно определить следующим образом:

Автоматическое производство изделий сколь угодно малыми партиями; себестоимость и производительность близки к их значениям, достигнутым в современном крупносерийном производстве; количество работающих людей на этом производстве меньше по сравнению с существующим производством на один или два порядка, т.е. это «безлюдное» производство; комплексная автоматизация всех звеньев производства, включая автоматизацию технологических процессов, подготовку производства, разработку конструкторской документации, автоматизацию планирования и управления производством в целом.

Появление ГПС имеет свою историю. Гибкие автоматические производства появились не сразу. Промышленная история ГПС насчитывает несколько этапов.

Первый этап – появление технологического оборудования (ТО) с числовым программным управлением (ЧПУ). Эти первые компоненты ГПС появились в 1955г. Станки внедрялись очень медленно и лишь к 1970г. ситуация изменилась в связи с появлением второго поколения оборудования с ЧПУ с управлением от ЭВМ и микропроцессоров. Это второй этап. Главным результатом было появление второго компонента ГПС – микропроцессоров. Это резко повысило надёжность оборудования и уменьшило их стоимость.

Третий этап развития ГПС – появление промышленных роботов (ПР). Продолжением этого этапа в настоящее время является создание нового поколения ПР, использующих сенсорное и микропроцессорное управление.

Четвёртый этап – появление типовых автоматизированных технологических модулей (РТМ), например, в металлообработке (станок-робот), в прессовом производстве (пресс-робот). Такие модули (иначе- ячейки) поставляются в комплекте.

Пятый этап – интегральные производственные комплексы (ИПК), в которых автоматизированы все этапы создания аппаратуры, начиная от разработки конструкторской документации.

Структура гибких производственных модулей состоит из ГПМ. Гибкий производственный модуль (ГПМ) – это единица ТО, включающего обычно станок, ПР для обслуживания этого станка и систему, управляемую с помощью сменяемых программ.

Сменяемость программ обеспечивает переналадку ТО при изготовлении (обработке) разных объектов (изделий) из определённого класса объектов. Такие ГПМ используются в кузнечно-штамповочном производстве (робот-пресс), в механообрабатывающем производстве (робот – обрабатывающий центр), в сварочном производстве (помимо сварки ПР здесь обеспечивают установку изделий в приспособление, зачистку сварочных швов, контроль качества сварки и др.), в процессах нанесения покрытия (в гальванике, при окраске и т.д.), в сборочном производстве (например часов). Для программного управления используются микропроцессоры. ГПМ приспособлены для объединения с другими ГПМ в составе гибких производственных участков и линий (гибких производственных систем). Дальнейшим развитием ГПМ являются ГПС.

Обобщённая структура ГПС, независимо от назначения показана на рис.1.6.

Рис.1.6. Структура ГПС.

Дальнейшим развитием ГПС являются интегрированные производственные комплексы, схема которого показана на рис.1.7.

ТЗ

Изделие

Рис.1.7. Структурная схема ИПК.

Банк данных – автоматизированное хранилище информации. Банк включает в себя:

-собственно базы данных (БД)

-программную систему управления базами данных (СУБД)

База данных в САПР – совокупность взаимосвязанных данных, хранящихся во внешней памяти ЭВМ и используемых многими пользователями

Все функции по организации, обслуживанию и доступу к БД выполняется посредством специального программного обеспечения (СУБД). БД хранят информацию о ГОСТ, РТМ, типовые проекты и т.п.

- АСУП – автоматизированная система управления производством

- АСНИ - автоматизированная система научных исследований

- САПР – система автоматизированного проектирования
- АСТПП - автоматизированная система технологической подготовки производства
- АСИ - автоматизированная система испытаний.

Вопросы по теме 1.

1. Некоторые определения из ТСС.
2. Виды производств, виды изделий.
Формы организации производств, технологическая подготовка производства (ТПП).
3. Классификация ТП в ТСС и их особенности.
4. Структура ТП.
5. Стандартизация в области технологии.
7. Подготовка ТП и производств к автоматизации. Требования к АТО.
8. Системный подход к организации производства. Примеры сложных систем (СС).
9. Отличительные признаки СС.
10. Методы исследования сложных систем и автоматизированных производств.
11. Уровни автоматизации в условиях различных видов производств

Тема 2. Основные положения теории ТС. Точность

Лекция 1. Основные положения теории ТС. Расчетно-аналитические (РАМ) и статистические (СМ) методы оценки точности.

1. ТС-это часть ПС, непосредственно участвующая в преобразовании предметов труда в готовые изделия, а ТП- это процесс функционирования ТС.

ПС-это совокупность людей, СТО, материалов и предметов труда, а также всего того, что необходимо на предприятии для изготовления или ремонта изделий, т.е продукции входящей в номенклатуру выпуска предприятия В этом случае ПП определяется, как процесс функционирования ПС.

2. ТС-это сложная система с её отличительными признаками СС.

3. Исследования ТС удобно проводить на моделях дискретных систем, используя теорию СМО и имитационное моделирование на основе моделирующих алгоритмов.

4. ТС обладает определенными свойствами, которые могут использоваться как целевые функции при моделировании.

Свойство ТС –это объективная особенность, проявляющаяся при эксплуатации. Совокупность свойств ТС определяет её качество, т. е. пригодность удовлетворять потребности в соответствии с назначением.

Свойства ТС выражаются через её выходные параметры: точность, производительность, надёжность и т.д.

Точность

Под точностью ТС понимается степень приближения истинного значения выходных параметров изделий, изготавливаемых в этой системе, к номинальному значению этих параметров.

Разность между истинным значением параметра и номинальным называют погрешностью.

Можно выделить две группы методов оценки точности:

расчетно-аналитические (РАМ) и
статистические (СМ).

РАМ устанавливают зависимость изменения выходных параметров от изменения входных. СМ исследуют распределение выходного параметра относительно номинального значения, не связывая эти изменения со входными параметрами.

Расчетно- аналитические методы.

Рассмотрим два метода: метод оценки предельных погрешностей, иначе называемый методом «наихудшего случая», и метод статистических испытаний

Первый метод используется для упрощенного расчета при разработке конструкции и технологии РЭА. Пусть выходной параметр изделия определяется соотношением

$$y = f(x_i), i = \overline{1, n},$$

где x_i - входные параметры заготовки.

При обработке заготовки её параметры определяют выходной параметр изделия.

В случае отклонения параметров x_i от своего номинального значения на величину Δx_i , параметр y также будет иметь отклонение Δy .

Отклонения Δx_i могут быть вызваны нестабильностью ТП, неоднородностью исходных материалов и т.п.

Необходимо определить степень влияния исходных параметров x_i на выходной параметр y .

Метод «наихудшего» случая

Известно, что непрерывную и дифференцируемую функцию многих переменных можно разложить в ряд Тейлора. Ряд Тейлора для отклонения функции с помощью дифференциалов записывается в следующем виде:

$$\Delta y = f(x_i + dx_i) - f(x_i) = df(x_i) + d^2 f(x_i) / 2! + d^3 f(x_i) / 3! + \dots,$$

Где $df(x_i), d^2 f(x_i), d^3 f(x_i)$ - дифференциалы первого, второго, третьего порядка, $i = \overline{1, n}$.

Отбрасывая члены ряда второго и выше порядков, получаем:

$$\Delta y \cong df(x_i) = \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 + \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i.$$

Здесь $\frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i} = A_i$ - функция чувствительности, отражающая степень влияния входных параметров x_i на

выходной параметр y .

Функция чувствительности может быть как положительной, так и отрицательной величиной.

Сгруппируем их так, чтобы:

$$A_i < 0 \quad \text{при } i = \overline{1, m},$$

$$A_k > 0 \quad \text{при } k = \overline{m+1, n}.$$

Тогда наилучшие отклонения выходных параметров вычисляются по формулам:

$$\Delta y_{\max} = \sum_{i=1}^m A_i \Delta x_{i_{\max}} + \sum_{k=m+1}^n A_k (-\Delta x_{k_{\min}})$$

$$\Delta y_{\min} = \sum_{i=1}^m A_i (-\Delta x_{i_{\min}}) + \sum_{k=m+1}^n A_k \Delta x_{k_{\max}}$$

где $A_i > 0 \quad A_k < 0$.

В случае симметричных отклонений входных параметров

$$\Delta x_{i_{\text{пред}}} = \Delta x_{i_{\max}} = |-\Delta x_{i_{\min}}|,$$

предельное отклонение выходного параметра

$$\Delta y_{пред} = \sum_{i=1}^n |A_i| \cdot \Delta x_{i_{пред}}$$

Для относительных отклонений выходного параметра справедливо:

$$\delta y = \frac{\Delta y_{пред}}{y}$$

Если входные параметры являются случайными величинами, то дисперсия выходного параметра определяется по формулам:

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 \text{ - для независимых между собой } x_i \text{ и}$$

$$D(y) = \sum_{i=1}^n A_i^2 D(x_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n A_i A_k R_{ik} \sigma(x_i) \sigma(x_k) \quad i \neq k$$

для зависимых x_i , где R_{ik} - коэффициенты парной корреляции.

Пример. Выходной параметр устройства f зависит от его внутренних параметров x_j и задан соотношением:

$$y = \frac{b_1 x_1 + b_2 x_2}{b_3 x_3 + b_4 x_4}$$

При этом заданы следующие величины:

b_j	$M(x_j)$	$\frac{\sigma_{x_j}}{M(x_j)}$	R_{13}	R_{24}
$b_1=3$	$M(x_1)=1$	0.4	0.5	0.85
$b_2=4$	$M(x_2)=1.25$	0.4	0.5	0.85
$b_3=5$	$M(x_3)=1.5$	0.4	0.5	0.85
$b_4=6$	$M(x_4)=1.75$	0.4	0.5	0.85

Табл.№1. Задание

Получить количественные оценки точности выходного параметра.

1) Вычислим функцию чувствительности A_j :

$$A_j = \left. \frac{\partial y}{\partial x_j} \right|_{x_j = x_{норм}} \quad j=1 \dots n$$

$$A_1 = \frac{b_1}{b_3 x_3 + b_4 x_4} = \frac{3}{5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4} \bigg|_{\substack{x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = 0.166$$

$$A_2 = \frac{b_2}{b_3 x_3 + b_4 x_4} = \frac{4}{5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4} \bigg|_{\substack{x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = 0.222$$

$$A_3 = \frac{-b_3 \cdot (b_1 x_1 + b_2 x_2)}{(b_3 x_3 + b_4 x_4)^2} = \frac{-5 \cdot (3x_1 + 4x_2)}{(5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4)^2} \bigg|_{\substack{x_1=1 \\ x_2=1.25 \\ x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = -0.123$$

$$A_4 = \frac{-b_4 \cdot (b_1 x_1 + b_2 x_2)}{(b_3 x_3 + b_4 x_4)^2} = \frac{-6 \cdot (3x_1 + 4x_2)}{(5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4)^2} \Bigg|_{\substack{x_1=1 \\ x_2=1.25 \\ x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = -0.148$$

$$A_{jj} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_j^2} \Bigg|_{x_j=x_{j\text{ннн}}} \quad j=1 \dots n$$

$$A_{11}=0$$

$$A_{22}=0$$

$$A_{33} = \frac{2b_3^2 \cdot (b_1 x_1 + b_2 x_2)}{(b_3 x_3 + b_4 x_4)^3} = \frac{2 \cdot 5^2 \cdot (3x_1 + 4x_2)}{(5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4)^3} \Bigg|_{\substack{x_1=1 \\ x_2=1.25 \\ x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = 0.069$$

$$A_{44} = \frac{2b_4^2 \cdot (b_1 x_1 + b_2 x_2)}{(b_3 x_3 + b_4 x_4)^3} = \frac{2 \cdot 6^2 \cdot (3x_1 + 4x_2)}{(5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4)^3} \Bigg|_{\substack{x_1=1 \\ x_2=1.25 \\ x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = 0.099$$

$$A_{jk} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_j \cdot \partial x_k} \Bigg|_{\substack{x_j=x_{j\text{ннн}} \\ x_k=x_{k\text{ннн}}}} \quad j=1 \dots n, \quad k=1 \dots n, \quad k \neq j$$

$$A_{13} = \frac{-b_3 \cdot b_1}{(b_3 x_3 + b_4 x_4)^2} = \frac{-5 \cdot 3x_1}{(5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4)^2} \Bigg|_{\substack{x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = -0.046$$

$$A_{24} = \frac{-b_4 \cdot b_2}{(b_3 x_3 + b_4 x_4)^2} = \frac{-6 \cdot 4x_1}{(5 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4)^2} \Bigg|_{\substack{x_3=1.5 \\ x_4=1.75}} = -0.074$$

2) Вычислим математическое ожидание $M(y)$ и дисперсию $D(y)$ выходных параметров.

$$M(y) = f(x_{1\text{ннн}}, \dots, x_{n\text{ннн}}) + \Delta$$

$$\Delta = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n A_{jk} R_{jk} \sigma(x_j) \sigma(x_k) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n A_{jj} D(x_j) \quad j \neq k,$$

где второе слагаемое учитывает нелинейность функции.

$$D(y) = \sum_{j=1}^n A_j^2 D(x_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n A_j A_k R_{jk} \sigma(x_j) \sigma(x_k) \quad j \neq k$$

$$y = \frac{b_1 x_1 + b_2 x_2}{b_3 x_3 + b_4 x_4} = \frac{3 \cdot 1 + 4 \cdot 1.25}{5 \cdot 1.5 + 6 \cdot 1.75} = 0.444$$

$M(x_j)$	$\frac{\sigma_{x_j}}{M(x_j)}$	σ_{x_j}	$D(x_j)$	R_{13}	R_{24}	A_j	A_{jj}	A_{13}	A_{24}
$M(x_1)=1$	0.4	0.4	0.16	0.5	0.85	0.166	0	- 0.046	- 0.074
$M(x_2)=1.25$	0.4	0.5	0.25	0.5	0.85	0.222	0	-	-

								0.046	0.074
M(x ₃)=1.5	0.4	0,6	0.36	0.5	0.85	-	0.069	-	-
						0.123		0.046	0.074
M(x ₄)=1.75	0.4	0,7	0.49	0.5	0.85	-	0.099	-	-
						0.148		0.046	0.074

Табл. №2. Сводная таблица для вычислений M(y) и D(y).

$$\Delta = \frac{1}{2} (A_{13}R_{13}\sigma_{x_1}\sigma_{x_3} + A_{24}R_{24}\sigma_{x_2}\sigma_{x_4}) + \frac{1}{2} (A_{11}D(x_1) + A_{22}D(x_2) + A_{33}D(x_3) + A_{44}D(x_4))$$

$$\Delta = \frac{1}{2} (-0.046 \cdot 0.5 \cdot 0.4 \cdot 0.6 - 0.074 \cdot 0.85 \cdot 0.5 \cdot 0.7) + \frac{1}{2} (0 + 0 + 0.069 \cdot 0.36 + 0.099 \cdot 0.49) =$$

$$= 0.023$$

$$M(y) = 0.444 + 0.023 = 0.463$$

$$D(y) = A_1^2 D(x_1) + A_2^2 D(x_2) + A_3^2 D(x_3) + A_4^2 D(x_4) + A_1 A_3 R_{13} \sigma_{x_1} \sigma_{x_3} + A_2 A_4 R_{24} \sigma_{x_2} \sigma_{x_4}$$

$$D(y) = 0.166^2 \cdot 0.16 + 0.222^2 \cdot 0.25 + (-0.123)^2 \cdot 0.36 + (-0.148)^2 \cdot 0.49 +$$

$$+ 0.166 \cdot (-0.123) \cdot 0.5 \cdot 0.4 \cdot 0.6 + 0.222 \cdot (-0.148) \cdot 0.85 \cdot 0.5 \cdot 0.7 = 0.082$$

Лекция 2 Оценка точности методом статистических испытаний (методом статистического моделирования).

Этот метод относится к РАМ и основан на возможности генерирования с помощью компьютера псевдослучайных последовательностей чисел, в частоте появления которых отражается плотность распределения случайной величины X_i , т.е. $W(X_i)$. Метод используется, когда входные параметры X_i являются случайными величинами.

Компьютер может генерировать последовательность псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения в интервале $(0, 1)$. Случайные величины X_i могут в принципе иметь любой закон распределения.

Для того чтобы перейти от равновероятного распределения к любому, используют следующую теорему теории вероятностей:

Если случайная величина X имеет плотность распределения вероятностей $W(X)$, то случайная величина ξ , равная

$$\xi = \int_0^x W(X) dX = F(X)$$

имеет равновероятное распределение в интервале $(0, 1)$.

Генерируя числа ξ с равномерным распределением и решая приведенное выше уравнение можно перейти от равномерного распределения к любому.

Оценка точности производится в соответствии со следующей схемой (рис. 2.1.).

Рис. 2.1. Схема оценка точности

Таким образом случайные числа ξ , распределенные по равномерному закону, преобразуются в соответствующие значения входных параметров X_i , с плотностями распределения $W(X_i)$. На основании этих значений вычисляется одна реализация случайной величины y . Такие вычисления проводятся N раз, т.е. получаем выборку из N реализаций величины y . По этой выборке находим оценки математического ожидания и дисперсии y .

$$\bar{y} \approx M(y) = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}, \quad D(y) = \frac{\sum_{j=1}^N [y_j - M(y)]^2}{N-1}$$

Ограничением метода является сложность генерирования зависимых случайных величин x_j .

. Статистические методы оценки точности

Эти методы основаны на вычислении статистических характеристик:

$$\bar{y} \approx M(y) = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}, \quad D(y) = \frac{\sum_{j=1}^N [y_j - M(y)]^2}{N-1}$$

Методы не требуют знания зависимости между входными и выходными параметрами.

Для получения статистических характеристик используются выборки или сплошной контроль выходных параметров

Вопросы по теме 2.

1. Основные положения теории ТС. Свойства ТС.
2. Точность и оценка точности с помощью РАМ и СМ.
3. Метод «наихудшего случая» и вероятностный метод оценки точности.
4. Оценка точности методом испытаний.
5. Статистические методы оценки точности.

Тема 3 Надежность ТС как комплексное понятие.

Лекция 1. Надежность ТС.

Надежность ТС – это ее свойство быть работоспособной, т.е. выполнять заданные функции с требуемыми параметрами качества и производительности в течение определенного времени.

Надежность ТС зависит главным образом от надежности СТО, которые подвержены отказам в работе. Отказ-событие, состоящее в нарушении работоспособности ТС.

Надежность ТС – комплексное понятие, включающее четыре частных свойства: безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность.

Безотказность ТС – это её свойство сохранять работоспособность в течение некоторого времени без вынужденных перерывов.

К количественным показателям безотказности относятся: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ, наработка до первого отказа и другие показатели.

Ремонтпригодность ТС – это её свойство, заключающееся в приспособленности к предупреждению, обнаружению, и устранению отказов.

К количественным показателям ремонтпригодности относятся: вероятность восстановления в заданное время, среднее время восстановления, интенсивность восстановления, средняя трудоемкость технического обслуживания и т. д.

Долговечность ТС – это свойство сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Количественные показатели долговечности: ресурс, межремонтный срок службы, ресурс до первого капитального ремонта, средний срок службы и другие показатели.

Сохраняемость – безотказность при хранении, с соответствующими количественными показателями безотказности.

Количественные характеристики безотказности

1. $P(t)$ – вероятность безотказной работы в течение времени t . Этот показатель имеет следующие свойства:

$$\begin{aligned} P(0) &= 1 \\ P(\infty) &= 0 \\ 0 &\leq P(t) \leq 1 \end{aligned}$$

2. $Q(t) = 1 - P(t)$ – вероятность отказа в течение времени t

$Q(t)$ – интегральная функция распределения времени безотказной работы.

Применение распределения Пуассона к надежности ТС

Закон Пуассона записывается формулой:

$$P_m = \frac{(\lambda(t) \cdot t)^m}{m!} \cdot \exp(-\lambda(t) \cdot t),$$

P_m – вероятность появления ровно m событий за время t ;

$\lambda(t)$ – интенсивность потока событий.

При $m=0$ (т.е. за время t нет отказов) и $\lambda(t)=\lambda=\text{const}$. Из формулы Пуассона следует экспоненциальный закон надежности:

$$P(t) = \exp(-\lambda t)$$

Интегральная функция распределения времени безотказной работы:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

Плотность распределения времени безотказной работы:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$$

Среднее время безотказной работы:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt$$

Классификация отказов

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. По характеру возникновения | - внезапные,
постепенные |
| 2. По признакам проявления | - явные,
неявные |
| 3. По взаимосвязи между собой | - независимые,
зависимые |
| 4. По степени влияния на работоспособность | – полные или частичные |

Методы повышения надежности ТС

Для повышения надежности ТС используют метод резервирования некоторых ее элементов, имеющих низкую надежность, а также проведение профилактических работ, предотвращающих отказы. Любая ТС состоит из элементов (узлов). Надежность системы зависит от надежности ее элементов и от того, каким образом элементы объединены в систему и какова функция каждого из них.

В зависимости от того как элементы включены в систему и как они в ней функционируют различают два типа систем: систему без резервирования, т. е. такую систему, в которой отказ любого элемента приводит к отказу всей системы, и систему с резервированием, т. е. с дублированием элементов, что повышает надежность всей системы в целом.

От того когда дублирующий элемент включается в работу различают «горячее», «холодное» и «облегченное» резервирование.

Горячее резервирование- это такое резервирование, когда дублирующий элемент все время находится в рабочем состоянии и отказ основного элемента автоматически переводит систему на работу с дублирующим элементом. Поэтому надежность дублирующего элемента не зависит от того, когда он включился в работу.

При холодном резервировании дублирующий элемент до своего включения в работу после отказа основного вообще не может отказать.

Облегченное резервирование- это такое резервирование, когда дублирующий элемент может отказать еще до своего включения в работу в качестве основного, но с меньшей вероятностью, чем после включения.

Надежность нерезервированной системы

Нерезервированная система может быть условно представлена схемой последовательно соединенных элементов Э₁,.....Э₁,...Э_n (Рис. 3.1).

Рис. 3.1 Нерезервированная система

Надежность i -го элемента

$$P_i(t) = \exp(-\lambda_i \cdot t) = P_i$$

Если элементы независимы друг от друга, то надежность такой системы, т.е. вероятность того, что система в течение времени t будет работать безотказно, равна:

$$P_{сист} = \prod_{i=1}^n P_i$$

При равной надежности всех элементов надежность системы равна:

$$P_{сист} = P_i^n$$

Интенсивность отказов нерезервированной системы равна сумме интенсивностей отказов всех ее элементов:

$$\Lambda_{сист} = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

Надежность резервированной системы при горячем резервировании

Резервированная система может быть условно представлена схемой из n параллельно соединенных элементов Э1, Э2, ..., Э i , ..., Э n (Рис. 3.2.). Если отказал основной элемент Э1, то в работу включается дублирующий элемент Э2, если отказал элемент Э2, то в работу включается элемент Э3 и т.д.

Рис. 3.2 Резервированная система

При независимых отказах элементов надежность системы за время t определяется по формуле:

$$P_{сист} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$$

В случае, если $P_1 = P_2 = \dots = P_n = P$ надежность системы можно определить по формуле

$$P_{сист} = 1 - (1 - P)^n$$

В общем случае в резервированной системе могут быть наряду с параллельным и последовательное соединения элементов. Для оценки надежности такой системы следует условно расчленить ее на узлы, содержащие только последовательное или только параллельное соединения элементов. Затем условно выделить подсистемы, в которых узлы соединены последовательно или параллельно. Для каждого из узлов, а затем подсистем найти надежность по соответствующим формулам. Надежность всей системы определить в зависимости от соединения подсистем.

Пример

Система состоит из семи элементов в смешанном соединении (Рис. 3.3). Для расчета надежности этой системы сначала выделяем узлы А и В с последовательным соединением и рассчитываем их надежность. Затем выделяем подсистему АВ, состоящую из параллельно соединенных узлов А и В, и рассчитываем ее надежность и уже после этого производим расчет надежности всей системы.

Надежность узла А:

$$P_A = P_3 \cdot P_4$$

Надежность узла В:

$$P_B = P_5 \cdot P_6$$

Рис. 3.3. Система в смешанном соединении элементов

Надежность подсистемы АВ:

$$P_{AB} = 1 - (1 - P_A) \cdot (1 - P_B)$$

Надежность всей системы:

$$P_{сист} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_{AB} \cdot P_7$$

Вопросы по теме

1. Надежность как комплексное понятие.
2. Количественные характеристики безотказности.
3. Надежность нерезервированных систем.
4. Надежность резервированных и смешанных систем .

Тема 4 Анализ надежности

Лекция 1. Анализ надежности системы с холодным резервированием

Система с резервированием состоит из двух элементов: основного и резервного (ТА1 и ТА2) (Рис. 4.1.). До включения в работу резервный элемент находится в «холодном» состоянии (не может отказать). Для оценки надежности такой системы необходимо:

- задать интенсивности потока отказов элементов
- составить граф состояний системы
- по графу составить систему уравнений состояния системы и решить их.

Пример

Рис. 4.1. Система с резервированием

Интенсивность потока отказов основного элемента – λ_1 , резервного – λ_2 . Интенсивности потока отказов – простейшие (без последствий). Общее число возможных состояний-4:

$S_{10}, S_{01}, S_{00}, S_{11}$. Первая цифра в индексе соответствует состоянию основного элемента ТА1, вторая – состоянию резервного ТА2. При этом:
1-работоспособность,
0-отказ.

Состояние S_{11} в системе отсутствует.

Необходимо оценить надежность системы за время t .

Составляем граф состояний (Рис. 4.2).

Рис. 4.2. Граф состояний

S – состояния системы, $P(t)$ - вероятность нахождения в этом состоянии.

S_{10} – работает основной элемент.

S_{01} – основной элемент отказал, работает резервный.

S_{00} – отказали оба элемента

Система уравнений Колмогорова:

$$\frac{dP_{10}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{10}(t)$$

$$\frac{dP_{01}(t)}{dt} = -\lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{10}(t)$$

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot P_{01}(t)$$

$$P_{10}(t) + P_{01}(t) + P_{00}(t) = 1$$

Вероятность безотказной работы системы за время t определим по формуле:

$$P_{сум}(t) = P_{10}(t) + P_{01}(t) \quad \text{или} \quad P_{сум}(t) = 1 - P_{00}(t).$$

В этой системе нет стационарного режима, так как ТС не восстанавливается и предельные вероятности состояний равны нулю.

Считаем, что при $t=0$:

$$P_{10}(t) = 1, \quad P_{01}(t) = 0, \quad P_{00}(t) = 0$$

При $t=\infty$:

$$P_{10}(t) = 0, \quad P_{01}(t) = 0, \quad P_{00}(t) = 1.$$

Решение:

Исключим третье уравнение из системы, т.к. оно лишнее (три неизвестных, а уравнений -4).

Переписываем систему уравнений в изображениях по Лапласу:

$$p \cdot P_{10}(p) - P_{10}(t)|_{t=0} = -\lambda_1 \cdot P_{10}(p)$$

$$p \cdot P_{01}(p) - P_{01}(t)|_{t=0} = -\lambda_2 \cdot P_{01}(p) + \lambda_1 \cdot P_{10}(p)$$

$$P_{01}(p) + P_{10}(p) + P_{00}(p) = 1$$

Из первого уравнения находим:

$$P_{10}(p) = \frac{1}{p + \lambda_1}, \quad p\text{- оператор Лапласа, т.е.}$$

$$P_{10}(t) = e^{-\lambda_1 t}$$

Из второго уравнения находим:

$$P_{01}(p) = \frac{\lambda_1}{p + \lambda_2} \cdot P_{10}(p) \quad *$$

Это произведение двух изображений.

Для отыскания $P_{01}(t)$ используем интеграл Дюамеля.

$$\Phi(p) \cdot F(p) = L \left[\int_0^t f(\tau) \cdot \varphi(t - \tau) \cdot d\tau \right], \quad **$$

где

$$F(p) = L[f(t)]$$

$$\Phi(p) = L[\varphi(t)]$$

В нашем случае

$$F(p) = \frac{\lambda_1}{p + \lambda_2}, \quad f(t) = \lambda_1 \cdot e^{-\lambda_2 t},$$

$$\Phi(p) = P_{10}(p) = \frac{1}{p + \lambda_1}, \quad \varphi(t) = e^{-\lambda_1 t}$$

Оригинал $P_{01}(t)$ изображения $P_{01}(p)$, учитывая равенства * и **, можно вычислить по формуле:

$$P_{01}(t) = \int_0^t \lambda_1 \cdot e^{-\lambda_2 \tau} \cdot e^{-\lambda_1 \cdot (t-\tau)} d\tau = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Подставляем $P_{01}(t)$ в последнее уравнение и получим:

$$P_{00}(t) = 1 - P_{10}(t) - P_{01}(t) = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_2 t}$$

Итак:

$$P_{сум}(t) = P_{10}(t) + P_{01}(t) = 1 - P_{00}(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_2 t}$$

Этот анализ проведен для «холодного» резервирования, т.к. при $t=0$ резервный элемент не работает ($P_{11}(0) = 0$).

Для «горячего» резервирования при $t=0$ $P_{11}(0) = 1$.

Для «облегченного» резервирования при $t=0$ также $P_{11}(0) = 1$, но при отказе основного элемента изменяется интенсивность отказов резервного элемента.

Графы состояний для «горячего» и «облегченного» резервирования приведены ниже (Рис. 3.3 и 3.4).

Рис. 3.3 Граф состояний для системы с «горячим» резервированием.

Рис. 3.4. Граф состояний для системы с «облегченным» резервированием

Уравнения состояния для системы с «горячим» резервированием

$$\frac{dP_{11}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{11}(t) - \lambda_2 \cdot P_{11}(t)$$

$$\frac{dP_{10}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{10}(t) + \lambda_2 \cdot P_{11}(t)$$

$$\frac{dP_{01}(t)}{dt} = -\lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{11}(t)$$

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{10}(t)$$

$$P_{11}(t) + P_{10}(t) + P_{01}(t) + P_{00}(t) = 1$$

При $t=0$ $P_{11}(0) = 1$, остальные вероятности равны нулю;

При $t=\infty$ $P_{00}(\infty) = 1$, остальные вероятности равны нулю;

Уравнения состояния для системы с «облегченным» резервированием

$$\frac{dP_{11}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{11}(t) - \lambda_3 \cdot P_{11}(t)$$

$$\frac{dP_{10}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{10}(t) + \lambda_3 \cdot P_{11}(t)$$

$$\frac{dP_{01}(t)}{dt} = -\lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{11}(t)$$

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{10}(t)$$

$$P_{11}(t) + P_{10}(t) + P_{01}(t) + P_{00}(t) = 1$$

При $t=0$ $P_{11}(0) = 1$, остальные вероятности равны нулю;

При $t=\infty$ $P_{00}(\infty) = 1$, остальные вероятности равны нулю;

Анализ надежности системы с восстановлением элементов после их отказа

Анализ проведем для двух случаев, когда система состоит из двух и трех элементов.

1. Система состоит из двух элементов: технологического агрегата (ТА) и обслуживающего этот агрегат промышленного робота (ПР) (Рис. 3.5.).

Рис. 3.5. Система из двух элементов

Интенсивности отказов и восстановлений каждого элемента независимы и известны.
Отказ любого элемента приводит к отказу всей системы.

Считаем, что:

Интенсивность отказов ТА- λ_1 ,

ПР- λ_2

Интенсивность восстановлений ТА- μ_1 ,

ПР- μ_2

Общее число возможных состояний - $2^2 = 4$.

Составим граф возможных состояния системы (Рис. 3.6.).

Рис. 3.6. Граф возможных состояния системы

Обозначения:

S – состояния системы, $P(t)$ - вероятность нахождения в этом состоянии.

S_{11} – работают ТА и ПР;

S_{10} – работает ТА, ПР -отказал в работе;

S_{01} – ТА отказал в работе, ПР- работает ;

S_{00} – отказали оба элемента

Первая цифра в индексе соответствует состоянию ТА, вторая – ПР

Уравнения состояния системы:

$$\frac{dP_{11}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{11}(t) - \lambda_2 \cdot P_{11}(t) + \mu_2 \cdot P_{10}(t) + \mu_1 \cdot P_{01}(t)$$

$$\frac{dP_{10}(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot P_{10}(t) + \lambda_2 \cdot P_{11}(t) + \mu_1 \cdot P_{00}(t) - \mu_2 \cdot P_{10}(t)$$

$$\frac{dP_{01}(t)}{dt} = -\lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{11}(t) + \mu_2 \cdot P_{00}(t) - \mu_1 \cdot P_{01}(t)$$

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot P_{01}(t) + \lambda_1 \cdot P_{10}(t) - \mu_1 \cdot P_{00}(t) - \mu_2 \cdot P_{00}(t)$$

$$P_{11}(t) + P_{10}(t) + P_{01}(t) + P_{00}(t) = 1$$

Для установившегося режима системы левые части уравнений равны нулю и дифференциальные уравнения преобразуются в систему алгебраических уравнений.

2. Система состоит из трех элементов и представляет собой робототехнический комплекс (РТК) состоящий из: сборочного технологического оборудования (ТО), загрузочного и разгрузочного промышленных роботов (ПР1 и ПР2). После отказа любого элемента необходимо восстановить его работоспособность и, следовательно, работоспособность всей системы. Для оценки надежности такой системы необходимо:

- задать интенсивности потока отказов элементов

- составить граф состояний системы

- по графу составить систему уравнений состояния системы и решить их.

Пример

Рис. 3.7. Схема РТК

РТК состоит из трёх элементов (Рис. 3.7.):

загрузочного робота ПР1 (интенсивность отказа – $\lambda_1 = 1/20$; интенсивность восстановления – $\mu_1 = 1$)

Сборочного технологического оборудования ТО (интенсивность отказа – $\lambda_2 = 1/200$; интенсивность восстановления – $\mu_2 = 2$)

разгрузочного робота ПР2 (интенсивность отказа – $\lambda_3 = 1/10$; интенсивность восстановления – $\mu_3 = 1$)

Система имеет 2^3 возможных состояний: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. Где 1 – элемент в работоспособном состоянии, 0 – отказ. Позиционно первая цифра соответствует ПР1, вторая – ТО, третья –

ПР2. Система неработоспособна при отказе любого элемента. Отказы независимы (отказ одного элемента не влечёт за собой отказ другого).

Граф состояний будет иметь вид (Рис. 3.8.):

Рис. 3.8. Граф состояний

Уравнения Колмогорова:

$$\begin{aligned} \frac{dP_{000}(t)}{dt} &= P_{100}(t)\lambda_1 + P_{010}(t)\lambda_2 + P_{001}(t)\lambda_3 - P_{000}(t)\mu_1 - P_{000}(t)\mu_2 - P_{000}(t)\mu_3 \\ \frac{dP_{001}(t)}{dt} &= -P_{001}(t)\lambda_3 + P_{011}(t)\lambda_2 + P_{101}(t)\lambda_1 - P_{001}(t)\mu_1 - P_{001}(t)\mu_2 + P_{000}(t)\mu_3 \\ \frac{dP_{010}(t)}{dt} &= -P_{010}(t)\lambda_2 + P_{011}(t)\lambda_3 + P_{110}(t)\lambda_1 - P_{010}(t)\mu_1 + P_{000}(t)\mu_2 - P_{010}(t)\mu_3 \\ \frac{dP_{011}(t)}{dt} &= -P_{011}(t)\lambda_2 - P_{011}(t)\lambda_3 + P_{111}(t)\lambda_1 - P_{011}(t)\mu_1 + P_{001}(t)\mu_2 + P_{010}(t)\mu_3 \\ \frac{dP_{100}(t)}{dt} &= -P_{100}(t)\lambda_1 + P_{110}(t)\lambda_2 + P_{101}(t)\lambda_3 + P_{000}(t)\mu_1 - P_{100}(t)\mu_2 - P_{100}(t)\mu_3 \\ \frac{dP_{101}(t)}{dt} &= -P_{101}(t)\lambda_1 - P_{101}(t)\lambda_3 + P_{111}(t)\lambda_2 - P_{101}(t)\mu_2 + P_{001}(t)\mu_1 + P_{100}(t)\mu_3 \\ \frac{dP_{110}(t)}{dt} &= -P_{110}(t)\lambda_1 - P_{110}(t)\lambda_2 + P_{111}(t)\lambda_3 - P_{110}(t)\mu_3 + P_{010}(t)\mu_1 + P_{100}(t)\mu_2 \\ \frac{dP_{111}(t)}{dt} &= -P_{111}(t)\lambda_1 - P_{111}(t)\lambda_2 - P_{111}(t)\lambda_3 + P_{011}(t)\mu_1 + P_{101}(t)\mu_2 + P_{110}(t)\mu_3 \\ P_{111}(t) + P_{011}(t) + P_{110}(t) + P_{101}(t) + P_{001}(t) + P_{010}(t) + P_{100}(t) + P_{000}(t) &= 1 \\ \frac{dP_{000}(t)}{dt} &= 0.05P_{100}(t) + 0.005P_{010}(t) + 0.1P_{001}(t) - 1P_{000}(t) - 2P_{000}(t) - 1P_{000}(t) \\ \frac{dP_{001}(t)}{dt} &= -0.1P_{001}(t) + 0.005P_{011}(t) + 0.05P_{101}(t) - 1P_{001}(t) - 2P_{001}(t) + 1P_{000}(t) \end{aligned}$$

$$\frac{dP_{010}(t)}{dt} = -0.005P_{010}(t) + 0.1P_{011}(t) + 0.05P_{110}(t) - 1P_{010}(t) + 2P_{000}(t) - 1P_{010}(t)$$

$$\frac{dP_{011}(t)}{dt} = -0.005P_{011}(t) - 0.1P_{011}(t) + 0.05P_{111}(t) - 1P_{011}(t) + 2P_{001}(t) + 1P_{010}(t)$$

$$\frac{dP_{100}(t)}{dt} = -0.05P_{100}(t) + 0.005P_{110}(t) + 0.1P_{101}(t) + 1P_{000}(t) - 2P_{100}(t) - 1P_{100}(t)$$

$$\frac{dP_{101}(t)}{dt} = -0.05P_{101}(t) - 0.1P_{101}(t) + 0.005P_{111}(t) - 2P_{101}(t) + 1P_{001}(t) + 1P_{100}(t)$$

$$\frac{dP_{110}(t)}{dt} = -0.05P_{110}(t) - 0.005P_{110}(t) + 0.1P_{111}(t) - 1P_{110}(t) + 1P_{010}(t)\mu_1 + 2P_{100}(t)$$

$$\frac{dP_{111}(t)}{dt} = -0.05P_{111}(t) - 0.005P_{111}(t) - 0.1P_{111}(t) + 1P_{011}(t) + 2P_{101}(t) + 1P_{110}(t)$$

$$P_{111}(t) + P_{011}(t) + P_{110}(t) + P_{101}(t) + P_{001}(t) + P_{010}(t) + P_{100}(t) + P_{000}(t) = 1$$

В стационарном режиме после переходного периода элементарные вероятности состояний не меняются и производные по вероятности стремятся к нулю, следовательно, в стационарном режиме система дифференциальных уравнений превращается в систему алгебраических уравнений, которую можно решить (например, в MATLAB). Мы имеем 8 неизвестных и 9 уравнений.

$$0.05P_{100} + 0.005P_{010} + 0.1P_{001} - 4P_{000} = 0$$

$$-3.1P_{001} + 0.005P_{011} + 0.05P_{101} + 1P_{000} = 0$$

$$-2.005P_{010} + 0.1P_{011} + 0.05P_{110} + 2P_{000} = 0$$

$$-1.105P_{011} + 0.05P_{111} + 2P_{001} + 1P_{010} = 0$$

$$-3.05P_{100} + 0.005P_{110} + 0.1P_{101} + 1P_{000} = 0$$

$$-2.15P_{101} + 0.005P_{111} + 1P_{001} + 1P_{100} = 0$$

$$-1.055P_{110} + 0.1P_{111} + 1P_{010} + 2P_{100} = 0$$

$$-0.155P_{111} + 1P_{011} + 2P_{101} + 1P_{110} = 0$$

$$P_{111} + P_{011} + P_{110} + P_{101} + P_{001} + P_{010} + P_{100} + P_{000} = 1$$

Так как у нас восемь неизвестных, то одно уравнение можно отбросить.

-4	0.1	0.005	0	0.05	0	0	0	0
1	-3.1	0	0.005	0	0.05	0	0	0
2	0	-2.005	0.1	0	0	0.05	0	0
0	2	1	-1.105	0	0	0	0.05	0
1	0	0	0	-3.05	0.1	0.005	0	0
0	1	0	0	1	-2.15	0	0.005	0
0	0	1	0	2	0	-1.055	0.1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1

Находим корни системы уравнений любым удобным способом (вручную, используя Mathcad, Matlab или любую другую программу).

Пример решения системы уравнений в программе Matlab.

M-файл:

```
% вводим матрицу левой части системы уравнений
```

```
a=[-4 0.1 0.005 0 0.05 0 0 0
```

```
1 -3.1 0 0.005 0 0.05 0 0
```

```
2 0 -2.005 0.1 0 0 0.05 0
```

```

0 2 1 -1.105 0 0 0 0.05
1 0 0 0 -3.05 0.1 0.005 0
0 1 0 0 1 -2.15 0 0.005
0 0 1 0 2 0 -1.055 0.1
1 1 1 1 1 1 1 1];% вводим матрицу правой части системы уравнений
b=[0
0
0
0
0
0
0
1];
% находим вероятности
p=a\b
% делаем проверку
sum(p)

```

Результаты вычислений:

```

>>
p =
0.0000
0.0001
0.0043
0.0432
0.0002
0.0022
0.0864
0.8636

ans =
1

```

Вывод:

В результате получили следующие значения.

Вероятность того, что все элементы находятся в рабочем состоянии $P_{111} = 0.8636$; вероятность того, что все элементы отказали $P_{000} = 0.0000$. Остальные

вероятности. $P_{001} = 0.0001$ $P_{010} = 0.0043$ $P_{011} = 0.0432$ $P_{100} = 0.0002$ $P_{101} = 0.0022$ $P_{110} = 0.0864$.

В итоге получаем вероятность отказа системы $P_{отк} = 0.1364$

Вопросы по теме 4.

1. Анализ надежности ТС с «холодным» резервированием на основе уравнений состояния.
2. Анализ надежности ТС с восстановлением элементов на основе уравнений состояния.

Тема 5. Производительность ТС. Показатели производительности.

Лекция 1. Производительность ТС.

Производительность ТС- это её свойство производить определенный объем продукции за некоторое время её функционирования.

Производительность зависит от свойств потоков продукции на выходе ТС. Поток- это последовательность изделий на выходе, появляющихся друг за другом в некоторые, в общем случае случайные, моменты времени.

Поток может быть детерминированным и случайным. Для детерминированных потоков время между появлениями изделий постоянно. Это время называется ритмом выпуска.

Детерминированные потоки характерны для автоматизированных систем, случайные потоки – для человеко-машинных систем. ТС состоит из ряда технологических агрегатов (ТА), на каждом из которых выполняется своя технологическая операция (ТО) данного технологического процесса (ТП). Если ритм постоянен, т.е. поток детерминированный, и время нахождения обрабатываемых изделий в каждом из ТА также постоянно, то такие ТС называются системами с регламентированной дисциплиной обслуживания или иначе – системами с жестким ритмом. В общем случае время выполнения ТО может быть случайной величиной τ , распределённой по какому-либо закону, и не связано с временем нахождения обрабатываемого изделия в соответствующем ТА. В таких ТС ритм T приходится выбирать либо по величине максимального времени выполнения ТО (τ_{\max}), либо по величине среднего времени выполнения ТО (τ_{cp}), либо по какому-то промежуточному значению между этими двумя величинами.

При выборе $T = \tau_{\max}$ уменьшается коэффициент использования оборудования, при $T = \tau_{cp}$ или промежуточному значению τ возникает проблема устранения недоработок у некоторых обрабатываемых изделий.

Другой тип ТС, в которых обрабатываемые изделия передаются с одного ТА на другой сразу по завершении ТО, время нахождения обрабатываемых изделий в ТА является случайной величиной, ритм- также случайной величиной, - такие ТС называются системами со свободным ритмом.

Количественные показатели производительности □

Количественно производительность ТС в общем случае можно определить по формуле:

$$\pi = N(t) / t,$$

Где $N(t)$ -объём продукции, выпущенной ТС за время t ,
 t -время работы ТС.

Для случайных потоков производительность определяется как некоторая вероятностная характеристика потока

$$\pi_{вер} = P_{\pi \geq N} = \sum_{k=N}^{\infty} P_k(t)$$

Это вероятность того, что за время t будет выпущено не менее N единиц продукции.

Здесь $P_k(t)$ -вероятность того, что за время t будет выпущено ровно k единиц продукции.

Учитывая условия нормировки $\sum_0^{+\infty} P_k(t) = 1$ можно написать

$$\pi_{вер} = P_{\pi \geq N} = \sum_{k=N}^{\infty} P_k(t) = 1 - \sum_{k=0}^{N-1} P_k(t)$$

Для потока Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda \cdot t),$$

где λ -интенсивность потока Пуассона (среднее число изделий в единицу времени).

Для случайных потоков используется также показатель средней производительности π_{cp} -среднее число изделий, выпущенных за время t

$$\pi_{cp} = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P_k(t) = M[N(t)],$$

Где $M[N(t)]$ -математическое ожидание

Для потока Пуассона

$$\pi_{cp} = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P_k(t) = M[N(t)] = \lambda \cdot t$$

Сравнение по производительности ТС с жестким и свободным ритмом.

Исходные данные

- 1.Сравниваются два ГА с жестким и свободным ритмом;
- 2.Время ритма равно T ;
- 3.Сравнение на r ритмах;
- 4.Сравнивается годная продукция;
- 5.Время выполнения ТО-случайная величина;
- 6.Производительность сравнивается на промежутке времени работы системы, равном rT

Для ТС с жестким ритмом показатель средней производительности:

$$\pi_{cp}^{жс} = P_T \cdot r,$$

где P_T -вероятность выпуска годного изделия за время T :

$$P_T = \int_0^T f(\tau) d\tau,$$

τ -время выполнения ТО-случайная величина,

$f(\tau)$ - плотность распределения вероятностей τ .

Это показано на рисунке 5.1.

Рис. 5.1. Плотность распределения вероятностей

Для ТС со свободным ритмом:

$$\pi_{cp}^{св} = \frac{rT}{\tau_{cp}}, \text{ где } rT \text{ - время работы ТС,}$$

τ_{cp} - среднее время выполнения ТО.

Ритм можно представить в следующем виде:

$$T = \tau_{cp} + k \cdot \sigma_{\tau}$$

где τ_{cp} и σ_{τ} - среднее значение и СКВО времени выполнения ТО,

k - некоторый коэффициент, выбираемый исходя из заданного ритма (например, если $T = \tau_{\max}$, то для нормального закона распределения $f(\tau)$ величина этого коэффициента $k = 3$).

Составим соотношение:

$$\rho = \frac{\pi_{cp}^{св}}{\pi_{cp}^{жс}} = \frac{rT}{\tau_{cp}} \cdot \frac{1}{rP_T} = \frac{1 + \frac{k \cdot \sigma_{\tau}}{\tau_{cp}}}{P_T}$$

Это соотношение показывает, какая система является более производительной при заданных ранее условиях.

Так как $P_T \leq 1$, то:

$$\rho \geq 1 + \frac{k \cdot \sigma_{\tau}}{\tau_{cp}}, \text{ но так как } k \cdot \sigma_{\tau} \text{ всегда больше нуля, то } \rho \geq 1 \text{ (если } \tau \text{ - случайная величина то}$$

$\sigma_{\tau} > 0$, если $\tau = const$, то $\sigma_{\tau} = 0$ и $\rho = 1$).

Таким образом, производительность ТС со свободным ритмом при заданных условиях оказывается выше.

Вопросы по теме 5.

1. Производительность ТС с «жестким» и «свободным» ритмом.
2. Количественные показатели производительности

3. Сравнение по производительности ТС с «жестким» и «свободным» ритмом.

Тема 6. Автоматизированные поточные линии

Лекция 1 Автоматизированные поточные линии.

АПЛ состоят из АТО и автоматизированных транспортных средств.

Под ПЛ понимается производственный участок, на котором ТП организован на основе принципов пропорциональной производительности всех элементов, параллельности (при параллельной структуре ТП), ритмичности и непрерывности (отсутствие перерывов между ТО).

Классификация ПЛ.

В зависимости от номенклатуры изделий ПЛ подразделяются на ОНПЛ и МНПЛ.

По степени синхронизации ТО на непрерывные и прерывные.

По степени автоматизации на автоматизированные и неавтоматизированные.

Расчет организационно-производственных параметров ОНПЛ.

При проектировании ОНПЛ рассчитываются следующие ОПП:

1. ритм ОНПЛ
2. число рабочих мест на каждой ТО,
3. число мест обработки на линии,
4. коэффициент загрузки ОНПЛ,
5. необходимые заделы на поточной линии.
6. выбор схемы расположения оборудования

Расчеты производятся по формулам:

1. Ритм:

$$r = \frac{\Phi}{N}$$

где Φ – годовой фонд времени (час)

N – программа выпуска изделий за год (штук)

2. Число рабочих мест на i -ой ТО:

$$C_i = \frac{t_{умi}}{r} \quad \text{при длительности ТО равной или кратной ритму } r$$

$$C_i' = E\left(\frac{t_{умi}}{r}\right) + 1 \quad \text{при длительности ТО не равной или некратной ритму } r$$

где $t_{умi}$ – штучное время на i -ом ТО (мин)

$E\left(\frac{t_{умi}}{r}\right)$ – целая часть дроби, заключённой в скобки

3. Число рабочих мест на ОНПЛ:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_{умi}}{r}$$

где n – количество технических операций на линии

4. Коэффициент загрузки оборудования на i -ой ТО:

$$h_i = \frac{t_{умi}}{C_i \cdot r} \quad \text{или} \quad h_i = \frac{t_{умi}}{C_i' \cdot r}$$

5. Заделы на ОНПЛ:

-технологический задел

$$Z_{техн} = C_{\Sigma}$$

-транспортный задел

$$Z_{тр} = C_{\Sigma} - 1$$

-страховой задел $Z_{стр}$ равен 4-5% от сменного выпуска

-общий задел

$$Z_{общ} = Z_{техн} + Z_{тр} + Z_{стр}$$

На основании исходных данных и проведённых расчётов составляется схема расположения технологического оборудования.

Пример расчета

Определить ритм, число рабочих мест на каждой ТО, число мест обработки на линии, коэффициент загрузки ОНПЛ, необходимые заделы на поточной линии. Выбрать схему расположения ТО.

1. Расчётные соотношения:

Ритм:

$$r = \frac{\Phi}{N}$$

где Φ – годовой фонд времени (час)

N – программа выпуска изделий за год (штук)

Число рабочих мест на i -ой ТО:

$$C_i = \frac{t_{умi}}{r} \quad \text{при длительности ТО равной и кратной ритму } r$$

$$C_i' = E\left(\frac{t_{умi}}{r}\right) + 1 \quad \text{при длительности ТО не равной или некратной ритму } r$$

где $t_{умi}$ – штучное время на i -ом ТО (мин)

$E\left(\frac{t_{умi}}{r}\right)$ – целая часть дроби, заключённой в скобки

Число рабочих мест на ОНПЛ:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_{умi}}{r}$$

где n – количество технических операций на линии

Коэффициент загрузки оборудования на i -ой ТО:

$$h_i = \frac{t_{умi}}{C_i \cdot r} \quad \text{или} \quad h_i = \frac{t_{умi}}{C_i' \cdot r}$$

Заделы на ОНПЛ:

технологический задел

$$Z_{техн} = C_{\Sigma}$$

транспортный задел

$$Z_{тр} = C_{\Sigma} - 1$$

страховой задел $Z_{сmp}$ равен 4-5% от сменного выпуска.

общий задел

$$Z_{общ} = Z_{техн} + Z_{mp} + Z_{сmp}$$

Исходные данные:

Число технологических операций: $n = 5$

Годовой фонд времени работы оборудования: $\Phi = 3000$ (час)

Программа выпуска изделий:

$$N = 50000.$$

Время выполнения технологических операций:

$$t_{ум1} = 11.5$$

$$t_{ум2} = 5.5$$

$$t_{ум3} = 4.75$$

$$t_{ум4} = 13$$

$$t_{ум5} = 2.5$$

Подставляем исходные данные в расчетные формулы:

Ритм:

$$r = \frac{\Phi}{N} = \frac{3000}{50000} = 0.06 \text{ час/шт} = 0.06 \cdot 60 = 3.6 \text{ мин/шт}$$

Число рабочих мест на i -ой ТО:

$$C_i = \frac{t_{умi}}{r} \text{ при длительности ТО равной и кратной ритму } r$$

$$C_i' = E\left(\frac{t_{умi}}{r}\right) + 1 \text{ при длительности ТО не равной или некратной ритму } r$$

$$C_1 = E\left(\frac{11.5}{3.6}\right) + 1 = 4$$

$$C_2 = 2$$

$$C_3 = 2$$

$$C_4 = 4$$

$$C_5 = 1$$

Число рабочих мест на ОНПЛ:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_{умi}}{r} = 4 + 2 + 2 + 4 + 1 = 13$$

Коэффициент загрузки оборудования на i -ой ТО:

$$h_i = \frac{t_{умi}}{C_i \cdot r} \quad \text{или} \quad h_i = \frac{t_{умi}}{C_i' \cdot r}$$

$$h_1 = \frac{11.5}{4 \cdot 3.6} = 0.8$$

$$h_2 = \frac{5.5}{2 \cdot 3.6} = 0.76$$

$$h_3 = \frac{4.75}{2 \cdot 3.6} = 0.66$$

$$h_4 = \frac{13}{4 \cdot 3.6} = 0.9$$

$$h_5 = \frac{2.5}{1 \cdot 3.6} = 0.69$$

Заделы на ОНПЛ:

технологический задел

$$Z_{техн} = 13$$

транспортный задел

$$Z_{тр} = 13 - 1 = 12$$

страховой задел $Z_{стр}$ равен 4-5% от сменного выпуска.

В году 365 рабочих дней из них рабочих ≈ 265 . Следовательно, сменный выпуск составляет

$$\frac{N}{265} = \frac{50000}{265} \approx 189 \text{ шт}$$

$$Z_{стр} = 0.05 \cdot 189 = 10 \text{ шт}$$

общий задел

$$Z_{общ} = Z_{техн} + Z_{тр} + Z_{стр}$$

$$Z_{общ} = 13 + 12 + 10 = 35 \text{ шт}$$

На основании количества рабочих мест для каждой ТО строим схему расположения технологических операций (Рис. 6.1.):

Рис. 6.1. Схема расположения технологических операций

Расчет ОПП МНПЛ

МНПЛ эффективно применять в условиях разнородной номенклатуры изделий. Различают три разновидности МНПЛ:

- МНПЛ с единым ритмом выпуска,
- МНПЛ с частными ритмами выпуска,
- МНПЛ с движущимся технологическим заделом.

Условия организации МНПЛ с единым ритмом выпуска:

Изготавливаются изделия типов А, В, ..., М ;

$T_A = T_B = \dots T_M = T$ – трудоемкости изделий А, В, ..., М;

$r = const$, где r – единый ритм линии;

$v = const$. , где v - скорость движения конвейера.

Расчетные формулы:

1. Ритм выпуска

$$r = \frac{\Phi}{N_A + N_B + \dots + N_M} = \frac{\Phi}{\sum_{i=1}^M N_i} \quad , \text{ где } N_A, N_B \dots N_M \text{ - программы выпуска изделий А, В, } \dots \text{ и т.д.}$$

2. Количество рабочих мест на линии

$$c = \frac{T}{r}, \quad \text{где } T = T_A = \dots T_M$$

3. Средняя длительность простоя рабочего места (T_{np})

$T_{np} = 0$ -при отсутствии переналадки ,

$T_{np} = t_i$ -при наличии переналадки,

где t_i время переналадки.

Изделия могут запускаться последовательно или параллельно.

Условия организации МНПЛ с частными ритмами выпуска:

$c = const$, $r = var$, $v = var$

1. Количество рабочих мест:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^M N_i \cdot T_i}{\Phi}$$

2. Частные ритмы выпуска:

$$r_i = \frac{T_i}{c}$$

3. Средняя длительность простоя рабочего места:

МНПЛ с движущимся технологическим заделом рассчитываются по формулам для МНПЛ с частными ритмами

Вопросы по теме 6.

1. Определение и классификация автоматических поточных линий (ПЛ).
2. Расчет ОНПЛ.
3. Расчет МНПЛ
4. Расчет заделов на ПЛ.

Тема 7. Промышленные роботы и манипуляторы

Лекция 1. Назначение и роль ПР и МА в ТСС

Промышленные роботы и манипуляторы находят все большее применение, заменяя человека (или помогая ему) на участках с опасными, вредными для здоровья, тяжелыми или монотонными условиями труда. Особенно важно то, что ПР и МА можно применять для выполнения работ, которые не могут быть механизированы или автоматизированы традиционными средствами. ПР и МА создают предпосылки к качественно новому уровню автоматизации- автоматическим производственным системам, работающим с минимальным участием человека.

Одно из основных преимуществ ПР –возможность быстрой переналадки для выполнения задач, различающихся последовательностью и характером манипуляционных действий. Поэтому применение ПР и МА наиболее эффективно при частой смене объекта производства, а также для автоматизации ручного неквалифицированного труда. Так как основная часть продукции в производстве средств связи, а также в машиностроении в основном выпускается мелкими сериями, повышение автоматизации в этих областях является важной технико-экономической задачей.

Не менее важной задачей является и обеспечение быстрой переналадки автоматических линий в крупносерийном производстве.

ПР и МА дают возможность автоматизировать не только основные, но и вспомогательные операции.

Одной из важных причин развития в области внедрения ПР и МА является экономия средств. По сравнению с традиционными средствами автоматизации ПР и МА обеспечивают большую гибкость технических решений, снижение сроков запуска в производство автоматизированных систем.

Целесообразность применения ПР и МА должна диктоваться интересами человека, его безопасностью и удобством работы особенно во время выполнения работ на участках с вредными для здоровья и опасными условиями труда.

Основными предпосылками расширения применения ПР и МА являются следующие:

повышение качества продукции и объемов ее выпуска, уменьшении ее стоимости при неизменном или меньшем числе работающих за счет использования ПР и МА в робототехнических модулях, робототехнических комплексах и гибко-переналаживаемых автоматизированных производствах;

рост коэффициентов сменности работы оборудования и интенсификация производства; изменение условий труда работающих путем освобождения от неквалифицированного, монотонного, тяжелого и вредного для здоровья труда;

улучшение условий безопасности, снижение потерь рабочего времени от производственного травматизма и профессиональных заболеваний;

возможность автоматизации вспомогательных технологических операций, трудно поддающихся автоматизации с помощью традиционных средств;

экономия рабочей силы и высвобождение ее для решения других задач.

Лекция 2. Классификация и структура манипуляторов

Манипулятор (МА) –устройство, предназначенное для имитации двигательных и (или) рабочих функций руки человека и управляемое оператором или действующее автоматически.

Объектом манипулирования называется тело, перемещаемое в пространстве манипулятором. К объектам манипулирования относятся заготовки, детали, захватные устройства, обрабатывающий инструмент и т.п.

По методу управления МА можно разделить на:

- Биотехнические (с ручным управлением);
- Интерактивные (со смешанным управлением);
- Автоматические.

В состав структурной схемы МА входят следующие основные элементы:

Задающий орган- функциональная часть МА, предназначенная для создания управляющих сигналов и движений;

Исполнительный орган- функциональная часть МА, предназначенная для выполнения действий по сигналам и движениям, поступающим из задающего органа;

Связующий орган – предназначен для передачи сигналов и движений от задающего органа к исполнительному органу;

Рабочий орган – часть исполнительного органа, предназначенная для реализации технологического назначения МА (выполняется в виде захватов, инструмента и т.п.).

В зависимости от типа задающего органа **биотехнические МА могут быть трёх разновидностей**.

В **копирующем** МА движение рабочего органа повторяет перемещение кисти руки оператора.

Задающее устройство кинематически подобно исполнительному механизму (обычно снабжается устройствами, позволяющими оператору ощутить в масштабе силы, действующие на исполнительный механизм).

В **командном** (не копирующем) МА движение рабочего органа не связано кинематически с задающим устройством, и управление осуществляется по каждой из степеней подвижности в отдельности с помощью кнопок, рукояток и т.п.

В **полуавтоматическом** МА задающая система включает в себя рукоятку, управляющую несколькими степенями подвижности, и компьютер или вычислительное устройство, которое преобразует сигналы с рукоятки в сигналы, управляющие движениями исполнительных или рабочих органов (джойстик).

Все биотехнические МА отличаются от автоматических отсутствием устройства памяти и требуют непрерывного участия оператора в процессе управления.

В **автоматическом** МА выполнение рабочих функций обеспечивается без участия оператора.

К числу автоматических МА могут быть отнесены автооператоры, промышленные роботы и МА с интерактивным управлением.

Автооператор- неперепрограммируемый автоматический МА.

Промышленный робот- перепрограммируемый автоматический МА промышленного применения.

Характерными признаками ПР являются автоматическое управление и способность к перепрограммированию.

К классу роботов могут быть отнесены и МА с интерактивным управлением (интерактивные МА или интерактивные роботы).

Интерактивный МА – попеременно управляется оператором или действует автоматически.

В отличие от биотехнических, интерактивные МА имеют устройства памяти для автоматического выполнения отдельных действий. В зависимости от формы участия оператора интерактивное управление может быть двух видов:

- **автоматизированное**, т.е. чередование во времени автоматических режимов управления с биотехническими;
- **супервизорное**, когда все части заданного цикла операций выполняются роботом автоматически поэтапно, но переход от одного этапа к другому может осуществляться только после команды оператора.

Разновидностью интерактивного управления является диалоговое управление, предполагающее разнообразные формы общения оператора с системой управления (включая подачу команд голосом, текстом и т.п.)

Классификация МА по методу управления показана на рис. 7. 1.

Автоматические манипуляторы (роботы-манипуляторы) могут быть классифицированы по многим различным признакам, например, по грузоподъемности, типу привода, назначению т.п. В частности, по назначению они делятся на производственные (технологические), подъемно-транспортные (вспомогательные) и универсальные.

Рис.7.1. Классификация МА по методу управления

Структура роботов- манипуляторов

Современные и перспективные роботы- манипуляторы условно можно подразделить на три «поколения»: программные, адаптивные и интеллектуальные (с элементами искусственного интеллекта).

Термин «поколение» не означает смену одних поколений другими в отличие, например, от поколений компьютеров. Каждое из них имеет самостоятельное значение и будет совершенствоваться в соответствующих условиях эксплуатации в своем направлении.. Все они обладают свойством быстрого перепрограммирования на различные операции.

У программных роботов- манипуляторов перепрограммирование производится человеком, после чего МА действует автоматически, многократно повторяя жестко заданную программу.

Структурная схема показана на рис. 7.2.

У адаптивных роботов- манипуляторов основы программы закладываются человеком, но сам МА имеет свойство в определенных рамках автоматически перепрограммироваться (адаптироваться) в ходе работы в зависимости от обстановки, которая неточно определена заранее. Структурная схема показана на рис. 7.3.

У интеллектуальных МА задание на работу вводится человеком в более общей форме, а сам МА обладает возможностью принимать решение и планировать свои действия в распознаваемой им неопределенной или меняющейся обстановке так, чтобы суметь выполнить заложенное в его память задание. Следовательно, интеллектуальный МА обладает элементами искусственного интеллекта, состоящими в восприятии неопределенной или меняющейся обстановки, обработке информации о ней с целью выработки и принятия решения.

Структурная схема показана на рис 7.4.

Рис. 7.2. Структурная схема программного МА

Рис.7.3. Структурная схема адаптивного МА

Рис. 7.4. Структурная схема интеллектуального МА

Лекция 3 Подсистемы манипуляторов

Программный автоматический МА (ПР) можно условно представить состоящим из трех подсистем:

подсистема программного управления ;

подсистема очувствления (информационная);

механическая подсистема.

Подсистема программного управления предназначена для программирования, сохранения управляющей программы, ее воспроизведения и отработки.

Программа- полное и точное описание на некотором формальном языке процесса обработки информации, приводящего к решению поставленных задач. Управляющая программа- последовательность простых инструкций, выполненная на некотором формальном языке, занесенная память МА.

Воспроизведение программы- считывание информации из памяти МА и передача управляющих сигналов к исполнительным механизмам МА.

Подсистема очувствления (иначе, информационная подсистема) обеспечивает сбор, первичную обработку и передачу в

Систему управления данных о функционировании узлов и механизмов МА (в том числе и блоков системы управления) и о состоянии внешней среды.

Информационная подсистема по функциональному значению условно может быть разделена в свою очередь также на три подсистемы:

восприятия и переработки информации о внешней среде, в которой функционирует МА;

внутренней информации о состоянии узлов, механизмов и систем МА;

обеспечения техники безопасности.

Условность такого разделения определяется тем, что одни и те же датчики и блоки обработки информации могут участвовать как в восприятии внешней информации, так и в контроле собственного состояния МА, а подсистема обеспечения техники безопасности функционирует в результате взаимодействия первых двух подсистем.

Подсистема восприятия и переработки информации о внешней среде, в которой функционирует МА, определяет функциональные возможности МА и степень сложности решаемых им задач.

Подсистема включает контактные и дистантные датчики и предназначена для сбора информации с помощью этих датчиков о внешней среде , а также для контроля состояния объекта труда и обслуживаемого оборудования.

Контактные датчики применяют для обнаружения объекта манипулирования, установления момента соприкосновения с ним, определения размеров объекта, контроля давления на объект, выполнения различных производственных операций, установления подготовленности технологического оборудования к обслуживанию МА, а также для обеспечения безопасной работы. Назначение дистантных датчиков то же, что и контактных. Их преимущество- отсутствие

непосредственного соприкосновения с объектом, вследствие чего они не испытывают силовых воздействий.

Однако отсутствие контакта с поверхностью накладывает свои ограничения на решаемые с их помощью задачи.

Так, использование дистантных датчиков затрудняет определение некоторых физических параметров объектов манипулирования - шероховатости поверхности, теплоемкости, электропроводности и т.п., а также затрудняет захват хрупких (деформируемых) объектов и контроль за надежным удержанием этих объектов в процессе манипулирования с ними.

Подсистема внутренней информации о состоянии узлов, механизмов и систем МА в зависимости от решаемых задач может содержать следующие устройства:

устройства оценки положения и скорости движения степеней подвижности МА, регистрирующие фактическое его состояние в каждый момент времени и сравнивающие поступающую информацию с требуемыми параметрами движения;

устройства аварийной блокировки, предотвращающие поломки механической части МА и взаимодействующего с ним оборудования при появлении случайных сбоев;

устройства диагностики и прогнозирования ресурса МА, предназначенные для определения причин отказов, предупреждения о них и сокращения времени восстановления работоспособности МА, а также для уменьшения числа отказов МА путем своевременного проведения профилактических работ.

Датчиками системы внутренней информации могут быть элементы системы внешней информации (оценка положения степеней подвижности МА в пространстве путем прохода контрольных точек, оценка правильности протекания рабочего цикла по ответным командам от внешнего технологического оборудования и т.п.)

В качестве датчиков систем внешней и внутренней информации применяют предельные выключатели, бесконтактные переключатели, фотореле, реле давления, силовые датчики, датчики перемещения, датчики моментов, локационные датчики, лазерные датчики, кодовые датчики, вращающиеся трансформаторы и т.д.

Механическая подсистема обеспечивает выполнение двигательных функций и реализацию технологического назначения МА.

Она представляет собой пространственный механизм с разомкнутой кинематической цепью.

Конструктивно эта подсистема состоит из несущей конструкции, приводов, передаточных механизмов, исполнительных механизмов и захватных устройств.

Исполнительный механизм МА - совокупность подвижно соединенных звеньев, предназначенных для воздействия на объект манипулирования. Исполнительный механизм, осуществляющий транспортирующие и ориентирующие движения, называют рукой МА. Если звенья исполнительного механизма МА соединены между собой только вращательными кинематическими парами, то в совокупности они образуют руку шарнирного типа.

Захватное устройство – узел механической подсистемы МА, обеспечивающий захватывание и удержание в определенном положении объекта манипулирования. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму и массу, поэтому захваты относятся к числу сменных элементов МА. Как правило, МА комплектуют набором типовых (для данной модели) захватных устройств, которые можно менять в зависимости от конкретных условий.

Соединение звеньев в кинематическую цепь осуществляется с помощью кинематических пар. В большинстве конструкций МА нашли применение вращательные и поступательные кинематические пары, обеспечивающие одну степень свободы в относительном движении каждого из двух подвижно соединенных звеньев. Совокупность некоторого числа подвижно соединенных звеньев обеспечивает механизму определенное число степеней подвижности. Числом степеней подвижности W кинематической цепи называют число степеней свободы кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное.

Число степеней подвижности для кинематической цепи, образованной только вращательными и поступательными парами, можно определить по формуле:

$$W = 6n - 5p ,$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи;

p -число кинематических пар соответственно.

Относительные движения звеньев механической подсистемы МА, посредством которых реализуются степени подвижности, разделяют на три группы: ориентирующие, транспортирующие и координатные.

Ориентирующими движениями называют движения захватного устройства, соизмеримые с его размерами (это движения кисти руки). Транспортирующими движениями называют движения захватного устройства в различные зоны рабочего пространства, они определяются размерами звеньев руки и соизмеримы с размерами рабочего места (обслуживаемого оборудования), т.е. это движения руки.

Координатные движения- это перемещения на расстояния, превышающие размеры самого МА и размеры обслуживаемого им оборудования или рабочего места.

Механическая подсистема МА может быть разделена на четыре структурных элемента, отличающихся функциональным назначением и характером выполняемых движений: основание (неподвижное звено), которым, в частности, может быть опорная конструкция или путепровод; корпус (сойка, каретка :механическая рука; захватное устройство.

Число степеней подвижности этих элементов:

основания $W=0$;

корпуса $W \geq 0$, это определяет мобильность МА;

механической руки $W \geq 1$, определяется назначением МА;

захватного устройства $W \geq 0$ (в зависимости от способа удержания объекта манипулирования и конструктивного исполнения).

От числа степеней подвижности МА зависят такие его характеристики, как маневренность и коэффициент сервиса,

Маневренность - число степеней подвижности МА при фиксированном положении захватного устройства; она определяет возможность обхода рукой препятствий в рабочей зоне и способность МА к выполнению сложных операций.

Коэффициент сервиса характеризует возможность подхода захватного устройства МА к заданной точке с разных направлений и дает представление о двигательных возможностях МА.

В зависимости от конструкции рука МА может находиться в рабочем объеме, имеющем ту или иную форму, а ее движения - осуществляться в различных системах координат.

Системы координат бывают двух видов: прямоугольные и криволинейные.

В прямоугольной системе координат объект манипулирования помещается в определенную точку пространства путем прямолинейных перемещений звеньев по трем (или двум) взаимно перпендикулярным осям.

В криволинейной системе координат наиболее распространены следующие координаты; плоские полярные (перемещение объекта производится в одной координатной плоскости в направлении радиус-вектора r и угла φ);

цилиндрические, характеризующиеся перемещением объекта в основной координатной плоскости в направлении радиус-вектора r и угла φ , а также по нормали к ней z ;

сферические (полярные), где перемещение объекта манипулирования в пространстве осуществляется за счет линейного движения руки МА на величину r и ее угловых перемещений φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Разновидностью криволинейной системы является ангулярная (угловая) плоская или пространственная (цилиндрическая и сферическая) система координат, характерная для движений многозвенных ПР и МА.

В ангулярной плоской системе координат объект манипулирования перемещается в координатной плоскости благодаря относительным поворотам звеньев руки, имеющих постоянную длину.

Ангулярная цилиндрическая система характеризуется дополнительным смещением относительно основной координатной плоскости в направлении перпендикулярной к ней координаты z .

В ангулярной сферической системе координат перемещение объекта в пространстве происходит только за счет относительных угловых поворотов звеньев руки, при этом хотя бы одно звено имеет возможность поворота на

углы φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Лекция 4. Робототехнические системы (РТС)

Технические системы, состоящие из комплекса роботов и соответствующего оборудования называются, робототехническими системами (РТС).

Они разделяются на: мобильные, манипуляционные РТС и информационные.

- Мобильные – это РТС, состоящие из передвижных роботов и обеспечивающие автоматические перемещения (полезной нагрузки) рабочих объектов в пространстве.

Это в основном подъемно-транспортные работы в виде тележек, штабелеров и перемещающих роботов с запрограммированными маршрутами перемещений. Они применяются для обслуживания складов, межцеховых и внутрицеховых перевозок объектов;

- Манипуляционные – это РТС и предназначенные для имитации двигательных функций руки человека;

- Информационные РТС – это комплексы измерительно-информационных систем и управляющих средств, автоматически производящих сбор, передачу и обработку информации.

Это системы автоматического контроля и управления производством.

Классификация ПР,

Классификация ПР, используемых в РТС, производится по следующим признакам и в соответствии с ГОСТ 25685-ПР-83

1 По характеру выполнения технологических операций роботы делятся на 3 группы:

1.1 технологические (производственные) роботы (ТПР) выполняют основные технологические операции. Они непосредственно участвуют в техпроцессе в качестве оборудования (гибка, сварка, окраска, сборка и т.д.);

1.2 вспомогательные (подъемно-транспортные) (ВТР) выполняют функции переноса объекта в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Их применяют для обслуживания основного технологического оборудования;

1.3 универсальные роботы (УТР) – выполняющие разнообразные технологические операции – основные и вспомогательные.

2. По степени специализации подразделяют

2.1 специальные – только для выполнения одной технологической операции или обслуживания конкретного технологического оборудования;

2.2 специализированные ПР – предназначены для выполнения технологических операций одного вида (сварки, окраски, сборки, гибки, штабелирования и т.д.);

2.3 многоцелевые – для выполнения различных основных и вспомогательных операций и они относятся к числу универсальных.

3. По типам производства – серийное и массовое.

4. Область применения по виду производства:

4.1 в заготовительных цехах: литейных, кузнечнопрессовых и т.д.

4.2 в основных цехах: механических, сборочных, термических, гальванических и др.;

4.3 во вспомогательных цехах: инструментальных, ремонтных и др

5. По технологическим операциям:

5.1 выполнение основных операций – сборка, сварка, окраска, штабелирование и др.;

5.2 выполнение вспомогательных операций при всех видах обработки;

5.3 проведение операций контроля – информационные РТС;

5.4 выполнение всех видов работ на складах;

5.5 внутрицеховой и межцеховой транспорт.

6. Системы основных координатных перемещений:

6.1 Прямоугольная-

- плоская
- пространственная

6.2 Полярная-

- плоская
- цилиндрическая
- сферическая

6.3 Ангулярная-

- плоская
- цилиндрическая
- сферическая

7. Число степеней подвижности:

с одно, двумя и n- степенями подвижности.

8. Грузоподъемность:

- сверхлегкие – до 1 кг.;
- легкие – до 10 кг.;
- средние – до 200 кг.;
- тяжелые – до 1000 кг.;
- сверх тяжелые – свыше – 1000 кг.

9. Мобильность – стационарные или подвижные.

10. Конструктивное исполнение – встроенные, напольные, подвесные.

11. Тип силового привода – гидравлический, пневматический, электрический и комбинированный привод.

Вопросы по теме 7.

1. Значение ПР и МА в развитии производства.
2. Классификация МА .
3. Структурные схемы программного, адаптивного и интеллектуального МА.
4. Подсистема программного управления ПР
5. Подсистема очувствления (информационная) ПР.
6. Механическая подсистема ПР.
7. РТС и классификация ПР.