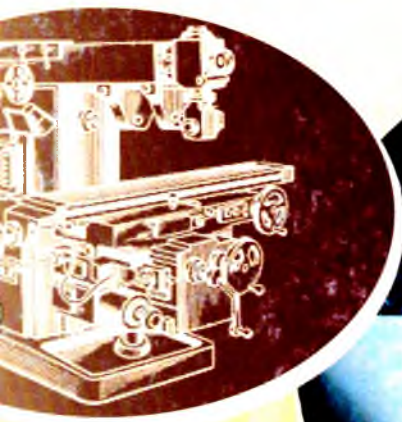


О.И. Аверьянов
В.Ф. Солдатов

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ



658.5(075)

A19

1-NUSSA

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

U
TALABALAR
QIROATXONASI

О.И. Аверьянов
В.Ф. Солдатов

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

1551587

FDU ASOSIY
APM (KUTUBXONA)

Москва 2008

УДК 621.9.06
ББК 34.5-5
А19

Рецензенты:

Е.Г. Щербак, профессор кафедры «Технология и металлорежущие системы автомобилестроения»;

Б.М. Солоницин, начальник тех. отдела технологического управления АМО ЗИЛ

Аверьянов О.И., Солдатов В.Ф.

А19 Основы проектирования и конструирования: Учебное пособие.
– М.: МГИУ, 2008. – 152 с.

ISBN 978-5-2760-1233-9

Рассмотрены основы проектирования и конструирования сложных технических систем. Даны основные определения и понятия.

Рассмотрены особенности формирования технических и эксплуатационных характеристик технических систем. Рассмотрены основные методы проектирования технологических машин и технико-экономические обоснования выбора конструктивных решений машин и механизмов.

**УДК 621.9.06
ББК 34.5-5**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Раздел 1. Основы проектно-конструкторского процесса	6
1.1.Общее представление о технических системам.....	6
1.2. Сущность ТС, моделирование, структура	8
1.3. Стратегия и методы проектирования ТС.....	16
1.4. Прогноз развития ТС и этапы ее проектирования	25
1.5. Этапы проектирования ТС	29
1.6. Экономические основы выбора ТС.....	34
1.7. Оптимизация процессов проектирования.....	37
Раздел 2. Основные технические характеристики машин и механизмов	42
2.1. Основные сведения о машинах и механизмах	42
2.2. Классификация машин и механизмов.....	44
2.3. Детали машиностроения	56
2.4. Методы проектирования и конструирования машин и механизмов	60
Раздел 3. Обеспечение важнейших технических характеристик машин и механизмов	72
3.1. Технические требования, предъявляемые к ТС	72
3.2. Компоновки ТС. Формообразующие движения ТС	77
3.3. Статические свойства ТС	78
3.4. Кинематические свойства ТС	83
3.5. Динамические свойства ТС.....	89
3.6. Надежность ТС.....	92
Раздел 4. Организация проектно-конструкторских работ.....	102
4.1 Информационные аспекты автоматизированного проектирования	102
4.2. Экспертные системы.....	108
4.3. Средства обеспечения САПР	111
4.4. Использование баз данных и баз знаний	119
4.5. Использование Интернета для работы САПР	120
4.6. САПР конструктора	122
Заключение	149
Список рекомендованной литературы	151

ВВЕДЕНИЕ

В развитых промышленных странах объем продукции машиностроения составляет больше 30% общего производства продукции. Успех развития того или иного производства в значительной степени зависит от эффективного использования машин и механизмов. Анализ времени нахождения заготовки в цехе в условиях, например, мелкосерийного производства, показывает, что 5% времени она находится на машинах технологического назначения и только 1,5% уходит на окончательное формирование изделия. Если учесть, что 70% всего количества деталей изготавливают в условиях единичного и серийного производства партиями до 50 штук, то очевидно, что проблема автоматизации этих производств является основной задачей развития машиностроения в целом.

Под *производственной системой* в машиностроении понимают совокупность процессов и средств, необходимых для изготовления из сырья деталей заданной геометрической формы. Выбор экономически обоснованных производственных систем в различных условиях производства имеет большое значение. Эта задача существенно осложняется, если принять во внимание, что растущий ассортимент изделий и уменьшение серийности придают производству, несмотря на высокий годовой количественный выпуск продукции, характер единичного и мелкосерийного. Причина роста номенклатуры изделий объясняется сокращением периода обновления изделия с целью поддержания его высокого технического уровня. Для крупносерийного и массового производств, организация которых долгое время основывалась на принципах использования автоматических линий с жесткими транспортными связями, также наметилась тенденция к сокращению периода модернизации изготавливаемых машин.

Все это требует решения нетрадиционных технических и организационных задач, что позволит сократить время запуска изделия в производство, уменьшить затраты на переналадку оборудования и обеспечить выпуск необходимой продукции по

возможности быстрее. Поэтому техническая политика развития машиностроения направлена на широкую механизацию производства, в том числе и на методы проектирования и конструирования машин различного технологического назначения.

Повышение производительности труда разработчиков новых изделий, сокращение сроков проектирования, обеспечение высокого качества разработки проектов – важнейшие проблемы современного развития машиностроения, решение которых определяет уровень технического, технологического и конструкторского прогресса.

Развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) машин и механизмов опирается на прочную научно-техническую базу. Это – современные средства вычислительной техники, новые способы представления и обработки информации, создание новых численных методов решения инженерных задач и оптимизации. Системы автоматизированного проектирования дают возможность на основе новейших достижений фундаментальных наук отрабатывать и совершенствовать методику и алгоритмы проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования сложных систем и объектов. В настоящее время созданы и успешно применяются средства и методы, обеспечивающие автоматизацию рутинных процедур и операций, таких, как подготовка текстовой документации, преобразование технических чертежей, построение графических изображений и т.д.

В настоящем учебном пособии рассматриваются основные вопросы общей проблемы проектирования и конструирования машин и механизмов, изготовление и внедрение которых в промышленность позволит решать стратегические задачи народного хозяйства.

РАЗДЕЛ 1

ОСНОВЫ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЦЕССА

1.1.Общее представление о технических система

Техническая система (ТС) представляет собой объект, состоящий из элементов, объединенных в единое целое в соответствии с определенными принципами и находящихся между собой в заданных отношениях.

Понятие ТС используется в широком диапазоне разделов науки (системотехника, системный анализ, операции исследования и т.п.), техники (системы технологических машин с высоким уровнем автоматизации), в отраслях народного хозяйства (комплексное управление компаниями стратегического назначения).

ТС можно делить на некоторое конечное число составляющих, каждая из которых образует самостоятельную *подсистему*. Причем сами подсистемы могут образовывать уровни от низшего до старшего. Выбор методики разбивки подсистем на уровни обычно зависит от степени сложности рассматриваемой ТС, и практически в каждом отдельном случае степень ее деления определяется авторским коллективом, связанным с решением поставленной задачи оптимизации процесса работы ТС.

ТС в общем виде находится под воздействием внешних и внутренних факторов, которые по-разному влияют на поведение ТС.

Под внешними воздействиями (внешней средой) понимается совокупность объектов, не являющихся элементами данной ТС, но взаимодействия с которыми учитываются при ее изучении.

В каждый момент времени элемент ТС находится в одном из возможных состояний. Из одного состояния в другое он переходит под действием внешних и внутренних факторов. Процесс поведения элементов ТС проявляется в том, что состояние элементов и его выходные параметры (сигналы) в каждый момент времени определяются предыдущими состояниями и входными

сигналами, поступающими как в данный момент времени, так и ранее.

Элементы ТС функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимосвязи. Свойства одного элемента зависят от условий, определяемых поведением других элементов. Свойства ТС в целом определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между ними.

Некоторые примеры применения теории ТС на практике.

В области организации производства и технологии механической обработки изделий в последние годы широко используются сложные гибкие и перенастраиваемые металлообрабатывающие системы. В состав таких систем входят металлорежущие станки (МРС) с числовым программным управлением (ЧПУ) различного технологического назначения.

Производственный комплекс представляется как совокупность производственных комплексов цехов и участков (подсистемы высшего уровня), каждый из которых содержит некоторое число технологических линий (подсистема среднего уровня), состоящих из станков и агрегатов, рассматриваемых обычно как элементы ТС (подсистемы низшего уровня). А процесс управления предприятием (самостоятельная ТС) представляется как совокупность сбора данных о состоянии управляемых объектов, формирования потока информации, ее накопления, передачи и обработки и синтеза управляющих воздействий. Весь процесс управления осуществляется вычислительной техникой с математическим обеспечением современных вычислительных комплексов, включающих операционную систему управления последовательностью вычислений и координации работы всех устройств комплекса, библиотеку стандартных программ, а также средства автоматизации программирования. Каждую из упомянутых частей комплекса можно представить в виде системы с иерархической многоуровневой структурой, состоящей из отдельных взаимосвязанных программ, процедур, операторов и т.п.

В области регулирования движения в крупных городах или районах с большими потоками автомобилей на автомагистралях и очередями на перекрестках используются ТС автоматизиро-

ванного управления движением с учетом реальных ситуаций и пропускной способности улиц.

ТС широко используются в системах автоматической городской и междугородной телефонной связи. Область применения ТС распространяется также в процессах экономического, организационного, биологического и другого характера.

1.2. Сущность ТС, моделирование, структура

ТС всегда конкретна. Ее назначение, свойства, модель, структура и конструкторское воплощение определяются спецификой области использования ТС, границами и внешним окружением.

Исходным документом для проектирования ТС является *техническое задание* (ТЗ).

ТЗ содержит технико-экономическое обоснование разработки, основные технические требования, предъявляемые к системе и исходные данные для разработки; в ТЗ указываются назначение ТС, область ее применения, стадии разработки конструкторской документации, ее состав, сроки исполнения и т.д., а также особые требования, обусловленные спецификой самого объекта либо условиями его эксплуатации. Как правило, ТЗ составляют на основе анализа результатов предварительных исследований, расчетов и моделирования.

Отправной точкой в любой деятельности проектирования и конструирования лежит идея нового продукта или услуг, которые данное предприятие будет производить (осуществлять). В природе идей бесконечное множество. Но конкретные пути реализации могут быть самыми разными. Обычно в качестве источников ТЗ на создание ТС используют:

- отзывы потребителя – конечная цель производства нового товара или услуг для удовлетворения запросов потребителей;
- продукция конкурентов – определение, какой новый товар или какая услуга может быть конкурентной на рынке машиностроительной продукции;
- мнение торговых представителей (собственных и сторонних) – определение ценности новых идей;

– НИОКР – источники новых научно-технических и опытно-конструкторских разработок.

Цель – желаемый результат, достигнутый в пределах некоторого интервала времени.

Задачи – желаемый результат, достижимый за намеченный интервал времени и характеризующийся набором количественных данных или параметров этого результата.

Цель – более общая категория, чем задача. Она достигается в результате решения ряда задач.

Нахождение цели проекта равнозначно определению проекта и составляет важный этап в разработке концепции проекта. После нахождения цели проекта приступают к поиску и оценке альтернативных способов достижения цели проекта.

Определенные достижимые цели проекта должны быть четко сформулированы и описаны. В описании цели проекта должны найти отражение следующие вопросы: результат проекта, срок окончания, расходы, порядок изменения цели.

Результат описывается как желаемое состояние системы в зависимости от типа и вида проекта и дополняется отдельными эффектами.

Сроки описываются в виде временного интервала, в котором желательно завершение проекта. Как правило, это заявление о намерении, но в ряде случаев документ может быть и обязывающим.

Расходы. В первом описании это могут быть бюджетные рамки, но документ может быть и обязывающим.

Порядок изменения цели проекта. В процессе жизненного цикла проекта может возникнуть необходимость корректировки целей проекта. В описании цели должен быть определен порядок таких изменений.

Как правило, разработка сложных ТС требует больших капитальных затрат и предполагает вовлечение в работу высококвалифицированных специалистов. В связи с этим возрастают требования к решениям, принимаемым на стадии разработки эскизных вариантов проектов, и повышается личная ответственность тех руководителей, принимающих решения. Ошибки, допущенные на начальных стадиях проектирования, обуславлива-

ют дополнительные затраты, увеличивают сроки изготовления, отладки и пуска системы в эксплуатацию. Из-за допущенных ошибок система может и не получить воплощение в жизнь. Поэтому с целью повышения вероятности внедрения новшества в жизнь и эффективности инженерных разработок используются положения *системного и комплексного подхода* к решению сложных технических задач.

Важной частью системного анализа является проектирование оптимальных систем, т.е. систем, обеспечивающих получение максимально возможной прибыли или минимально возможных издержек при создании продукции высокого качества. Стержень методологии оптимального проектирования составляют процедуры формализации задач технического проектирования, ориентированные на использование вычислительной техники. Системное проектирование имеет цель повысить качество принимаемых проектных решений, сократить сроки проектирования и затраты на него, заложить основы для перехода к автоматизированному проектированию.

Создание и развитие сложных ТС в настоящее время невозможно без использования принципов и методов системного подхода и математического аппарата системотехники. Для системотехники характерно эволюционное проектирование, т.е. продолжение проектирования после того, как система создана. Поэтому в проекте необходимо предусматривать возможные модификации проектируемой системы, позволяющие корректировать проектные решения в процессе ее отладки в конкретных производственных условиях. Использование такого подхода позволяет четче организовать процесс проектирования во времени, удешевить и сократить проектировочный цикл.

Для методов системного проектирования характерны еще две взаимосвязанные тенденции: разработка принципиально новых методов проектирования и интенсивная системная интерпретация известных методов. Системное проектирование позволяет создавать информационный вариант системного описания больших технических средств и дает единственно возможную основу для междисциплинарного сотрудничества при их построении. Как методология системное проектирование сложных ТС

основано на рациональном сочетании эвристических (прогнозных) приемов, с формальными процедурами анализа и синтеза, ориентированных на использование ЭВМ.

Комплексный подход при решении сложных технических систем включает в себя необходимость учета большого количества факторов в их взаимосвязи, а также выявления перечня основных ограничений и требований, предъявляемых к ним со стороны проектируемого объекта. Такие факторы можно укрупнено выделить в следующие группы:

- факторы функционально-технологического назначения, описывающие проектируемую систему с ее входами и выходами в пространственно-временном распределении;

- факторы технического назначения, учитывающие требуемый уровень автоматизации, перечень обязательных технических средств, входящих в состав проектируемой системы;

- факторы экономического назначения, включающие понятия производительности, стоимости, прибыли, периода эксплуатации и др.;

- факторы функционального назначения, отражающие такие показатели, как точность, качество, надежность, долговечность, ритмичность и др.;

- факторы информационного назначения, обеспечивающие описание действительной ситуации, складывающейся в производстве, а также создающие возможность корректировать и редактировать программы при внесении конструктивно-технологических изменений;

- факторы эксплуатационного назначения, создающие необходимые условия для эксплуатации системы обеспечения, режима ее работы и прочие факторы.

Важным методологическим приемом является моделирование процесса работы ТС.

Моделирование – исследование объектов познания на их моделях, построение и изучение которых позволяет описать реально существующие предметы и явления, происходящие в конструируемых, например, технологических системах, с целью определения, уточнения их характеристик, рациональных способов их построения и т.п.

Единая классификация видов моделей затруднительна в силу многозначности понятия «модель» в науке и технике. Ее можно проводить по различным основаниям: по характеру моделей; по характеру моделируемых объектов; по сферам приложения; по его уровню (глубине описания) и т.д.

Предметным называется моделирование, в ходе которого исследование ведется на модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики «оригинала». На таких моделях изучаются процессы, происходящие в оригинале – объекте исследования или разработки. Рабочий процесс может исследоваться и путем опытного изучения каких-либо явлений иной физической природы, но таких, чтобы они описывались бы теми же математическими соотношениями, что и моделируемое явление, например, механические и электрические колебания описываются одними и теми же дифференциальными уравнениями электрическое моделирование позволяет изучать на электрических моделях механические, гидродинамические, акустические и другие явления. Электрическое моделирование лежит в основе так называемых аналоговых вычислительных машин.

При знаковом моделировании моделями служат знаковые образования какого-либо вида: схемы, графики, чертежи, формулы, графы, слова и предложения в некотором алфавите естественного или искусственного языка.

Важнейшим видом знакового моделирования является логико-математическое моделирование, осуществляемое средствами математики и логики. Знаковые образования и их элементы всегда рассматриваются вместе с определенными преобразованиями, операциями над ними, которые выполняет человек или машина. Современная форма «материальной реализации» знакового моделирования – это моделирование на цифровых электронных вычислительных машинах, универсальных или специализированных.

По характеру той стороны объекта, которая подвергается моделированию, уместно различать моделирование *структуры объекта* и моделирование *его поведения* (функционированию протекающих в нем процессов и т.п.). В процессе моделирова-

ния конструкторы обычно абстрагируются от структуры системы, рассматривая ее как «черный ящик», описание которого строится в терминах соотношения между состояниями его входов и выходов, где входы соответствуют внешним воздействиям на изучаемую систему, выходы – ее реакции на них, т.е. поведению (рис. 1).

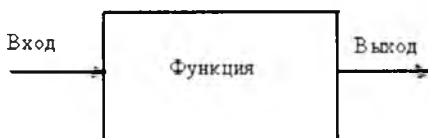


Рис. 1. «Черный ящик» ТС

В отличие от модели *структура* представляется в виде внутреннего построения элементов, составляющих организационную или техническую суть проектируемого ТС. Для примера, ниже на рисунках показаны структуры организации предприятия, работающего в рыночных условиях (рис. 2), и структура взаимосвязи потребительских отношений (рис 3) в деятельности человека.



Рис. 2. Структура деятельности машиностроительного предприятия

Инструментом получения и анализа информации о рынках, а также интеграции технологических и иных возможностей предприятия, позволяющей достигать поставленные цели в предпринимательской деятельности, обеспечивая при этом гибкость, является маркетинг (рис. 2). Концепция маркетинга состоит в том, чтобы вся деятельность предприятия (производственная, научно-техническая, сбытовая, финансовая, кадровая и др.) основывалась на знании потребительского спроса и его возможных изменениях. В результате подобной деятельности предприятие получает исходную информацию о потребности в продукции.

Для предприятия важно соотнести свои возможности (так называемый технологический ресурс) с ожидаемым рыночным спросом с позиции обеспечения минимально возможных затрат при изготовлении продукции машиностроения.

Технологический ресурс предприятия – это совокупность технологических средств, оборудования, организации и информации, способных оперативно воспринимать продукцию машиностроения в соответствии с рыночным спросом. Качественная оценка технологического ресурса предприятия может быть представлена характером изменения *трудоемкости изготовления продукции* в зависимости от спроса на рынке.

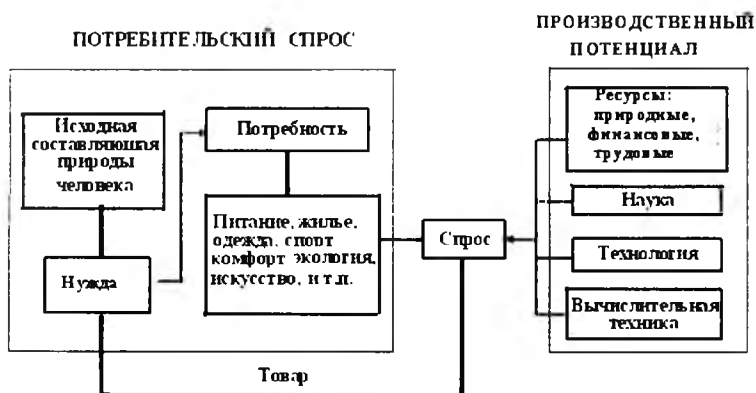


Рис. 3. Структура потребительских отношений между спросом и производственными возможностями

Движущей силой в деятельности любого предприятия является человек. В свою очередь, интересы деятельности человека напрямую зависят от успеха деятельности предприятия на рынке. Интересы человека определяются через *нужду*, как чувство ощущаемой нехватки чего-то (рис. 3). В свою очередь, нужда, принимающая специфическую форму в соответствии с культурным уровнем и личностью индивида, выражается в *потребность*. Если потребность подкрепляется покупательной способностью человека, то она выступает на рынке в виде спроса. *Спрос* – это не что иное как товар, т.е. все то, что, может удовлетворить потребность или нужду и предлагается рынку с целью привлечения внимания, приобретения, использования или потребления.

Как следует из рис. 3, удовлетворение спроса зависит от *производственного потенциала общества*. Непрерывный научно-технический прогресс является объективным процессом, свойственным разным ступеням развития общества. Характер развития науки и техники, результаты и последствия создания и эксплуатации средств производства зависят от существующего производственного потенциала. Если производственный потенциал рассматривать как процесс развития производительных сил общества, то в нем можно обнаружить две составляющие: *прогресс науки и прогресс производства*. Несмотря на наличие довольно прочных причинно-следственных связей между этими процессами, они обладают относительной самостоятельностью и могут в известной мере развиваться независимо друг от друга.

В современных условиях развитие самой науки является результатом коллективного творчества, причем не только ученых, но и специалистов во всех сферах, ибо превращение науки в непосредственную производительную силу общества означает сближение и непосредственный контакт научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с производством. Средством обеспечения такой связи, кроме очевидной научно-технической информации, должно явиться *достижение равновесия между потребительским спросом и производственным потенциалом* с одной единственно важной целью – обеспечением достойного уровня жизни населения страны.

Таким образом, человеческая деятельность, прежде всего, направлена на удовлетворение собственных нужд и потребностей, для чего необходимо: осуществлять разработку товара; проводить разнохарактерные исследования; налаживать коммуникации и связи; организовывать распределение товара; разрабатывать и устанавливать на товары цены; развивать службы сервиса и т.д.

Из приведенных примеров следует, что структура объекта более конкретна (в отличие от модели) и состоит из понятных элементов, взаимосвязи между которыми чаще не требуют сложных математических описаний.

1.3. Стратегия и методы проектирования ТС

Стратегия проектирования ТС и ее методы неразрывно связаны с особенностями развития мировой экономики. Существует такое определение, что ведущее стратегическое положение любого государства в мировой экономике в значительной степени зависит от уровня технологической базы машиностроения. Таким образом, стратегическая направленность совершенствования технологической базы машиностроения должна красной нитью проходить через все этапы проектирования, конструирования и эксплуатации ТС высокого технического уровня. Считается, что принцип автоматизации таких систем является основой развития машиностроения в целом.

Термин *«автоматизация производства»* обычно подразумевает решение исключительно технических аспектов управления производственным процессом, которое ориентировано на интегрированное применение вычислительной техники. В результате подобного подхода возникает опасность рассмотрения проблем, связанных с автоматизацией, только в технократическом отношении. В большинстве же случаев эффективность автоматизации производственных процессов зависит от комплексного рассмотрения разнообразных технологических задач и не только. Это утверждение основывается на следующих соображениях.

Во-первых, существенно изменились требования к техническому уровню оборудования машиностроения как с точки зрения

повышения штучной производительности, так и с позиций изменения подходов к определению его качественных критериев и гибкости функционирования. Вследствие этого отмечается сокращение доли непроизводительного времени работы оборудования и доли участия человека в производственном процессе.

Во-вторых, новейшие компьютерные технологии обладают несравнимо более широкими возможностями в отношении организации и реализации принципов адаптивного управления, приближая технологический процесс к оптимальным условиям протекания. Производственные системы, построенные на этих принципах, могут широко быть представлены в современном производстве в различных сочетаниях и условиях их эксплуатации. В связи с этим возникают задачи анализа и прогнозирования тенденций развития производственных операций на основе компьютеризированной интеграции с запрограммированными критериями принятия решений. Перечисленные особенности существенным образом влияют на содержание труда человека, занятого в подобном производстве.

В-третьих, социально-экономический эффект новой техники и технологии оценивается отношением полученного от их использования общего экономического эффекта, к общей сумме затрат на их достижение. Это предопределяет необходимость обеспечения конечных технико-экономических и социальных результатов, имеющих денежное выражение. Повышение совокупного социального и экономического эффекта связано с интенсификацией научного труда, улучшением использования производственных фондов и другими показателями организации производства.

Важной чертой научной деятельности является *ее коллективный характер*. Современные исследования для комплексного решения научно-технических проблем автоматизации требует участия специалистов различного профиля, а ускорение результатов научной деятельности связано с уровнем культуры научного труда, наличием современных методик и средств исследований.

Для успешного внедрения и последующей эксплуатации ТС необходимо выполнение некоторых общих условий с точки зрения подхода к организации производства.

Основные особенности организации производства вытекают из системы антимонопольных мер, приведших к возникновению более мелких, так называемых малых предприятий, с числом работающих до 200 человек. При этом создание параллельных структур обострило конкуренцию на рынке, обеспечив возможность рационального сочетания различных форм организации производства и, в конечном счете, создав условия для повышения качества выпускаемой продукции и расширения ее номенклатуры.

Кроме того, для малых предприятий в известной мере теряют смысл критерии оценки характера производства исходя лишь из количественного объема выпускаемой продукции. С другой стороны, малые предприятия могут быть малоэффективными, т.к. они ограничены в выборе технического уровня оборудования, средств автоматизации и организации производства. Поэтому информативным является критерий производственной гибкости ($K_{п.г.}$), отражающий затраты времени на переналадку оборудования за некоторый период, например за месяц, отнесенные к одному изделию из обрабатываемой партии. Этот критерий имеет простое математическое выражение:

$$K_{п.г.} = \frac{H_{п.} \cdot T_{п.}}{P_{д.}}$$

где $H_{п.}$ — количество переналадок; $T_{п.}$ — среднее время одной переналадки; $P_{д.}$ — количество деталей, обрабатываемых в единицу времени.

В пределах среднемесячного количества деталей в партии значение $K_{п.г.}$ меняется, причем его возрастание соответствует уменьшению партии деталей. При этом считается, что $T_{п.}$ мало зависит от типа производства, а $K_{п.г.}$ характеризует лишь повышение степени автоматизации по сравнению с существующим уровнем. Это позволяет технологическим службам предприятия планировать использование оборудования и людских ресурсов,

исходя из конкретных производственных задач и требуемого коэффициента $K_{п.г.}$.

Таким образом, эффективность использования автоматизированных ТС предполагает определения следующих характеристик производственного процесса: минимально возможной продолжительности полного производственного цикла обработки изделия; максимально возможного значения $K_{п.г.}$ при требуемом качестве.

Минимальная продолжительность полного производственного цикла достигается лишь в том случае, если удастся существенно снизить объем незавершенного производства, реализовать прогрессивные режимы резания, уменьшить непроизводительное время на переналадку оборудования.

Максимально возможное значение $K_{п.г.}$ определяет эффективность производства, т.е. штучную производительность с целью получения наибольшего дохода.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных специалистов позволили сформулировать определенные принципы, которым должно соответствовать создаваемые ТС.

Одним из аспектов интегрированного подхода является установление «вертикальных» взаимосвязей между потребителями рынка производственной системы и ее характеристиками (вертикальная интеграция). Здесь стратегический и оперативный уровни управления производством оказываются связанными между собой. При этом необходимо в качестве составной части процесса стратегического планирования указать количественные и эксплуатационные потребности рынка в системе в виде общего объема производства различных модификаций выпускаемых изделий, длительности производственного цикла, сроков поставки, цену и т.д. Перечисленные показатели в существенной мере формируют производственную систему в понятиях технологии, продолжительности цикла работы, модификации и коэффициента использования производственного оборудования, методов и средств контрольно-измерительных операций, испытаний и т.д.

Проблема сокращения длительности производственного цикла во многих случаях при интегрированном подходе наибо-

лее существенна, нежели повышение коэффициента использования оборудования. Точно так же вопрос повышения производительности производственной системы в целом более важен, чем повышение производительности ее составных частей в отдельности.

При проектировании ТС следует также использовать *интегрированный подход по «горизонтали»*, что предполагает необходимость организации согласованного взаимодействия специалистов по конструированию изделия и технологии его изготовления. При этом чрезвычайно важным требованием является возможное уменьшение ее сложности. Организация производственного процесса с учетом свойств используемого оборудования и транспортных потоков должны подвергаться тщательному системному анализу.

Важным этапом автоматизации производства является *взаимодействия системы человек-машина, а также некоторых социально-технологических проблем*. Повышение заинтересованности сотрудников в успешной деятельности предприятия является важнейшей задачей с точки зрения реализации их интеллектуальных и творческих возможностей. Однако в настоящее время эти возможности в большинстве случаев не используются. Для решения этих вопросов необходимо учитывать сложность и трудоемкость выполнения работы, удобство эксплуатации производственного оборудования, возможность доступа к технологической информации в процессе выполнения работы с целью принятия решений и т.д. Успешное внедрение и эффективное использование систем автоматического принципа действия напрямую связано с уровнем технических знаний обслуживающего персонала.

Большинство отраслей машиностроения в мировой практике характеризуется низким процентным содержанием добавочной стоимости. Значительную долю производственных расходов составляет стоимость материалов и расходы на их хранение и транспортирование. С учетом этих обстоятельств, следует ожидать, что разность между себестоимостью продукции и ее рыночной ценой будет оставаться незначительной. Гибкие ТС являются идеальными конструкциями с точки зрения увеличения

скорости обрачиваемости оборотных средств, что сокращает период окупаемости капиталовложений в производственное оборудование. Истинной целью деятельности промышленного предприятия должно быть именно сокращение срока окупаемости, а не увеличение разности между себестоимостью выпускаемой продукции и ее реализуемой ценой.

Потребительские свойства ТС формируются на основе спроса на рынке машиностроительной продукции. Практически эти свойства должны учитывать потребности конкретных потребителей ТС. Но вместе с тем, уже на протяжении длительного периода производства ТС и их использования некоторые свойства приобрели значение общего характера. Некоторые из этих свойств изложены ниже.

Производительность характеризуется возможностью обработать за определенный календарный период заданную номенклатуру и количество изделий в соответствии с плановым заданием.

Технологические возможности – возможный диапазон обрабатываемых изделий по их размерам, форме, видам поверхностей, типам материалов и полноте приближения полученного продукта к готовому к продаже продукту.

Точность обработки характеризуется отклонением полученного продукта от идеальных требований в пределах допусков, обусловленных технической документацией.

Переналаживаемость – совокупность всех операций ТС, связанных со сменой приспособлений, режущих инструментов, взаимного расположения узлов, цикла функционирования и управляющих программ или устройств, встроенных контрольных средств и других элементов ТС для возможности обработки на нем продуктов другого вида, отличающихся формой, размерами или иными параметрами.

Безотказность характеризуется временем работы ТС до возникновения отказа, нарушающего нормальную эксплуатацию машины и требующего для своего устранения незначительно времени.

Долговечность характеризуется ресурсом или сроком работы ТС до планового срока его капитального ремонта с целью восстановления работоспособности и точности.

Надежность характеризуется затратами времени и ресурсов на выполнение плановых и неплановых ремонтов.

Безопасность труда обслуживающего персонала является безусловным требованием к конструкции ТС.

Экологические требования характеризуется комплексом мероприятий, исключающих воздействие на оператора специфических свойств различных материалов, обладающих токсическими свойствами, и соответствующими мерами защиты от отходов, образующихся при обработке.

В изложенной выше редакции определения потребительских свойств определения потребительских свойств дается общее представление об основных тенденциях развития современных ТС, в равной степени одинаково относящихся к различным отраслям машиностроения. Однако для полного понимания технической сути потребительских свойств целесообразно рассматривать методы их обеспечения на примере конкретной отрасли. В нашем случае используем отрасль станкостроения, в частности МРС.

Повышение производительности станка оценивается уменьшением калькуляционного времени изготовления конкретных изделий путем сокращения основного времени (повышение режимов резания; увеличение диапазона частот вращения шпинделей и скоростей движения подач) и вспомогательного времени (автоматизация установки заготовки и снятие детали за счет применения промышленных роботов и автооператоров, повышения скорости холостых ходов, сокращения пути перемещения инструмента), уменьшения времени на переналадку оборудования (использование цифровой индикации и программного управления).

Повышение производительности обеспечивается также методом концентрации операций на одном станке: для корпусных деталей – это обработка на одном станке заготовки с пяти сторон (шестая сторона – базовая); для тел вращения – это полная обработка сложной профильной заготовки, включающей в себя, по-

мимо токарных, фрезерных, сверлильных, и другие операции. Перспективным является одновременное выполнение на таком станке операций внутреннего и наружного шлифования. При концентрации операций на одном станке совмещают во времени отдельные операции и переходы, используют комбинированные инструменты и инструментальные наладки.

Для работы на повышенных режимах резания и при концентрации операций станки необходимо иметь большую мощность привода главного движения при широком регулировании частоты вращения шпинделя во время рабочего цикла. Направляющие скольжения будут заменены направляющими качения.

Компоновки станков изменяются так, чтобы можно было установить дополнительные узлы, обеспечить сход стружки и отвод смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). С этой целью предусматривается кабинетная защита от СОЖ и отсос пыли и газов. Кроме того, на МРС автоматизированы процессы смены инструмента и контроля качества обработки.

Повышение точности обработки на МРС. Стремительное совершенствование машиностроительной продукции, повышение мощности, быстроходности и точности машин, высокие требования к экологии окружающей среды и к надежности при функционировании машин сопровождаются постоянно растущими требованиями к точности размеров, формы и взаимного расположения обработанных поверхностей, волнистости и шероховатости поверхности обработанных на МРС деталей.

Необходимо также обеспечивать стабильность указанных показателей во времени, учитывая, что обработка заготовок должна вестись с относительно меньшим участием человека. Для выполнения указанных требований предусматривается повышение точности изготовления основных деталей станка, точности сборки и регулировки, а также жесткости элементов, например шпиндельных узлов, износостойких направляющих и опор, стабильность во времени размеров и формы базовых и корпусных деталей. Для повышения точности обработки на станках используются специальные системы и устройства компенсации систематических погрешностей ходовых винтов, направляющих и других элементов станков. В станки встраивают

ся устройства микропроцессорного управления и различные высокоточные датчики, имеющие высокую разрешающую способность (для линейных и угловых перемещений, контроля температуры), тензометрические преобразователи и другие элементы автоматики. Система управления точностью обработки на станке обеспечивает обратную связь привода через микропроцессорную систему управления. Наряду с индуктивными системами измерений предлагается использовать в станках оптоэлектронные, голографические и лазерные системы.

Переналаживаемость станков (гибкость). Наиболее распространенным направлением в обеспечении переналаживаемости является применение в них систем ЧПУ типа CNC, построенных на базе ЭВМ (микропроцессора, мини- или микро- ЭВМ) с цветным дисплеем. Программное управление от ЭВМ обеспечивает сокращение времени на переналадку оборудования, автоматизацию подготовки управляющей программы (во многих случаях она выполняется на станке рабочим, во время обработки другой заготовки), возможность обработки сложных деталей, имеющих криволинейную поверхность. Дополнительными функциями систем управления типа CNC являются контроль перегрузок станка, стойкости и целостности режущих инструментов и др.

Гибкость станков обеспечивается путем их оснащения разнообразными системами и приспособлениями, сокращающими время на переналадку и существенно расширяющими технические возможности станков. К ним относятся инструментальные магазины и револьверные головки для смены режущего инструмента, системы загрузки-разгрузки столов – спутников (заготовок), применение промышленных роботов, накладных инструментальных головок, многошпиндельных головок, специальных зажимных приспособлений и многих других механизмов.

Повышение надежности работы МРС обеспечивается проведением следующих мероприятий:

- повышением надежности компонентов станка;
- встраиванием в станок подсистем автоматического диагностирования и индикации функционирования узлов и механизмов, а также станка в целом;

– применением высокоэффективных и надежных устройств смазывания трущихся пар, использованием самосмазывающихся подшипников;

– применение эффективных систем подачи, сепарирования и фильтрации СОЖ для отвода тепла из зоны резания, а также для смазывания и транспортирования стружки.

Особого внимания заслуживает возможность объединения отдельных станков в группы по организационно-технологическому принципу благодаря управлению от одного компьютера. Наличие специальной системы обеспечивает взаимодействие оператора и оборудования. Персонал, обслуживающий оборудование через сети Интернет, имеет также оперативную взаимосвязь для выполнения различных функций.

1.4. Прогноз развития ТС и этапы ее проектирования

Прогноз развития ТС. В настоящее время продукция серийного характера в России составляет примерно 75–80% от действующих производственных мощностей. В то же время, проведенный анализ работы многих предприятий РФ показал чрезвычайно низкий уровень интенсивности механообрабатывающего производства, особенно в мелко- и среднесерийном производствах. Характерными показателями являются также относительно высокая занятость рабочих (60–80%), небольшая продолжительность времени непосредственной обработки детали по отношению к общему времени цикла изготовления детали (в среднем около 8%).

Оператор МРС основную часть рабочего времени расходует на взаимодействие со станком в процессе обработки заготовки. При этом часть выполняемых им функций требует значительных физических усилий и внимания даже при односменной работе. Станок простаивает в процессе загрузки и переналадки. Таким образом, для обеспечения работы станка в течение времени теоретически возможной его работы (6–10%) рабочий использует весь свой реальный фонд времени.

Для исключения только сменных потерь времени работы одного станка необходимо более четырех станочников. При этом

из-за технического несовершенства и организационно-технических потерь время полезной работы станка составило бы 30–40% от общего количества фонда времени. Как правило, необходимость запуска деталей на обработку партиями, несогласованность по времени работы отдельных станков и другим причинам приводит к тому, что непосредственно в обработке на станке деталь находится 5–10% времени производственного цикла. Очевидно, что в этих условиях рабочий не может обеспечить работу универсального станка с требуемой интенсивностью.

Повысить интенсивность механообработки можно за счет уменьшения зависимости работы станка и вспомогательного оборудования от обслуживающего персонала. Необходимо создавать такое технологическое оборудование, которое позволило бы обеспечить его круглосуточную автоматическую работу в комплексе с транспортно-накопительным, загрузочным, складским и другим оборудованием. Комплексная автоматизация оборудования последовательно высвобождает станочника от непосредственного его обслуживания.

Создание оборудования нового поколения непосредственно связано с развитием самих средств автоматизации, которые трансформировались и совершенствовались на базе электронной техники (см. рис. 4).

На рис. 4 показана картина развития технических средств, на основе которой создавались ТС в различные временные периоды, а на рис. 5 отображена трансформация рыночного спроса продукции машиностроения на внешнем рынке. Оба рисунка необходимо рассматривать совместно.

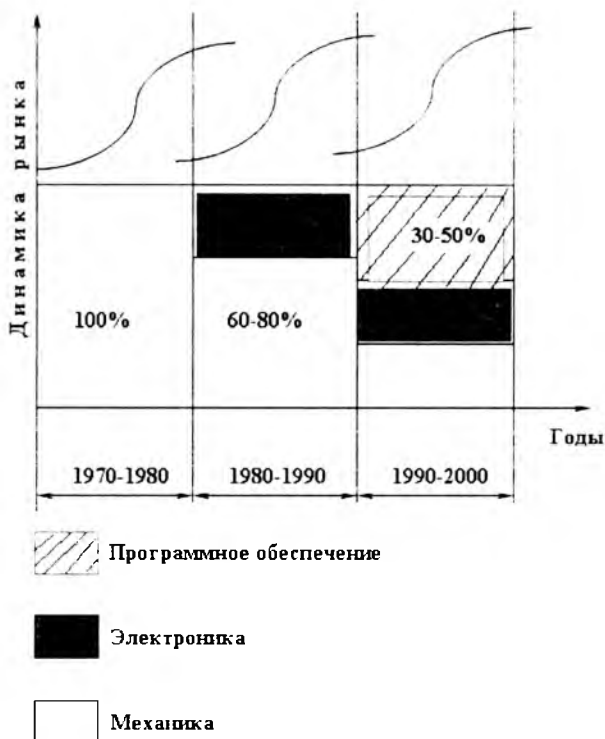


Рис. 4. Динамика изменения системы управления ТС

Период 70–80-х годов характеризовался насыщением рынка продукцией преимущественно ограниченной номенклатуры, но большого объема. Развитие производства при этом шло по пути повышения производительности за счет частичной механизации различных видов работы, выполняемой при взаимодействии рабочий-станок с учетом технологической оснастки. Конечная цель этих мероприятий сводилась к достижению качества выпускаемой продукции за счет повышения точности изготовления механической части ТС, прецизионной сборки и других технологических устройств и приемов.

Резкое изменение содержания рынка в 80–90-е годы связано с разнообразием выпускаемой продукции и соответственно спросом на новые технические средства за счет соответствующей

щего сочетания механических и программных средств управления, способствующих совершенствованию процессов обработки и повышению коэффициента использования ТС. При этом применение оборудования с ЧПУ сопровождается решением некоторых вопросов организационного характера и созданием на их базе возможны вариантов ТС различной степени гибкости.

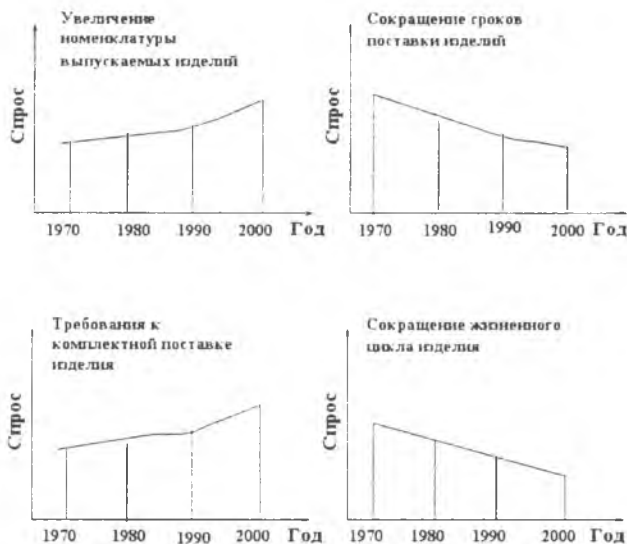


Рис. 5. Динамика изменения основных признаков рынка машиностроительной продукции

Рыночная ситуация периода 1990–2000 годов характеризовалась появлением комплекса новых показателей, важнейшие из которых приведены на рис. 5.

Структура средств автоматизации МРС теперь представляет собой разумные сочетания механики, вычислительной техники и программного обеспечения систем ЧПУ. При этом предусматривается обработка большого объема различной информации с целью достижения оптимального управления производством, что особенно актуально для малых производств. Это объясняет взаимосвязь развития автоматизации со спросом на рынке.

Развитие ТС в XXI веке будет связано с созданием сложных технических систем, в том числе и автоматического завода будущего, отличительными чертами которого будут являться:

- высочайшая производительность труда, высокая степень гибкости перехода на выпуск новой продукции;
- кратчайший производственный цикл изготовления изделий;
- обеспечение выпуска продукции только высокого качества;
- малое энергопотребление, высокий коэффициент использования машин и сырья;
- безотходная технология; полная утилизация отходов путем превращения стружки в исходный материал, выработки вторичного сырья для производства побочной продукции;
- высокая надежность оборудования и всего завода за счет использования самодиагностирования, предупреждающего выход оборудования из строя или обеспечивающего восстановление его работы в кратчайшие сроки;
- гуманизация труда, создание условий, удовлетворяющих всем требованиям сохранения здоровья человека: сокращение физического труда и полная компьютеризация умственного труда;
- экологическая безопасность, обеспечение сохранности окружающей среды;
- мобильность в отношении применения новых достижений науки и техники, новейших технологий и оборудования.

Создание автоматического завода будущего невозможно при традиционных методах развития производства: необходимы революционные сдвиги в технологии машиностроения и организации производства на базе компьютерно-интегрированной системы.

1.5. Этапы проектирования ТС

Непрерывный рост типов ТС ставит задачу поиска новых методов их создания при наименьших затратах на проектирование и изготовление. Достижение этой цели определяет решение некоторых наиболее важных задач:

- устранения существующего конструктивного разнообразия одинаковых по служебному назначению элементов, механизмов и узлов ТС;

– разработка технологически обоснованных размерных и технических характеристик составляющих ТС;

-- разработка ограниченного комплекта узлов и агрегатов, обеспечивающих гибкую систему проектирования ТС с учетом разнообразных компоновочных требований;

– ускорение разработки и изготовления ТС на основе создания технологической системы конструирования;

– разработки организационной системы подготовки производства, обеспечивающей эффективную эксплуатацию ТС у потребителей;

– повышение технического уровня ТС за счет обоснованных технических характеристик, разумного уровня автоматизации, прогрессивных технических решений и отработки конструкций и т.д., и т.п.

Порядок проектирования ТС в основном уже сложился. Основой для проектирования является техническое задание конкретного заказчика, или группы заказчиков, в котором подробно описываются исходные технологические данные о заготовках и готовых изделиях, а также некоторые особенности организационного, экономического, технического характера (характер и условия производства, производительность, коэффициент загрузки оборудования, уровень автоматизации и т.д.).

На основании технического задания, общих технических требований и с учетом особенностей использования ТС в зависимости от характера производства разработчик формирует на стадии технического предложения общее представление о компоновке ТС. Если предложенный вариант ТС не вызывает сомнений, разработчик, основываясь обычно на большом производственном опыте и апробированных технических решениях, приступает к рабочему проектированию ТС. Однако использование интуитивного подхода в создании ТС приводит нередко к негативным результатам и поэтому на начальном этапе проектирования целесообразно использовать методы расчета на точность, динамическую устойчивость системы на температурные деформации, на надежность – иными словами, необходимо провести моделирование работы ТС. На предпроектной стадии целесообразно использовать приемы инженерной биодиагностики

и оценить влияние ряда других факторов на конечный результат работы.

Если задача создания ТС сводится к поиску некоторого многообразия компоновок ТС с использованием весьма ограниченного набора узлов и агрегатов, необходимо воспользоваться модульным принципом проектирования ТС.

Окончательное обоснование создаваемой ТС оценивается по расчетам экономичности использования ее в условиях производства заказчика.

В последние годы широкое применение нашла методика проектирования ТС, используемая в деятельности инженеринговых фирм.

Понятие «инжиниринг» в настоящее время широко используют во многих странах мира и под этим подразумевают деятельность организации (фирмы), которая на основе коммерческих взаимоотношений оказывает различные консультационные услуги и разрабатывает проекты научно-технического, производственного и рыночного характера, связанные с созданием продукции.

Инжиниринг – это научно-техническое сопровождение процесса поиска, разработки, изготовления и обслуживания машиностроительной продукции на основе совокупности знаний в областях технологии, экономики, организации производства, маркетинга, экологии и других прикладных наук.

Технико-экономический анализ проекта (рис. 6) является наиболее важным этапом разработки, поскольку конечный результат в значительной степени зависит от того, насколько квалифицированно и убедительно приняты основополагающие решения и положения обеспечат в дальнейшем успех проекта на рынке машиностроительной продукции. Прежде всего, формулируются *цели проекта и определяются задачи*, которые, по мнению разработчиков, должны способствовать достижению поставленной цели. Эта часть работы строится на основе материалов по изучению рынка спроса и предложений; анализа развития технических и информационных средств; учета возможных кооперационных связей и т.д. На основе полученных данных создается модель будущего проекта и его определяются воз-

можные разновидности. Разрабатывается укрупненный план реализации проекта. На этом этапе в число участников разработки, кроме руководства и ведущих специалистов инжиниринговой организации, входят представители заказчика проекта и авторитетные консультанты со стороны по специфическим проблемам и вопросам.

На следующем этапе проекта, примерно в том же составе разработчиков, формируется *концепция разработки*, которая основывается на тщательном анализе действительного и прогнозируемого положения предприятия в будущем, на понимании динамики спроса на продукцию на рынке, на выбранной структуры с учетом использования новых технологий и технических решений. Работа на этом этапе строится на основе проведения значительных исследований по всем составляющим технической проблемы с целью принятия конкретных решений и оценки предварительных затрат для реализации проекта в целом. В результате предварительной оценки уточняются проблемные моменты проекта и вырабатываются мероприятия для их разрешения (рис. 7).

Предварительный анализ и ряд проведенных экспериментальных исследований создают необходимые условия для более глубокого изучения разрабатываемой системы с позиции ее возможной оптимизации (рис. 8). С этой целью создается математическая модель технической системы, составляется описание комплексной системы и формируется в окончательном виде ее структура.

Далее рассчитываются более точно капиталовложения, прорабатываются вопросы техники безопасности и экологии, учитываются законоположения и санкции, которые в той или иной степени могут повлиять на принятые решения.

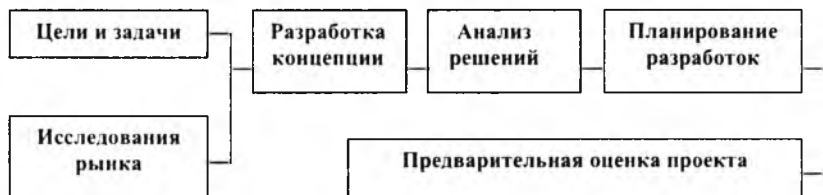


Рис. 6. Этап предварительного анализа проекта

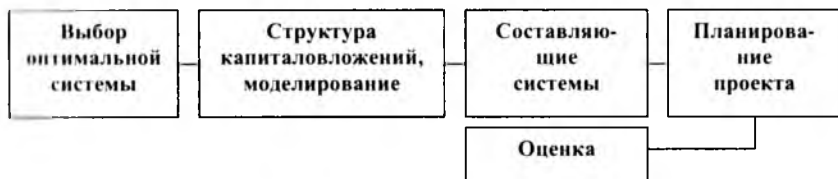


Рис. 7. Этап оптимального варианта проекта

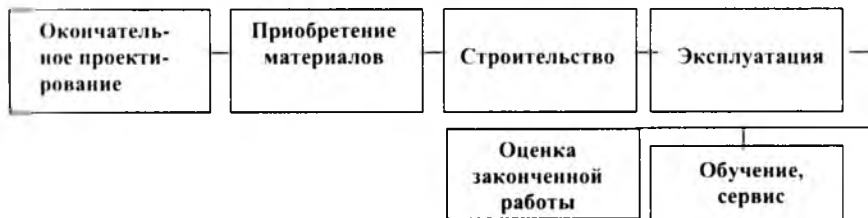


Рис. 8. Окончательный этап проектирования

Этап рабочего проектирования, сводится к детальной разработке конструкций, выбору основных технических характеристик системы, анализу себестоимости изготовления, а также составлению технических заданий на комплектующие элементы и на проектирование специальных устройств на стороне.

Заключительная часть проекта (рис. 8) посвящается *окончательному (детальному) проектированию* всех составляющих системы, оформлению спецификаций на размещение заказов, приобретению материалов.

Руководству предприятия, где должна будет эксплуатироваться спроектированная технологическая система, необходимо помнить, что не все вопросы следует перепоручать проектировщику. Например, работу по отбору кадров для эксплуатации и будущего технического обслуживания системы следует подбирать самостоятельно с учетом предполагаемой социальной и психологической обстановки в коллективе.

Постоянное повышение качества продукции становится способом существования предприятий, к этому обязывают и возрастающие потребности покупателя и усиливающаяся конкурентная борьба на мировом рынке. Характерные основные осо-

бенности системы мер, обеспечивающих высокое качество продукции, можно кратко сформулировать следующим образом:

- *системность* – процесс, охватывающий все звенья производства и эксплуатации (предприятие-потребитель-поставщик);
- *комплексность* – обеспечение качества на этапах маркетинга, разработки и проектирования производства, обслуживания и эксплуатации;
- *организованность* – взаимосвязанная работа всех подразделений и отдельных работников;
- *приоритет потребителя* – основа определения потребительских свойств продукции;
- *новаторство* – постоянное введение новых технологий во всех сферах деятельности;
- *общность* – единство целей и усилий всех сотрудников предприятия;
- *управляемость* – введение системы управления качеством, действующей под руководством первого лица.

1.6. Экономические основы выбора ТС

В условиях хозяйственного расчета и рыночных отношений основным показателем экономичности производства становится прибыль, определяемая из баланса стоимости произведенного продукта и издержек на его изготовление.

Прибыль за выбранный срок имеет вид:

$$\Delta = \sum_{i=1}^m q_i c_i - \frac{R}{t} (1 + \mu + \eta + \phi + \lambda);$$

при условии соблюдения ограничения:

$$T - \left(T_c - T_p - T_n + \sum_{i=1}^m T_{ii} \right) \geq \sum q_i (T_{Mi} + T_{Bi}),$$

где $T_{Mi} + T_{Bi}$ – время обработки; q_i – число деталей; c_i – стоимость детали i -го наименования; R – стоимость примененного оборудования; t – полный срок амортизации оборудования; μ – стоимость основных и вспомогательных материалов и инст-

руमेंта, потребных за этот период, отнесенная к R/t ; η – стоимость потребленной энергии, отнесенной к R/t ; ϕ – заработная плата производственного персонала, отнесенная к R/t ; λ – стоимость всех видов производственной информации (конструкторской, технологической, плановой; финансовой; управляющих программ и т.п.), отнесенная к R/t .

Принято учитывать эти затраты как накладные расходы, однако компьютеризация управления производством делает предпочтительным прямой расчет.

Можно представить, что $\sum_{i=1}^m q_i c_i = Q_p c$, где c – средневзвешенная стоимость продукта.

Прибыль образуется как разность между стоимостью продукции и издержками на ее производство, выраженными через относительные составляющие к стоимости использованного оборудования. Чем сложнее и дороже производимая продукция, тем более квалифицированное и более дорогое оборудование можно экономически рентабельно использовать при принятом уровне организации производства.

В условиях массового производства $m = 1$ и уравнение, описывающее Δ , приобретает вид:

$$\Delta = Q_p c - \frac{R}{t}(1 + \mu + \eta + \phi + \lambda).$$

Эффект эксплуатации машины зависит не только от производительности машины, которая определяется ее конструкцией и качеством изготовления, но и от технико-экономических условий эксплуатации машины и характера выпускаемой продукции. Чрезмерно высокая стоимость машины R ограничивает экономически рациональную область ее применения в разных видах производств и может препятствовать сбыту.

Разрабатываемая ТС и соответствующий ей технологический процесс должны обеспечить выполнение всех требований рабочего чертежа и технических условий при минимальных затратах труда, средств производства и материалов. Таким образом, при проектировании машин ТС и соответствующего технологического процесса необходимо руководствоваться техниче-

скими и экономическими принципами: техническими – с целью удовлетворения требования чертежа; экономически – с целью минимизации затрат. Из всех технически возможных вариантов изготовления одного и того же изделия выбирают тот технологический процесс, который обеспечивает наибольший экономический эффект при его реализации в конкретных условиях производства.

Основными показателями технологического процесса являются производительность и себестоимость обработки. Оба эти показателя в значительной степени зависят от требований к точности и параметрам шероховатости изготавливаемых деталей.

Задача формирования операционной технологии для проектирования оборудования заключается в том, чтобы, зная зависимости, ограничения и условия, определяющие нормальную его работу, а также работу инструмента и труд рабочего, решить многовариантную технико-экономическую задачу выбора наиболее эффективной (выгодной) комбинации искомых параметров с учетом особенностей оборудования и особенностей их использования в производстве. Одним из наиболее важных моментов при решении задачи проектирования машины на базе выбранного технологического процесса является установление и вычисление критерия. Для этого необходим анализ структуры штучного времени обработки типовых деталей и всех категорий затрат, связанных с их изготовлением.

Для оценки переменной доли себестоимости операции можно воспользоваться структурой штучного времени и понятием «себестоимость станкоминуты» или «станкоминута».

Переменная доля себестоимости операции может быть записана в виде:

$$\theta = t_p E_p + \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_{ki}}{Q_i} + t_{\text{д.рег}} E_B + t_{\text{д.пер}} E_B,$$

где $\mathcal{E}_{ki} = \Pi E_B + S$ – сумма затрат на период стойкости, связанных с притуплением инструмента (эксплуатационный инструментальный показатель); Π – простой машины, связанный с заменой инструмента; S – стоимость амортизации, заточки и регулировки инструмента; Q – период стойкости инстру-

мента в штуках; $Q_i = T_M/t_{рез}$; T_M – стоимость инструмента в минутах; $t_{рез}$ – время резания конкретным инструментом на одну деталь; t_p – время рабочего хода на операцию, которое зависит от количества и типов инструментов наладки, последовательности их работы и режимов резания; n – количество инструментов;

$n = n_H + n_D$, где n_H – количество инструментов, без которых нельзя сформировать контур детали; n_D – дополнительные инструменты, которые позволяют снизить время обработки, затраты или повысить надежность операции; $t_{Д.РЕГ}$ – время на регулирование дополнительных инструментов; $t_{Д.ПЕР}$ – время на переходы дополнительных инструментов; E_p – себестоимость минуты рабочего хода; E_B – себестоимость минуты вспомогательной работы.

Если сравниваемые операционные технологии используются в одинаковых организационно-производственных условиях, то лучшему технологическому процессу, реализуемому на машине, соответствует меньшее значение переменной доли себестоимости. Сравнение вариантов операционных технологий должно проводиться при одинаковой занятости оператора и наладчика, что соответствует равной технологической надежности и одинаковой организации замены и подналадки инструментов.

1.7. Оптимизация процессов проектирования

В общем виде задача оптимизации состоит в изучении экстремальных (наибольших или наименьших) значений функционалов на множествах, как правило, весьма сложной структуры. Признак, на основании которого производится сравнительная оценка возможных решений (альтернатив) и выбор наилучшего, называется критерием оптимизации.

Содержание критерия оптимизации объективно обусловлено многими факторами: характером общественного строя, экономическими законами, масштабами решений (народное хозяйство, производство, отдельное предприятие), содержанием целей, на достижение которых направлены действия, и т.д. Принцип оптимизации заимствован из математического программирова-

ния и теории управления. Методической основой теории оптимизации, например, экономики, является принцип народнохозяйственной оптимизации, т.е. изучение экономических явлений с позиции целого, с позиции всего народного хозяйства.

Критерий оптимизации призван помочь обосновать решение. Практические задачи обоснования решения можно условно подразделить на три типа. Сущность задач первого типа заключается в необходимости выбора наилучшего варианта действий обеспечивающих достижение вполне определенного, т.е. заданного, результата при минимальном расходе ресурсов. В задачах второго типа объем имеющихся ресурсов зафиксирован, нужно найти наилучший вариант их использования для получения максимального результата. Задачи, в которых поиск наилучшего варианта ведется при отсутствии жестких ограничений, как по объему использованных ресурсов, так и по конечному результату, относятся к третьему типу. При обосновании решений оперируют понятием степень достижения цели, которую характеризуют определенным показателем.

Рассмотрим несколько практических задач оптимизации из области металлообработки.

При многоинструментальной обработке имеется задача определения последовательности введения инструмента в работу станка, которая определяется требованиями операций. В тех случаях, когда требования к операции могут быть обеспечены различной последовательностью ввода инструмента в работу, необходимо выбрать такую последовательность, при которой сумма времени, связанная с переходом, стремится к минимуму, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n=n_H+n_A} t_{il \in P_i} \rightarrow \min.$$

Записанное математическое выражение называется целевой функцией.

Решение целевой функции определяется алгоритмом ветвей и границ (теория графов). Оптимальная последовательность операции находится методом линейного программирования.

Траектории движения инструмента в станке в соответствии с целевой функцией должны проектироваться (задаваться) так, чтобы минимизировать время обработки и увеличить надеж-

ность работы режущего инструмента. С точки зрения выбора критерия различают траектории рабочих перемещений и траектории вспомогательных перемещений. Траекторию рабочих перемещений разделяют на участки установившегося резания, врезания и выхода инструмента. На этом этапе разработки операционной технологии уже известны: режущий инструмент, последовательность введения инструмента в работу, содержание работы каждого инструмента. Поэтому выбор траекторий можно проводить для каждого инструмента в отдельности.

Траектории рабочих перемещений приходится определять до назначения режимов резания. Как следствие этого, определение оптимальной траектории сводится к оценке пути инструмента в металле при равенстве припусков за проход, снимаемых в сравниваемых вариантах. Таким образом, необходимо минимизировать выражение $\sum_{i=1}^n l_i(t, \beta)$ при F_i и $V_i = const$, где l_i – путь

каждого инструмента, зависящий от выбранного припуска на проход и формы траектории перемещений (β); F_i – конфигурация припуска, снимаемого i -м инструментом; V_i – объем припуска, снимаемого i -м инструментом.

Важной задачей является оптимизация режимов резания при механической обработке деталей машиностроения. От уровня назначаемых при проектировании станка режимов резания во многом зависят затраты на опытные операции и их надежность. В процессе эксплуатации режимы резания назначаются после выбора остальных параметров операционной технологии и должны учитывать технологические решения, принятые на предшествующих этапах разработки техпроцесса, а также организационно-технические условия выполнения операции. Критерием выбора режимов резания является переменная часть себестоимости операции, зависящая от режимов (v, S, t), с учетом надежности инструментальной наладки.

Назначение режимов резания осуществляется по нормативам. Нормативы содержат табличные данные и расчетные зависимости для выбора стойкости инструмента, подачи, скорости и глубины резания, а при необходимости – силы и мощности резания.

Используя предлагаемые частные критерии оценки вариантов, можно выбрать оптимальные решения по всем параметрам технологического процесса операции и следовательно, определить технологические основы проектирования станка. Каждое из этих решений может быть распространено на множество операций, для которых условия, определяющие принятые решения, остаются неизменными.

Таким образом, сравнительная оценка вариантов ТС, разрабатываемой на любом уровне, может производиться либо непосредственно по сочетанию значений показателей, либо по специально оформленному критерию оптимизации. Главным требованием, которому должен отвечать критерий, является возможность обеспечить оценку вариантов исходя из поставленной цели.

Выбор или формирование критерия оптимизации – главный вопрос сравнительной оценки альтернатив. При этом основным методологическим принципом является системный подход к оценке возможных решений. Нельзя дать заранее какие-либо рекомендации относительно конкретного содержания критерия оптимизации. Они могут быть сделаны только после рассмотрения общих целей и установления степени соответствия различных сочетаний показателей, характеризующих объект, целям которые стоят перед системой.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятиям «техническая система» и «подсистема».
2. Какие явления подпадают под понятия «внешние факторы», «внутренние факторы»?
3. Приведите известные вам примеры сложных технических систем.
4. Какой документ является исходным при проектировании ТС?
5. Какие документы используются при разработке технического задания на ТС?
6. С какой целью проводится моделирование ТС. Дайте определение понятию «модель»?
7. Расскажите, как вы понимаете основные положения системного и комплексного подхода при проектировании сложных технических систем?

8. Объясните, в чем состоит отличие между понятиями «модель» и «структура»?
9. Что означает понятие «технологический ресурс предприятия»?
10. Объясните, как вы понимаете такое понятие как «потребительский спрос». Как связаны между собой понятия «потребительский спрос» и «технологический ресурс предприятия»?
11. Как вы можете объяснить понятие «автоматизация производства» с позиции проектирования ТС?
12. Перечислите основные потребительские свойства ТС.
13. Какие основные тенденции прогноза развития технических систем вам известны?
14. Перечислите этапы проектирования технических систем.
15. Расскажите об организационной инжиниринговой системе проектирования ТС.
16. Объясните структуру составляющих методики экономического анализа выбора варианта ТС.
17. Как вы понимаете понятие «оптимизация проекта ТС. Что понимается под критерием оптимизации?»

РАЗДЕЛ 2

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

2.1. Основные сведения о машинах и механизмах

Единицей продукции конкретного машиностроительного предприятия в общем виде является машина. *Машина* – это механизм, совершающий какую-то полезную работу с преобразованием одного вида энергии в другой вид. К этому понятию, например, можно отнести определение паровой, вязальной или швейной машины, автомобиль, ЭВМ и т.п.

В машиностроении понятие «машина» более конкретно, и с технологической точки зрения больше используется понятие «изделие».

Изделие представляет собой совокупность элементов, наименьшим из которых является *деталь*. Детали соединяются с другими деталями, образуя при этом *узел*. Узел может состояться или только из отдельных деталей, или деталей, предварительно соединенных вместе (до поставки их в узел). Такие предварительно соединенные детали образуют простейшее соединение, называемое *подузел*. Соединение нескольких узлов составляет *агрегат* или *механизм*. Из агрегатов (механизмов), узлов и отдельных деталей собирается целое изделие, например, автомобиль.

Каждая создаваемая машина проходит несколько этапов жизни, которые объединены общим названием – *жизненный цикл машины*.

Начальный этап жизни машины связан с необходимостью *определения потребности*, т.е. определения потребительского спроса на рынке машиностроительной промышленности. Этому этапу, как уже отмечалось выше, уделяется большое внимание.

В основе определения потребительского спроса используются методологические положения теории маркетинга.

Создание машины связано с решением многих вопросов, основными из которых можно считать мероприятия, направленные на достижение конечной цели проекта: результат проекта, срок окончания, расходы и возможный порядок изменения цели проекта по различным не учтенным ранее причинам. Обычно *результат* описывается как достижение желаемого состояния машины (или системы машин) в зависимости от типа и вида проекта. Не исключено, что конечный результат может быть дополнен отдельными эффектами. *Сроки* описываются в виде временного интервала, в котором желательно завершение проекта. *Порядок изменения цели проекта* описывается обязательно, поскольку в процессе жизненного цикла проекта может возникнуть необходимость корректировки целей проекта. В описании цели должен быть определен порядок таких изменений.

Проектирование и конструирование машины – наиболее ответственный этап создания новой техники. Метод проектирования и конструирования определяется назначением проектируемой машины. Для специальных машин используются системы унифицированных узлов и механизмов; в этом случае сроки проектирования машины существенно сокращаются. При проектировании машин универсального назначения с широким диапазоном выходных характеристик широко используются методы, основанные на гаммном принципе проектирования. В последние годы при проектировании высококвалифицированных машин с программным управлением используется модульный принцип проектирования машин.

Изготовление машины осуществляется в производственных условиях, соответствующих по организации задачам заказа. Если изготавливается машина в единичном варианте (или опытный образец), то обычно изготовление деталей и сборка машины осуществляются в экспериментальном (или инструментальном) цехе. Изготовление и сборка машины серийного производства реализуются по принципу поточной технологии.

Испытание машины проводится на отдельных стендах с целью проверки выходных и эксплуатационных характеристик.

Кроме того, в зависимости от назначения машины, могут проводиться испытания на «холостом» ходу, под «нагрузкой» или по методике ускоренных испытаний с целью оценки надежности машины.

Кроме того, в состав жизненного цикла машины входят: *хранение, транспортировка, эксплуатация, ремонт, техническое обслуживание и утилизация отходов.*

2.2. Классификация машин и механизмов

Основные машины и механизмы классифицируются по:

- формам преобразования одного вида энергии в другой (электрические, гидравлические, пневматические и специальные машины);
- типу механических передач движений между звеньями изделия (рычажные, кулачковые, фрикционные, ременные передачи);
- типу зубчатых зацеплений (цепные, винт-гайка, червячные передачи, редукторы, коробки передач);
- степени применения подъемно-транспортных средств и роботов;
- видам используемых защитных устройств.

Электропривод. Сегодня электропривод рассматривается как автоматизированная электромеханическая система, являющаяся энергетической основой функционирования рабочих машин и их автоматизированного управления. Автоматизированный электропривод получил в последнее 10-летие ускоренное развитие. Это связано, в первую очередь, с общим прогрессом машиностроения, направленным на интенсификацию производственных процессов, их автоматизацию, повышение точностных характеристик и других технических требований, связанных с обеспечением стабильности качества производимой продукции.

Электропривод выполняет преобразование электрической энергии в механическую, необходимую для осуществления технологического процесса. Следует отметить, что новые задачи в технике электропривода выступили побудительным мотивом в развитии силовой полупроводниковой техники. Создание полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов по-

можно осуществлять преобразования электрической энергии в другие виды энергии, наиболее удобные для последующего регулируемого электромеханического преобразования.

В области создания и развития электропривода можно выделить три основных направления:

1. Развитие систем автоматического управления электроприводами. Совершенствование систем управления электроприводами все в большей мере связано с воздействием электропривода на качество технологического процесса.

2. Создание электроприводов прямого действия, т.е. приводов, в конструкции которых отсутствуют промежуточные кинематические звенья (редукторы, коробки передач, устройства преобразования вращательного движения в линейное и др.). Преимущества приводов прямого действия наиболее ярко проявляются в высокоточных и высокودинамичных электроприводах. Отсутствие механических передач позволяет исключить кинематические погрешности движения, связанные с геометрией зубчатого зацепления, с люфтами. Для приводов прямого действия используются сверхвысокомоментные двигатели вращательного движения, обеспечивающие существенное снижение суммарного момента инерции, или линейные двигатели с большими значениями тягового усилия, обеспечивающие снижение суммарной массы механизма.

Для механизмов, в которых рабочий орган совершает линейные движения (манипуляторы, механизмы подачи и другие), а также для механизмов возвратно-поступательного движения (поршневые насосы, компрессоры и другие), весьма перспективным стало использование приводов прямого действия на базе линейных двигателей: асинхронных, синхронных, шаговых.

3. Интеграция электропривода непосредственно в конструкции рабочих машин. Такая интеграция, преследующая цель исключить промежуточные кинематические звенья и повышать динамичность и точность движения рабочих органов, принципиально изменяет компоновку рабочих машин.

Механические передачи. В ряде МРС (строгальных, долбежных, протяжных, зубострогальных и др.) главное рабочее движение – прямолинейное, и для его осуществления применяют

механизмы, преобразующие исходное вращательное движение в поступательное. Эти механизмы называются кулисными (рис. 9)

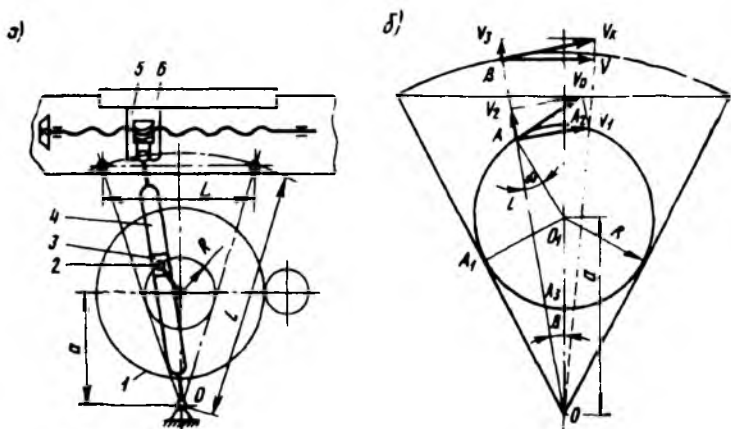


Рис. 9. Кулисный механизм

На рис. 9, а представлена кинематическая схема кулисного механизма, состоящего из кулисного колеса 1, несущего палец 2 с надетым на него кулисным камнем (ползуном) 3. Камень вставлен в прорезь кулисы 4 и может скользить вдоль ее оси. Верхний конец кулисы через серьгу 5 связан с ползуном 6, несущим режущий инструмент. Длина хода ползуна L зависит от амплитуды качания кулисы. Ее можно регулировать изменением радиуса R за счет перемещения пальца 2. Пользуясь обозначениями на рисунке, можно написать: $R = 0,5La / l$, где: l – длина кулисы, мм ($l \cong 0,5La / l$); a – расстояние между центром вращения кулисного колеса и центром качания кулисы, мм; $a = (0,45 \dots 0,55)l$.

Скорость движения ползуна не является постоянной, поэтому можно говорить о средних или мгновенных значениях его скорости. Из схемы скоростей кулисного механизма, представленной на рис. 9,б, запишем: $v = \frac{v_a \cdot l}{AO} \cos \alpha \cdot \cos \beta$, где: v_a – окружная скорость вращения пальца 2 (точка А), м/с.

В крайнем положении $\alpha = 90^\circ$ и, следовательно, $v = 0$; в среднем положении, во время рабочего хода и $\beta = 0$; $AO \rightarrow A_2O = \alpha + R$, тогда: $v = \frac{v_o l}{a + R}$. При обратном ходе ($\alpha = \beta = 0$; $AO \rightarrow A_3O = a - R$): $v = \frac{v_o l}{a - R}$.

Реечный привод. Основное достоинство механизмов данного типа заключается в возможности получения больших скоростей перемещения ведомого элемента при достаточно высоком КПД, а также в простоте изготовления. Однако из-за зазоров в зацеплении и биения шестерни эта передача значительно уступает по точности и плавности движения передаче винт-гайка.

При малой окружной скорости реечного колеса (механизмы подачи) передача чаще всего прямозубая. При более высоких скоростях применяют косозубые реечные передачи.

В тех случаях, когда необходимо обеспечить более высокую плавность перемещения, применяют червячно-реечную передачу. Преимущества ее – в зацеплении одновременно находится несколько пар зубьев, реверсирование происходит более плавно. Подбирая соответствующим образом число заходов червяка и частоту его оборотов, можно с помощью червячно-реечной передачи получать как низкие скорости перемещения, так и сравнительно высокие.

Кулачковые механизмы. Характерная особенность кулачковой передачи – простота осуществления с ее помощью требуемого закона движения ведомого элемента. Профилируя контур кулачка по соответствующему закону, можно реализовать сложные циклы движений, например, быстрое движение исполнительного органа изделия вперед, медленную рабочую подачу, быстрый отвод и остановку с помощью одного лишь кулачка. Другое достоинство кулачковой передачи – плавность движения ведомого элемента при условии правильного профилирования контура кулачка.

Кулачковые механизмы используют в кинематических цепях прямолинейного движения самого разнообразного по назначению технологического оборудования.

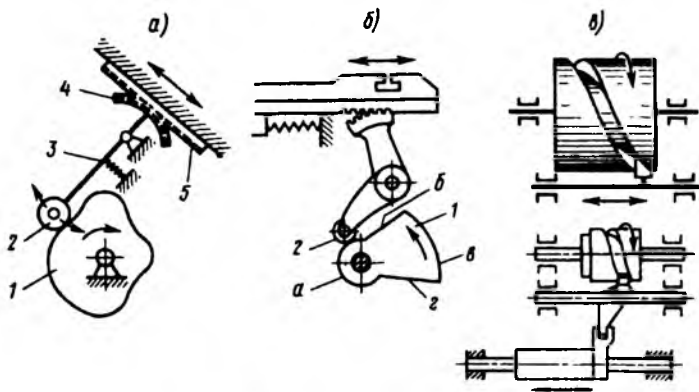


Рис. 10. Кулачковые механизмы

Различают кулачковые механизмы с плоскими и цилиндрическими кулачками. При вращении фигурного плоского кулачка 1 (рис. 10, а) через ролик 2, рычажную передачу 3 и зубчатый сектор 4 движение передается рейке 5, которая совершает возвратно-поступательное движение в соответствии с профилем кулачка. Аналогично работает и кулачковый механизм, изображенный на рис. 10, б. Однако в данном случае на участке «а» ролик 2 неподвижен, на участке «б» – быстрый подвод, а на участке «в» – рабочая подача суппорта.

Цилиндрические кулачки барабанного типа (рис. 10, в) широко применяют в прутково-трубных токарных автоматах, как для выполнения рабочих движений инструмента, так и для подвода и зажима прутков.

Гибкие передачи. К гибким передачам относятся ременные передачи, передающие крутящие моменты за счет трения между шкивами и ремнем (рис. 11, а). Для обеспечения сопряжения между указанными элементами производят натяжение ремня с помощью специальных натяжных устройств. Сила натяжения ремня T ограничивается прочностью ремня. Ремни с плоским сечением (рис. 11, б) используются при высокой скорости передачи с относительно небольшими усилиями. В большинстве случаях в приводе главного движения станков общего применения используются клиновые передачи с несколькими ремнями (рис. 11, в) и, реже, поликлиновые ремни (рис. 11, г).

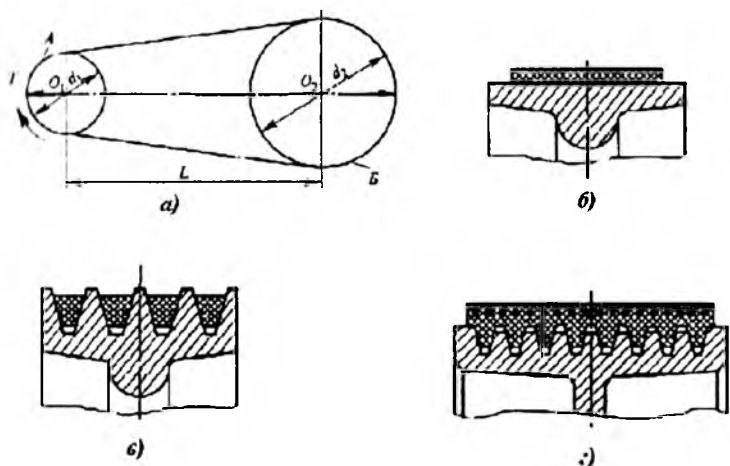


Рис. 11. Гибкие передачи

Соединительные муфты. Для соединения вала двигателя непосредственно с коробкой скоростей используется муфта с упругим соединением (рис. 12).

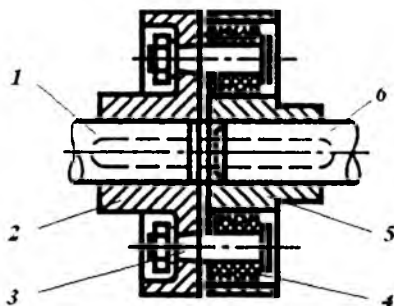


Рис. 12. Соединительная муфта

Соединительная муфта состоит из двух полумуфт, одна из которых 2 надевается на вал двигателя 1, а вторая 5 – на входной вал 6 коробки скоростей. Обе полумуфты связаны между собой одной шпонкой, показанной на рисунке пунктиром. В осевом направлении полумуфты стягиваются гайками через оси 3 и уп-

ругие элементы 4, изготовленные из плотной резины. Использование упругих элементов компенсирует технологические неточности изготовления полумуфт.

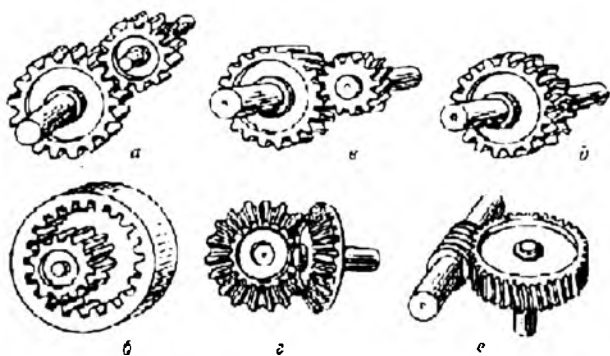


Рис. 13. Зубчатые передачи

Многие узлы и механизмы машин состоят из *зубчатых передач* (рис. 13), которые обеспечивают высокую стабильность частот вращения, передают большие мощности и имеют относительно малые габаритные размеры. Зубчатые передачи применяют для передачи вращения между параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися валами, а также для преобразования вращательного движения в поступательное движение.

Профиль зубчатых колес очерчен по эвольвенте, а само зацепление называется *эвольвентным*. На рисунке: *а, б* – прямозубая цилиндрическая передача наружного и внутреннего зацепления соответственно; *в* – косозубая цилиндрическая передача наружного зацепления; *г* – прямозубая коническая передача; *д* – шевронное колесо; *е* – червячная передача.

Подъемно-транспортные механизмы. В качестве средств автоматизации загрузки заготовок и выгрузки обработанных деталей используются загрузочные устройства, встроенные в машины-автоматы, а также манипуляторы и промышленные роботы.

Рассмотрим некоторые типовые конструкции встроенных загрузочных устройств, применяемых в станках-автоматах.

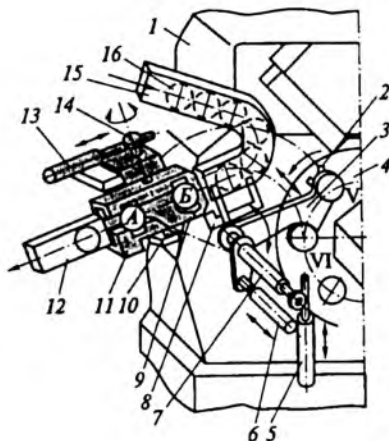


Рис. 14. Загрузочное устройство

На рис. 14 показано загрузочное устройство последовательного действия к многшпиндельному горизонтальному токарному станку-автомату 1.

Оно имеет возможность в процессе обработки поворачивать обрабатываемую заготовку 16 на 180° . Устройство снабжено магазином с подводящим лотком 15 и отсекателем 8, кантователем 11 и отводящим лотком 12.

Кантователь может поворачиваться на оси 10 на 180° с помощью гидроцилиндра 13 через реечную передачу 14. Ниже магазина размещен питатель, представляющий собой ось 7 с поворотной рукой 3 и захватом 2, фиксирующим заготовку 16. Руке 3 сообщается возвратно-поступательное перемещение от гидроцилиндра 6 и вращательное — от гидроцилиндра 5 через реечную передачу. После поворота шпиндельного блока 4 патроны станка становятся на загрузочные позиции: патрон с готовой деталью — на позицию V, а патрон с полуфабрикатом (заготовкой, обработанной с одной стороны) — на позицию VI. При перемещении питателя вперед патроны станка 1 разжимаются, и обрабатываемые детали 16 оказываются зажатыми в захватах 2 механической руки 3. Питатель отходит назад, вынимая детали из патронов, поворачивается к кантователю и снова движется вперед; при этом готовая деталь входит в открытую полость A кантователя

14, а полуфабрикат – в закрытую полость *Б*. Подпружиненные собачки 9, имеющиеся на лицевой стенке кантователя, при отходе питателя снимают с захватов полуфабрикат и готовую деталь, которая выкатывается из кантователя в отводящий лоток 12. Кантователь поворачивается на 180°, нажимая на выступ отсекаателя 8, и очередная заготовка из лотка 15 вкатывается в полость *А*.

Далее питатель движется по циклу: вперед-назад к кантователю; поворот к станку – вперед-назад. В результате происходит перенос заготовки в патрон на позицию VI, полуфабриката – в патрон на позицию V.

В устройстве загрузки-выгрузки к одношпиндельному токарному автомату (рис. 15) обработанная деталь 3 (кольцо, фланец) пружиной 1 выталкивается из разжатого патрона 2 в подошедший отводящий лоток 4. После отхода лотка назад (от гидроцилиндра 10) питатель 8 (а вместе с ним и заготовка, заранее захваченная механической рукой 5 из подводящего лотка 6) перемещается (от гидроцилиндра 7) в крайнее левое положение и загружает заготовку в патрон 2. При захвате заготовки рука 5 совершает поворот на угол α посредством гидроцилиндра 9 через реечную передачу. Далее питатель возвращается в исходное положение.

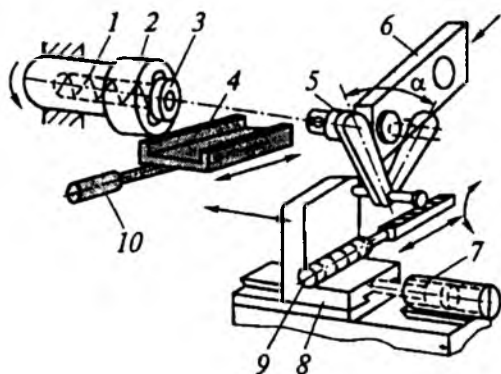


Рис. 15. Загрузочное устройство к токарному автомату

Техническое устройство, предназначенное для выполнения вспомогательных и транспортных операций (загрузка заготовок и выгрузка готовых деталей) путем воспроизведения некоторых

двигательных функций руки человека, называется *манипулятором*. Манипуляторы способны двигаться с большим числом степеней свободы – от двух до пяти.

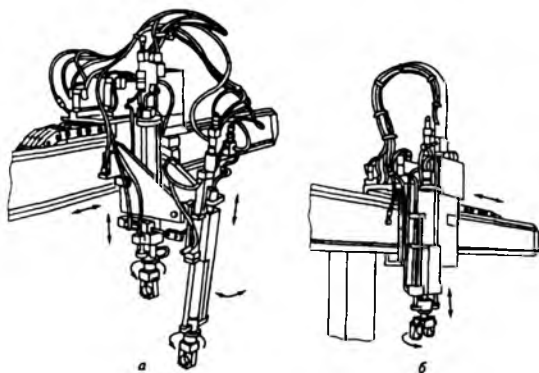


Рис. 16. Консольные манипуляторы

На рис. 16 изображены манипуляторы, консольно расположенные на портале. Они предназначены для перемещения и загрузки-выгрузки деталей типа валиков, фланцев и плоских деталей (в последнем случае захват должен быть вакуумный или электромагнитный). По конструкции такие манипуляторы могут иметь две руки (рис. 16, а) или одну (рис. 16, б).

Автоматический быстроперенастраиваемый манипулятор с программным управлением, способный с помощью механических рук захватывать, ориентировать и транспортировать обрабатываемые изделия или выполнять разнообразные операции, относящиеся к деятельности человека, называется *промышленным роботом* (ПР).

ПР применяются как для выполнения основных технологических операций (окраска, резка, точечная сварка), так и для выполнения вспомогательных операций (обслуживание оборудования, выполнение загрузки-выгрузки при обслуживании металлорежущего, сборочного, кузнечно-прессового и другого оборудования). ПР могут работать самостоятельно или в составе различного оборудования, выполнять разнообразные операции.

Важная принадлежность ПР – захваты. Заготовки берутся захватами за наружную, внутреннюю, а иногда и за боковую по-

верхность. Захваты должны обеспечивать работу в довольно широком диапазоне размеров транспортируемых изделий. Для сокращения времени на снятие готовой детали и установку на новую заготовки широко применяют двойные захваты, расположенные друг над другом и поворачивающиеся вокруг оси манипулятора на 180° и более.

На рис. 17 показаны различные захватные устройства ПР. Они отличаются по типу привода.

В гидромеханическом рычажном устройстве (рис. 17, а) захват изделия 1 клещами 2 происходит при повороте рычагов 3 действующих от гидроцилиндра.

В гидромеханическом реечном устройстве (рис. 17, б) захват изделия 1 клещами 2 происходит при повороте рычагов 3 с зубчатыми секторами, находящимися в зацеплении с рейкой 5, перемещаемой гидроцилиндром 4.

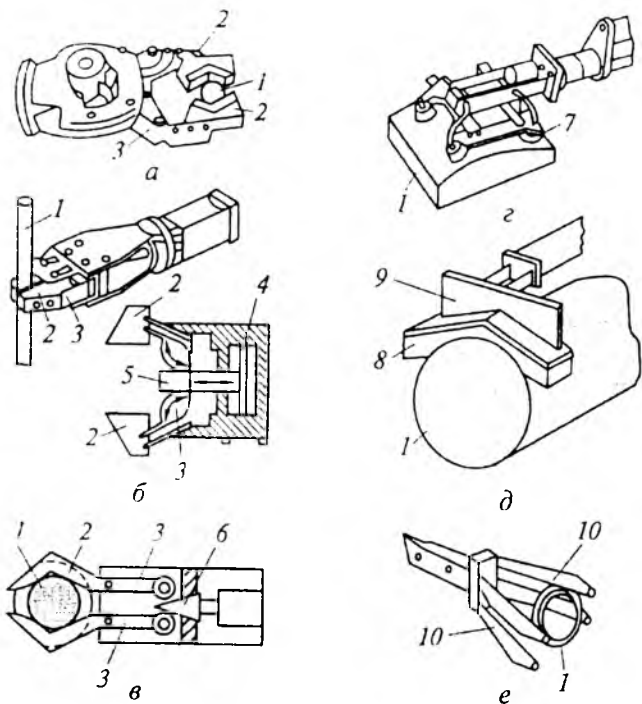


Рис. 17. Конструктивные разновидности захватов ПР

В механическом клиновом устройстве (рис. 17, в) захват изделия 1 клещами 2 производится при повороте рычагов 3, перемещаемых клином 6.

В вакуумном устройстве (рис. 17, г) изделия 1 удерживаются захватами 7, оснащенными резиновыми прокладками. При подходе руки ПР к изделию из полости захватов откачивается воздух, в результате чего образуется зона низкого давления и захваты под действием атмосферного давления прижимаются к изделию и удерживают его.

В магнитном устройстве (рис. 17, д) изделия 1 захватываются электромагнитами 8, в которых (после включения обмоток 9 в электросеть) возникает магнитный поток, замыкающийся с изделием.

В эластичном устройстве с пневматикой (рис. 17, е) захват изделия 1 осуществляется при откачке воздуха из эластичных резиновых камер 10, имеющих форму пальцев. В результате пальцы сводятся к центру и удерживают изделие.

Защитные устройства. Для предохранения направляющих скольжения от загрязнения отходами обработки и попадания охлаждающей жидкости применяют защитные устройства, некоторые из которых показаны на рис. 18.

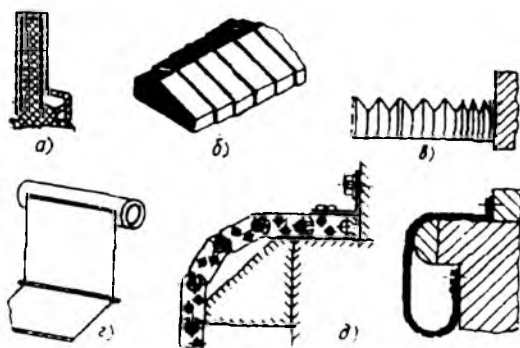


Рис. 18. Защитные устройства

Защитные уплотнения (скребки) с износостойким, упругим, теплостойким уплотняющим элементом на основе полиуретана используют чаще в сочетании с другими защитными устройствами (рис. 18, а); стальные или чугунные щитки крепят к подвижному или неподвижному узлу и защищают обычно одну направляющую. Телескопическая защита, состоящая из стальных листов с полиуретановыми уплотнениями, применяется для скоростей перемещения исполнительных органов станка до 80 м/мин (рис. 18, б). Защита направляющих, выполненная в виде гармошки, составлена из отдельных элементов, изготовленных из полимерных материалов (рис. 18, в). Используются также рулонная защита полимерными лентами (рис. 18, г) и гибкие фартуки из прочной полимерной ленты с наклепанными стальными или латунными пластинами (рис. 18, д).

2.3. Детали машиностроения

Деталь машиностроения, как объект изготовления, характеризуется параметрами качества. Эти параметры определяются служебным назначением, конструктивными особенностями и технологией изготовления детали. При анализе служебного назначения деталей устанавливаются следующие группы параметров:

- требуемое относительное положение присоединяемых неподвижных сборочных единиц и деталей;
- допустимые статические и динамические нагрузки;
- допустимые внешние воздействия и воздействия окружающей среды;
- требуемый период эксплуатации до ремонта и общий срок эксплуатации;
- эргономические, экономические, эстетические;
- требования по габаритам, массе и т.д.

При анализе служебного назначения для каждой конкретной детали определяется необходимый и достаточный качественный состав параметров по всем группам, а по каждому параметру качества – полная количественная оценка (номинальные значения, допустимые отклонения, а в некоторых случаях и вероятностные характеристики).

Рабочие нагрузки характеризуются силами и моментами сил, вызывающими упругие деформации как следствие изменения относительного положения устанавливаемых деталей и сборочных единиц. Тепловые воздействия при работе изделия могут приводить к изменению относительного положения и движения устанавливаемых деталей и сборочных единиц. Внешние воздействия и воздействия окружающей среды характеризуются физико-химическими свойствами среды (влажность, запыленность, концентрация активных элементов), а также температурой, давлением, наличием тепловых, магнитных, электрических полей, вибрациями.

Необходимые свойства обеспечиваются техническими требованиями к детали. Технические требования регламентируют допустимые отклонения размерных параметров и характеристик свойств материалов, соблюдение которых гарантирует выполнение деталью служебного назначения при минимальных затратах.

Требования по размерным параметрам относятся, как правило, к поверхностям вспомогательных и основных баз деталей, их рабочим поверхностям, поверхностям технологических и измерительных баз. Эти требования обуславливают состав поверхностей деталей, подлежащих механической обработке резанием, а также технологический процесс получения отдельных поверхностей и их совокупностью. Деталь на чертежах представляют в виде сочетаний идеально точных объемов, ограниченных цилиндрическими, плоскими, винтовыми и другими номинальными поверхностями. В процессе изготовления деталей и эксплуатации механизмов возникают отклонения размеров, расположения и формы номинальных поверхностей. Кроме того, режущие элементы любого инструмента оставляют на обработанных поверхностях следы чередующихся выступов и впадин, т.е. создают шероховатость и волнистость поверхностей. В чертежах форму и размеры задают с отклонениями от идеально правильных поверхностей и размеров, т.е. с отклонениями, обеспечивающими служебному назначению.

Степень приближения детали к геометрически правильному прототипу, описанному чертежом и техническими требованиями, характеризует его точность.

Конструктивные формы деталей, их размеры бесконечно многообразны. Однако все детали от миниатюрных деталей часов и приборов до многометровых деталей судов, самолетов турбин включают относительно небольшую номенклатуру обрабатываемых поверхностей, в том числе: плоские поверхности, цилиндрические и конические поверхности, винтовые поверхности, зубчатые поверхности. Обычно рабочие и базовые поверхности деталей формируют их указанных номинальных поверхностей и их сочетаний.

Конструктивные особенности деталей в первую очередь влияют на выбор метода и способа обработки. Выбор оптимального метода обработки выполняется, как правило, на первых этапах технологического проектирования. Но помимо этого задача выбора метода обработки деталей расширяется за счет существования различных способов, каждый из которых характеризуется своей точностью, производительностью и соответствующим типом применяемого оборудования и инструмента. Наиболее часто встречающимися конструктивными особенностями деталей являются детали с повышенной твердостью, тонкостенные, с покрытиями, с прерывистой резьбой, с точным взаимным расположением, с упорной резьбой, с комбинированными особенностями.

Детали машиностроения по конфигурации условно делят на детали типа тел вращения и призматические (корпусные, плоские, фигурные) и прочие. Все детали машиностроения, по параметру трудоемкости их обработки, распределены примерно так: валы – 19%, фланцы – 26%, зубчатые колеса – 10%, призматические – 19%, прочие – 26%. К прочим относятся стандартные детали, в том числе крепежные (болты, гайки, шпильки, шайбы и т.п.).

В отдельных случаях, создаются системы деталей для решения конкретных технологических задач. На рис. 19 показана система УСП (универсальная система приспособлений) часто используемая в металлообработке.

УСП обеспечивают переналадку и перекомпоновку при смене объекта производства и могут использоваться многократно в течение многих лет. Применение такой оснастки позволяет значительно сократить номенклатуру приспособлений, поскольку в

условиях мелкосерийного производства, доминирующего в машиностроении, она заменяет большинство специальных конструкций.

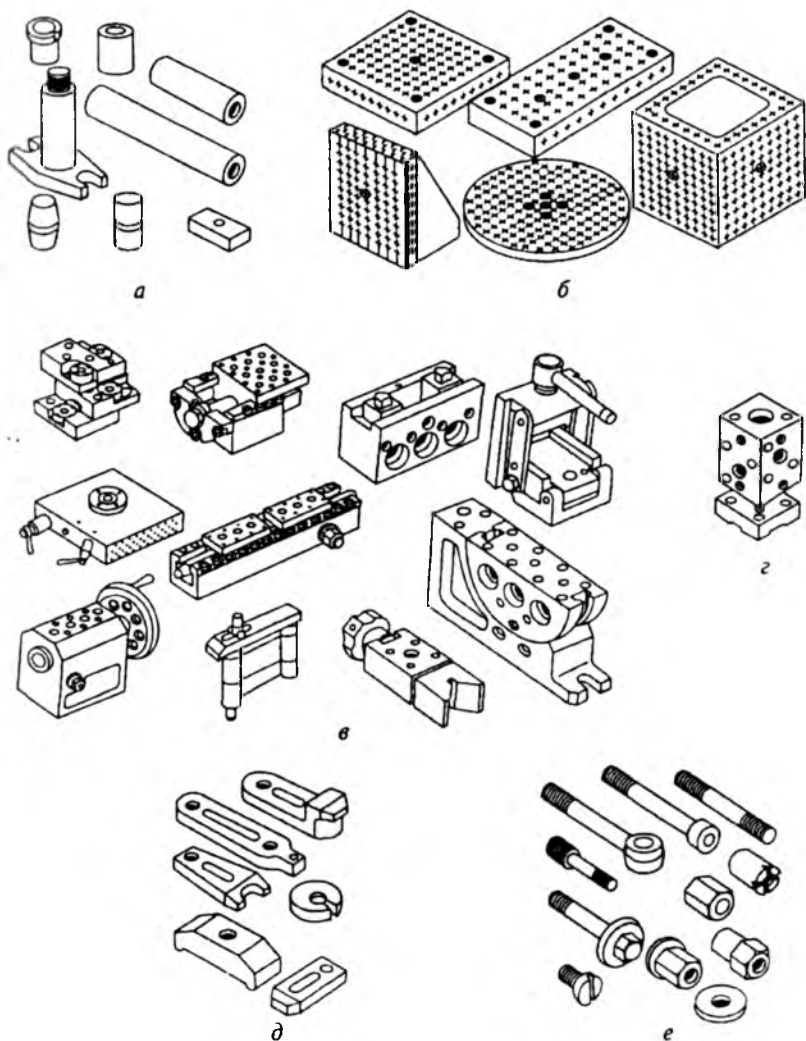


Рис. 19. Базовый набор деталей и сборочных единиц универсально-сборочных приспособлений: а – проставки; б – плиты; в – различные механизмы; г – корпус; д – прихваты; е – элементы крепления

2.4. Методы проектирования и конструирования машин и механизмов

Стандарт (от английского, норма, образец) в широком смысле слова – это образец, эталон, модель, принимаемые за исходные данные для сопоставления с ними других подобных объектов.

Понятие стандартизация как нормотворческая деятельность вовсе не ограничивается миром машин и механизмов, а распространяется на более широкий круг объектов, включает не только мир вещей, но также производственные и социальные отношения. Поэтому она тесно смыкается с экономикой, которая в конечном итоге занимается рациональным использованием ресурсов – трудовых, материальных, финансовых, информационных и т.п. Стандартизация лежит в основе таких методов проектирования и конструирования, как унификация, типизация, агрегатирование, взаимозаменяемость и т.п. Рассмотрим несколько методов проектирования на примерах конструирования МРС.

Агрегатный принцип проектирования специальных станков. В основе этого принципа лежит понятие агрегата. *Агрегат* это стандартный узел, выполняющий определенную функциональную нагрузку только после присоединения к нему другого агрегата. Сами станки в машиностроении получили название *агрегатных станков* (АС). Принцип агрегатирования применяется при создании только специальных или специализированных АС. Основное преимущество этого принципа заключается в том, что на основе заранее отработанной системы агрегатов в сравнительно короткий промежуток можно создавать самые различные компоновки станков, но только по конкретные технологические задачи, преимущественно для условий массового и реже крупносерийного производства. Для примера, на рис. 20 показана одна из многих возможных систем унифицированных узлов (агрегатов).

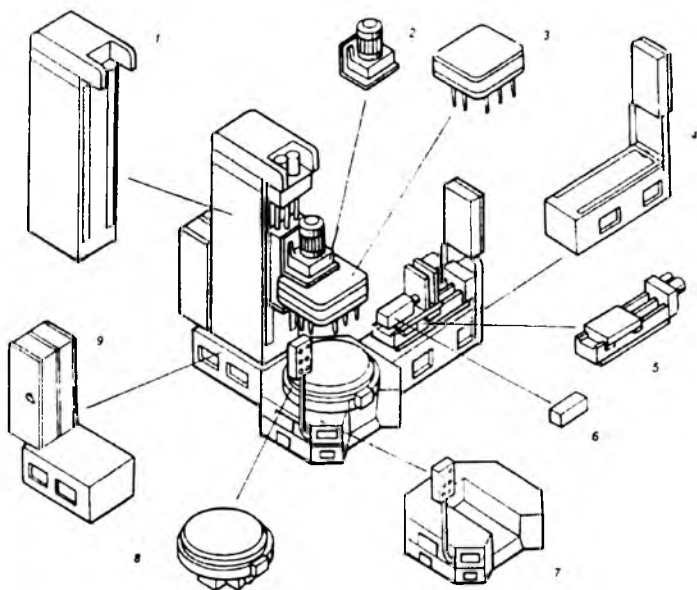


Рис. 20. Система агрегатных узлов:

1 – вертикальная стойка; 2 – силовая бабка; 3 – многошпиндельная коробка; 4 – горизонтальная станина; 5 – силовой стол; 6 – привод подачи; 7 – основание; 8 – поворотный стол; 9 – подставка

Несущей частью АС является вертикальная стойка 1 с направляющими, по которым перемещается каретка (силовой стол 5), имеющая собственный привод подачи 6. В зависимости от принятой концепции конструирования, привод подачи может быть механический (асинхронный односкоростной с винтовой парой, преобразующей вращательное движение в поступательное), гидравлический или пневматический. На каретке размещается силовая бабка 2, соединенная с многошпиндельной коробкой 3. В состав силовой бабки входит электродвигатель, редуктор, размещенный в корпусе, и выходной вал, передающий вращательное движение на многошпиндельную коробку. Количество и расположение шпинделей многошпиндельной головки определяется обрабатываемой деталью. Некоторые примеры АС приведены на рис. 21.

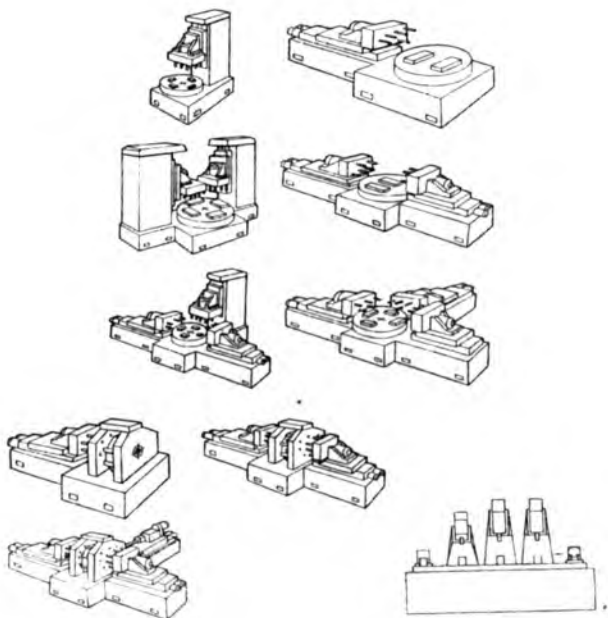


Рис. 21. Примеры компоновок АС

Гаммный принцип конструирования МРС. Этот принцип проектирования и конструирования станков используется в том случае, когда в отдельной технологической группе оборудования создается множество разновидностей по размерам, исполнениям, компоновкам и т.п.

На рис. 22 показана номенклатура МРС фрезерной технологической группы. Она, в зависимости от решаемой технологической задачи, состоит из: консольно-фрезерных станков (рис. 22, а, е, ж); фрезерных станков непрерывного действия (рис. 22, б); копировально-фрезерных (рис. 22, в); вертикально-фрезерных с крестовым столом (рис. 22, г) и продольно-фрезерных (портальных) станков (рис. 22, д).

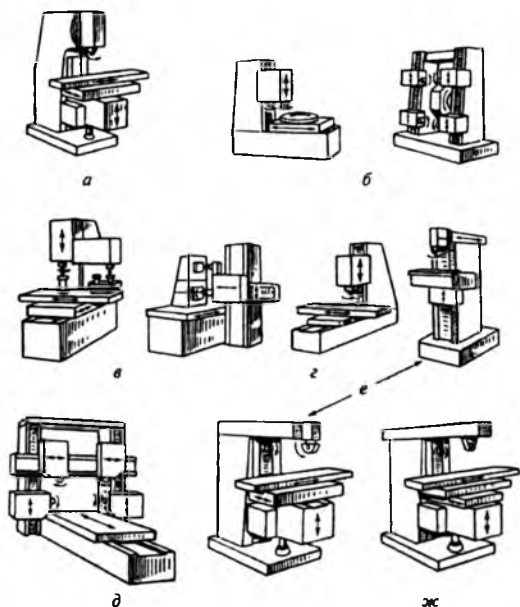


Рис. 22. Фрезерная группа станков

Даже чисто внешнее впечатление, с конструктивной точки зрения, заставляет внимание на некоторые общие признаки компоновок консольно-фрезерных станков. Эта подгруппа станков выделена отдельно на рис. 23. Отличаются эти компоновки расположением шпинделя станка: у консольного горизонтального станка шпиндель расположен горизонтально; у вертикального консольного станка – вертикально; у консольных широкоуниверсальных – шпиндель может иметь возможность как горизонтальное, так и вертикальное исполнение. Все остальные узлы имеют одинаковые конструктивные исполнения узлов (консоль, стойка, основание и т.д.). Такая конструктивная особенность станков позволяет создать базовую модель станка (допустим горизонтальный вариант расположения шпинделя), а на ее основе создавать модификации других вариантов станков. Вся номенклатура консольных станков носит название *гаммы*, а принцип конструирования станков – *гаммный*.

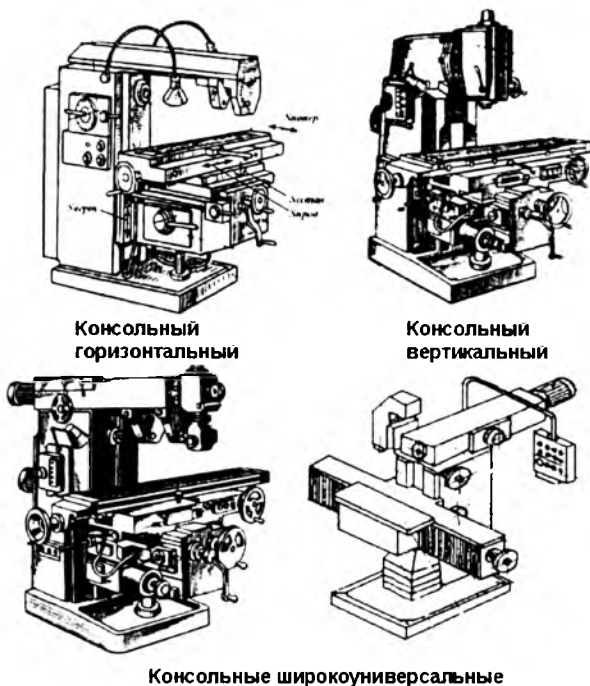


Рис. 23. Компонировки консольно-фрезерных станков

Возможности гаммного принципа этим не ограничиваются. На рис. 24 показаны конструктивные разновидности, использование которых позволяет значительно повысить технологические возможности фрезерных станков. Из рисунка видно (в центре), что базовой компоновкой является горизонтальный консольно-фрезерный станок. Дополнительные приспособления, показанные вокруг базовой модели, придают выбранной базе новые технологические свойства.

Дополнительная вертикальная фрезерная головка (рис. 24, а), устанавливаемая на горизонтально-фрезерном станке, делает его более универсальным. Головка 2 крепится на вертикальных направляющих 1 стойки.

Шпиндель 3 головки приводится во вращение от основного шпинделя станка через зубчатые колеса.

Приспособление для фрезерования реек (рис. 24, б) закрепляют на хоботе 4 станка, а привод приводится в действие от шпинделя 5 станка. Впадину рейки прорезают фрезой 6 при поперечной подаче стола. Смещение рейки на один шаг выполняется вместе со столом в продольном направлении.

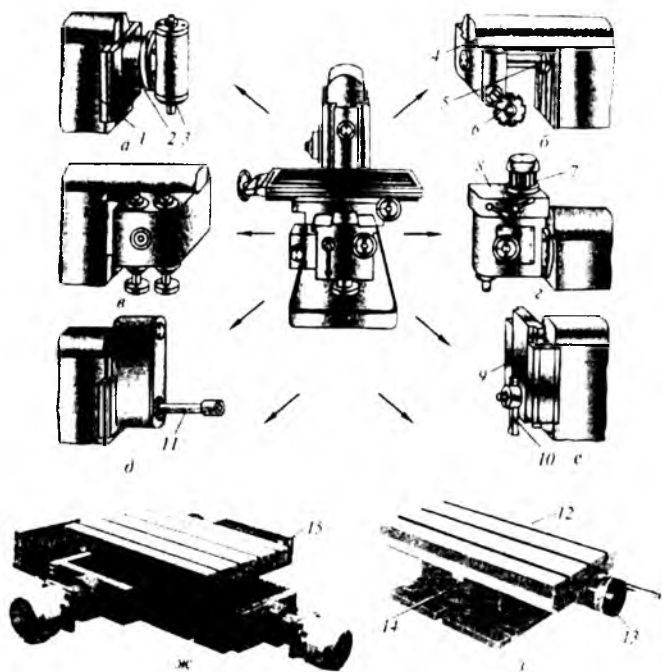


Рис. 24. Система узлов, расширяющих технологические возможности фрезерных станков

Двухшпиндельная фрезерная головка (рис. 24, в) может использоваться при обработке заготовки сразу с двух сторон. В некоторых конструкциях двухшпиндельных фрезерных головок можно регулировать расстояние между осями шпинделей.

Сверлильная головка (рис. 24, г) имеет привод шпинделя от электродвигателя 7 через коробку скоростей 8. Сверлильную головку используют при сверлении малых диаметров отверстий, когда необходима высокая частота вращения инструмента.

Шлифовальную головку устанавливают на стойке консольно-фрезерного станка, ее шпиндель 11 приводится во вращение шпинделем станка через две ременные передачи, что повышает частоту его вращения.

Долбежную головку (рис. 24, е) используют на фрезерном станке при отсутствии на производстве долбежного станка. Головку устанавливают на стойке горизонтально-фрезерного станка. Ползун 9 с резцом 10 получает возвратно-поступательное движение от шпинделя станка через кривошипно-шатунный механизм.

Для выполнения работ повышенной точности по расположению координат отверстий на универсальном станке устанавливают дополнительный крестовый стол 15 (рис. 24, ж) или поворотный стол (рис. 24, з) в сочетании с продольным перемещением верхней части стола от рукоятки 13.

Модульный принцип проектирования машин. Основная тенденция современного мирового производства МРС – использование при их создании модульного принципа.

Модуль – это узел, который автономен конструктивно и функционально и может быть использован в устройствах различного назначения. Модульный принцип предусматривает применение в одной и той же системе нескольких повторяющихся узловых модулей или их частей, выполняющих самостоятельную функцию: например, инструментальных модулей, модулей перемещения заготовок и др.

Помимо узловых модулей и их частей могут рассматриваться также станочные модули, имеющие автоматизированный накопитель приспособлений-спутников с обрабатываемыми заготовками, обеспечивающими непрерывную автоматическую работу станка в течение нескольких часов.

Существенное преимущество станочного модуля – использование унифицированных и взаимозаменяемых столов-спутников в сочетании с универсально-сборочной оснасткой, что позволяет обрабатывать заготовки, отличающиеся как по форме, так и по размерам, и производить их установку и закрепление вне рабочей зоны станка и в процессе обработки. При этом отпа-

дает необходимость в создании специальных зажимных приспособлений.

Таким образом, в настоящее время применяют как станочные, так и узловыe модули. Основные преимущества модульного принципа построения заключаются в следующем:

- модульный принцип повышает технологическую приспособляемость станка, т.е. дает возможность, исходя из требований технологического процесса обработки заготовки, создать в короткие сроки из ограниченного комплекта унифицированных узлов необходимое оборудование;

- повышается гибкость системы проектирования оборудования, так как для создания различных компоновок многократно используется различное сочетание одних и тех же узлов;

- облегчается централизованное изготовление узлов, комплектовующих механизмов и деталей, что позволяет значительно увеличить количество выпускаемого оборудования;

- повышается надежность работы оборудования, так как оно создается из проверенных ранее в работе нормализованных узлов;

- улучшаются условия эксплуатации оборудования, его диагностики и ремонта.

Любая модульная система может быть представлена как набор узлов (модулей) и как номенклатура станков – модификаций, которая может быть скомпонована из этих узлов. Оптимальное построение модульной системы заключается в максимальном сокращении разнообразия узлов при одновременном увеличении модификации станков. Выбор модификаций производится на основе анализа параметров обрабатываемой заготовки, ее конструктивных и технологических особенностей, а также требований по качеству обработки.

На рис. 25 показан пример построения на единой базе (станине 10 и колонне 8) многоцелевого станка с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделя. Шпиндельная бабка 7 с горизонтальным либо вертикальным 6 расположением шпинделя устанавливается на направляющих колонны 8, которая, в свою очередь, может перемещаться в поперечном направлении станины станка 10. Вертикальные и горизонтальные станки снабжены (в зависимости от размеров обрабатываемых деталей

и их массы) одним из двух однокоординатных столов 2, 3. Кроме того, для горизонтального исполнения может быть применен поворотный-передвижной стол 1. Данная система предусматривает модуль автоматической смены инструмента 9 для горизонтального станка и 11 – для вертикального; модуль автоматической смены палет 13, механизм уборки стружки 4, устройство ЧПУ 12 и электрошкаф 5. Таким образом, рассмотренная система позволяет иметь три модификации горизонтального станка и две модификации вертикального станка.

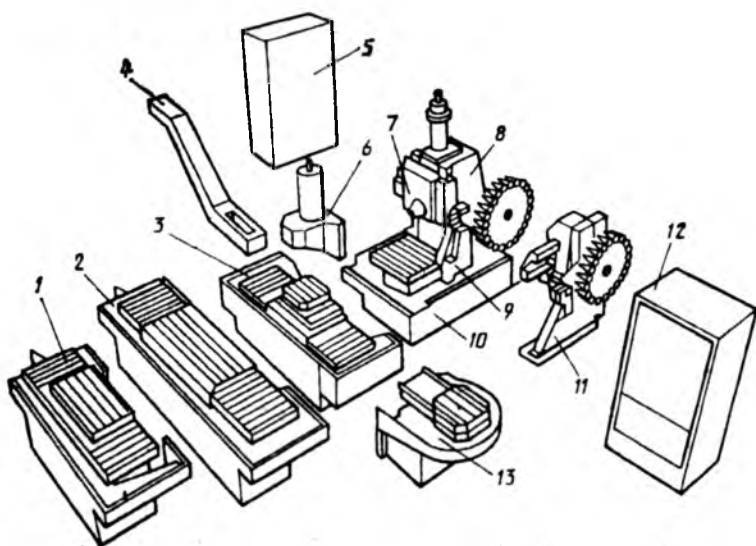


Рис 25. Модульная система

Мехатроника – новое направление развития науки и техники, базирующееся на использовании достижений точной механики, электроники и электротехники для создания комплектных интегрированных интеллектуальных модулей движения рабочих органов машин и средств управления ими. По существу, это направление возникло в рамках электромеханики как раздел специальных комплектных электроприводов, встраиваемых в узлы машины. Принципиально важным является создание мехатронных модулей линейных и вращательных движений ограниченной номенклатуры, на базе которых возможно создание новых

видов перспективного металлообрабатывающего оборудования традиционных и нетрадиционных компоновок, в т.ч. станков с параллельной кинематикой. К нетрадиционным компоновкам металлообрабатывающего оборудования относятся «гексаподные» и др. компоновки.

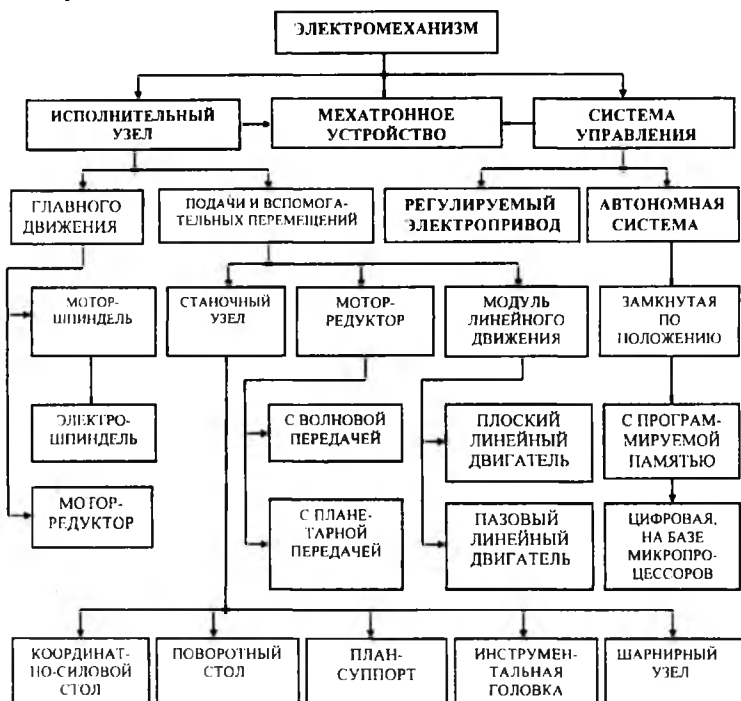


Рис. 26. Классификация мехатронных модулей

Методологической основой создания перспективных станков является апробированный в течение многих лет ведущими производителями принцип модульного построения технологического оборудования из функционально автономных узлов. Соответственно разрабатываются и запускаются в производство гаммы перспективных мехатронных и других узлов (электрошпиндели, линейные модули движения, поворотные столы и т.д.), определяющих перспективные технические характеристики инно-

вационного оборудования, различных по типу, размерам и функциональному назначению.

Мехатронные модули обладают следующими особенностями:

- использование однотипных унифицированных узлов, обеспечивающих модульное построение;
- уменьшение времени ремонта за счет поузловой замены;
- расширение и наращивание функций станков за счет добавления мехатронных модулей и узлов;
- упрощение сервисного обслуживания за счет применения однородных конструкций.

Классификация мехатронных модулей приведена на рис. 26.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определения следующим понятиям: «деталь», «узел», «подузел», «механизм», «изделие».
2. Назовите основные этапы жизненного цикла машины.
3. Назовите основные признаки классификации машин и механизмов.
4. Расскажите все, что вы знаете о электроприводе как машине, преобразующей электрическую энергию в механическую.
5. Что понимается под автоматизацией электропривода?
6. Какие направления развития электропривода вы знаете?
7. Какие передачи называются механическими?
8. Какие преобразования движений совершает кулисный механизм?
9. В каких случаях используются кулачковые механизмы?
10. В каких случаях используются гибкие передачи? Назовите их разновидности.
11. Перечислите разновидности зубчатых передач.
12. Перечислите разновидности подъемно-транспортных механизмов.
13. Дайте определение понятию «манипулятор».
14. В чем отличие робота от манипулятора?
15. Какие разновидности захватов роботов вам известны?
16. Расскажите, что вам известно о защитных устройствах. Какие материалы используются в защитных устройствах, предохраняющих поверхности от возможного их загрязнения?
17. По каким признакам классифицируются детали машиностроения?
18. Расскажите, какие детали общего назначения используются в системе УСП?

19. Объясните роль стандартизации в процессе проектирования и конструирования машин и механизмов.
20. Дайте определения понятиям «агрегат» и «модуль». В чем вы видите разницу в этих понятиях?
21. Расскажите об агрегатном принципе проектирования машин и механизмов. Почему агрегатный принцип применяется при проектировании машин специального назначения?
22. Расскажите о гаммном принципе проектирования машин.
23. В чем вы видите разницу в использовании методов агрегатного и гаммного подхода при проектировании и конструировании машин и механизмов?
24. Для каких конструкций машин целесообразно использовать модульный принцип проектирования машин?
25. Объясните, как вы понимаете термин «мехатронные узлы», и почему считается, что эти узлы являются логическим развитием модульного принципа проектирования машин и механизмов?

РАЗДЕЛ 3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

3.1. Технические требования, предъявляемые к ТС

ТС должны обеспечивать удобства эксплуатации, обслуживания и ремонта. Поскольку ТС могут использоваться в различных условиях производства и системах машин, то их конструкция должна обеспечивать возможность встройки в них различных вспомогательных механизмов, например, для автоматической уборки стружки, загрузки и выгрузки заготовок и др.

Требования, предъявляемые к механическим составляющим ТС, должны удовлетворять следующим условиям:

- разделение ТС на узлы и агрегаты необходимо проводить с учетом принципа их независимости при разработке, изготовлении и сборки;
- максимально возможная унификация и единство конструктивных решений по элементам ТС;
- обеспечение возможности простой и точной сопряженности со смежными узлами;
- обеспечение возможности механизации сборки узлов в системе принятого комплекта;
- механические узлы должны содержать в себе индивидуальные элементы управления, смазочные системы или часть смазочной системы, обеспечивающей работу узла при присоединении ее к общей смазочной системе ТС либо к системе управления и контроля.

Требования к инструментальной и технологической оснастке

- комплект вспомогательного и режущего (стандартного и специального) инструмента должен обеспечивать выполнение всех технологических операций, выполняемых на ТС;

– технические требования к вспомогательным инструментам в сборе с режущим определяются классом точности машины;

– набор элементов технологической оснастки и технические требования к ней, как правило, определяются номенклатурой заготовок, а также характером производства заказчика.

Требования к системе гидрооборудования:

– гидрооборудование ТС должно выполняться на базе изготавливаемых централизованно гидростанций с воздушным охлаждением и с использованием регулируемых или нерегулируемых насосов;

– должно быть обеспечено удобство эксплуатации, монтажа и демонтажа отдельных элементов;

– в качестве регулирующей и распределительной аппаратуры должны использоваться аппараты с прогрессивными способами монтажа, позволяющие обеспечить надежность работы гидроприводов:

– трубопроводы, гибкие рукава, соединительная арматура должны обеспечить полную герметичность, не допускать нарушения герметичности в процессе эксплуатации станков.

Требования к системе смазки:

– система смазки должна быть централизованной и автоматической; система управления смазкой ТС и контроля при необходимости входит в состав смазочной системы;

– тип смазочной системы определяется конструкцией смазываемых агрегатов, их режимами работы и выбирается из серийно выпускаемых;

– системы смазки оснащаются фильтрующими элементами и, при необходимости, устройствами для стабилизации температуры;

– сигнализация о нарушении работы системы смазки должна обеспечиваться необходимой информацией в виде визуального (звукового) сигнала или срабатыванием соответствующих блокировок.

Требования к системе электрооборудования:

– электроприводы серийного изготовления, исполняющие различные формообразующие движения, должны использоваться в ТС комплектно с учетом их технических характеристик, обеспечивающих необходимые мощности и диапазоны регулирования;

– электроавтоматика ТС должна строиться на основе интегральных микросхем, обеспечивающих схему бесконтактного управления.

Требования к системам программного управления:

– ввиду сложности и многообразия технологических операций, выполняемых на ТС, для их комплектации могут применяться системы программного управления, обеспечивающие оперативное и универсальное управление.

Требования к системам автоматической смены инструмента и заготовки

Требования к системе автоматической смены инструмента вытекают непосредственно из их назначения и известных требований к механическим узлам. Специфические же особенности относятся к ее управлению, которая должна обеспечивать:

– возможность поиска кодированного инструмента в режиме наикратчайшего пути;

– установку инструмента в любое свободное гнездо;

– реализацию постоянных циклов и функций логики релейной автоматики;

– прогнозирование и диагностику неисправностей.

К системе автоматической смены заготовок относятся различные многоместные загрузочно-разгрузочные устройства, приводные элементы, сменные столы-спутники. Основные требования к этим узлам:

– система должна обеспечивать работу ТС как в автономном режиме, так и в составе автоматического участка;

– фиксация спутника с заготовкой на столах ТС должна выполняться с точностью, обеспечивающей требуемую точность обработки изделия;

– на верхнем зеркале столов-спутников должны быть выполнены в прямоугольной системе координат фиксирующие и резьбовые отверстия для закрепления зажимных приспособлений;

– приводная станция, приводы и блоки управления должны обеспечивать возможность наращивания объема функций автоматизации.

Требования к системе диагностики ТС

Система диагностики ТС предназначена для сокращения времени ремонтных простоев, повышения точности и производительности обработки. Эта система выполняет сопоставление параметров, характеризующих состояние систем и узлов ТС с заданными для осуществления быстрого поиска неисправностей и принятия решения о возможности продолжения работы. Базовый вариант системы включает в себя контрольные точки и датчики, сигналы которых используются для оценки систем и механизмов ТС, устройства для усиления, фильтрации и первичной обработки диагностических сигналов, каналы связей, устройства для вычисления и сравнения сигналов, устройства для выдачи диагноза, включающего указание места, вида и способа устранения неисправностей. Система диагностики может включать также датчики комплексного вибрационного или акустического контроля состояния станка и контроля важнейших кинематических пар в подшипниках шпинделя, элементах передачи винт-гайка качения и др.

Система диагностирования должна обеспечивать укрупненную оценку работоспособности и выявление отказа важнейших систем и механизмов ТС: устройств программного управления, систем гидрооборудования, смазки, электрооборудования, приводов различных движений, устройств автоматической смены инструмента и заготовки. Результаты диагностирования систем и механизмов ТС должны определяться специальными тестами или с помощью ЭВМ.

Требования к технологичности ТС

Общие требования к технологичности ТС сводятся:

- к сокращению количества оригинальных деталей в составе механических узлов и номенклатуры стандартных размеров под крепежные и другие детали;
- к созданию конструкции основных деталей, в максимальной степени отвечающих требованиям их обработки на ТС с программным управлением;
- к разработке конструкции узлов, обеспечивающих возможность их сборки с минимумом пригоночных и отладочных работ, к обеспечению выходных норм точности ТС за счет рационального подбора допусков на отдельные детали и узлы;

– к обеспечению использования типовых технологических методов обработки заготовок.

Требования к технике безопасности

ТС должны обеспечивать полную безопасность в работе для обслуживающего персонала. При разработке ТС обеспечиваются следующие требования:

– движущиеся части машин, механизмов и транспортных устройств с опасной стороны должны быть ограждены и окрашены в желто-красный цвет;

– должна быть обеспечена защита оператора от стружки, СОЖ, воздушных потоков, создаваемых электродвигателями;

– должны быть предусмотрены механические и электрические блокировки, обеспечивающие надежность работы всех механизмов и исключающие произвольное включение или переключение;

– манипуляторы для смены инструмента заготовок должны иметь надежно действующие замковые устройства, гарантирующие невозможность выпадания инструмента или заготовки во время их автоматической смены;

– уровень вибрации и звуковой мощности, а также общие требования безопасности должны быть в пределах норм государственных стандартов, действующих на момент создания ТС.

Требования к эстетике и эргономике.

ТС должны иметь современные внешние формы и высококачественную отделку. Местное освещение должно обеспечивать освещенность рабочей зоны в соответствии с требованиями санитарных норм и правил, действующих на момент создания ТС. Зона обслуживания должна быть доступной для рабочего и обеспечивать возможность удобного выполнения различных вспомогательных работ и движений. В процессе наладки необходимо предусматривать возможность управления ТС от дистанционного или встроенного пульта. Органы управления должны быть сгруппированы в соответствии с их функциональным назначением, снабжены таблицами и соответствующими символами. Окраска ТС производится в соответствии с действующими нормативными рекомендациями.

3.2. Компоновки ТС. Формообразующие движения ТС

Компоновка ТС – это система расположения узлов и направляющих машины или механизма, отличающаяся структурой, пропорциями и свойствами.

На этапе разработки технологической схемы построения ТС, где в соответствии с технологической задачей определяют состав рабочих и установочных движений, получается схема, которая называется *технологической компоновкой*. Компоновка, раскрывающая состав и порядок сочетания координатных движений, называется *координатной*. Компоновка, уточняющая конструктивное исполнение и некоторые другие особенности ТС, называется *конструктивной*.

В общем виде, обработка деталей машиностроения на ТС основана на относительном перемещении заготовки и инструмента. Любая траектория движений может быть составлена из шести элементарных движений – трех поступательных вдоль ортогональных координат и трех вращательных относительно тех же осей.

Схемы сочетаний элементарных движений классифицируются по следующим группам:

- одно прямолинейное движение;
- два прямолинейных движений;
- одно вращательное движение;
- одно вращательное и одно прямолинейное движение;
- два вращательных движения;
- два прямолинейных и одно вращательное движение;
- два вращательных и одно прямолинейное движение;
- три вращательных движения.

Бывают сочетания трех и более элементарных движений.

В каждой из перечисленных групп *схемы движений* различают по взаимному направлению движений, распределению движений между инструментом и заготовкой и соотношением скоростей. Поступательное движение может быть параллельным, перпендикулярным или направленным под углом к оси вращательного движения, причем линия движения вершины инструмента может пересекаться или не пересекаться с этой осью.

Характер движения формообразования допускает различные варианты распределения элементарных составляющих движения между заготовкой и инструментом: вращательное движение выполняет заготовка, а поступательное – инструмент; вращательное движение выполняет инструмент, а поступательное – заготовка; оба движения выполняет инструмент.

Многообразие компоновок ТС обеспечивает выполнение всех элементарных движений формообразований и предусматривает возможность осуществления ряда дополнительных движений: врезания, установочных, дублирующих, деления, «отскока», вспомогательных и др.

Компоновка ТС имеет блочную структуру и состоит из одного стационарного и нескольких подвижных блоков, разделенных линейными или круговыми направляющими. Каждый подвижной блок выполняет определенное координатное движение. Число направляющих равно или меньше числа элементарных движений, предусмотренных кинематической структурой ТС.

ТС, будучи составной частью замкнутой технологической системы, является системой разомкнутой. Блоки, несущие заготовку и инструмент, в компоновке всегда крайние. Эти блоки осуществляют относительное движение заготовки и инструмента, соответствующее способу формообразования.

3.3. Статические свойства ТС

Упругие перемещения в ТС являются следствием деформации элементов под действием нагрузок от резания и массы узлов. В процессе работы ТС упругие перемещения непрерывно изменяются в связи с изменением нагрузок и перемещением узлов, несущих инструменты и изделия, в результате чего меняются координаты точек приложения нагрузки относительно деформируемых элементов.

При рассмотрении деформаций, например, от сил резания принято оперировать понятием *жесткости* станка. Под жесткостью понимается отношение составляющей силы резания в направлении каждой из координатных осей к упругому перемещению в этом же направлении от равнодействующей силы резания:

$$j = \frac{P}{y}, \quad \text{Н/мм},$$

где P – составляющая силы резания; y – упругое перемещение в направлении действия силы.

Жесткость по разным направлениям и в разных точках рабочего пространства различна.

Упругие статические перемещения влияют на точность обработки и работоспособность механизмов и соединений.

Жесткость технологической системы или ее сборочной единицы зависит от их конструктивных особенностей, материала деталей, качества материала, погрешностей формы поверхностей стыка, степени нагрева и др. Оценивая степень влияния зазоров в стыках, собственной жесткости и контактной жесткости на упругие перемещения, можно отметить, что контактные упругие перемещения в общем балансе достигают 40–80%.

В результате наличия зазоров в стыках жесткость технологической системы изменяется от одного цикла нагружения к другому. Это различие можно графически изобразить в виде петли гистерезиса. При одном и том же характере нагружения эта разница уже третьего цикла нагружения сводится к минимуму (рис. 27).

Жесткость всегда является положительной величиной. Отрицательной жесткости не может быть, так как это противоречит физическому смыслу явления.

Упругие перемещения деталей и их соединений вызывают концентрацию нагрузки в соединениях (опорах, направляющих, цилиндрических и конических соединениях) и тем самым влияют на их работоспособность и долговечность. Условия работы подвижных соединений характеризует наибольшее давление в контакте, которое зависит от жесткости сопрягаемых деталей. В направляющих жидкостного трения деформации сопрягаемых деталей на длине контакта должны быть значительно меньше толщины масляного слоя. Все эти условия определяют требования, предъявляемые к жесткости сопрягаемых деталей. Существенные местные деформации деталей или отдельных их частей, приводящие к повышению давлений, а в ряде случаев и раскрытию стыков, возникают в направляющих вследствие их отгиба и отгиба прижимных планок, в неподвижных соединениях – у фланцев и в накладных направляющих.

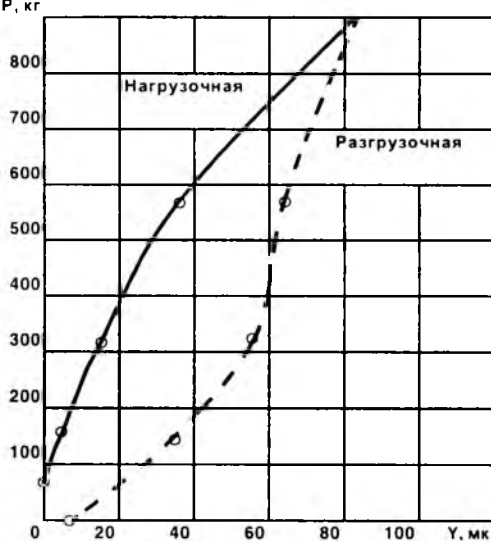


Рис 27. График $y = f(p)$ «нагрузка-разгрузка»

Жесткость деталей и их соединений является составной частью динамической системы ТС и используется при динамических расчетах.

Расчет статических упругих перемещений используют при решении следующих практических задач:

- составление баланса упругих перемещений при анализе различных вариантов конструкции, выборе оптимальных компоновок и параметров упругих систем;
- определение погрешностей обрабатываемых деталей, обусловленных деформациями элементов ТС;
- оценке условий работы соединений;
- определение высоты фундаментов тяжелых ТС с длинными сплошными станинами;
- определение нагрузки, действующей на элементы конструкций в статически неопределимых задачах.

При составлении баланса упругих перемещений определяют составляющие перемещения точки приложения статической силы, имитирующей любую природу этой силы (резание, вибра-

цию и т.п.). Основная доля в балансе упругих перемещений приходится на несущие системы, приводы и т.п. Под *несущей системой* понимается совокупность элементов ТС, через которые замыкаются силы, возникающие между инструментом и заготовкой. К элементам несущей системы относятся станины и корпусные детали.

Упругие деформации ТС складываются из собственных деформаций деталей и контактных деформаций в местах сопряжений. Собственные деформации оказываются существенными при работе ТС со значительными нагрузками и в тяжелых ТС при перемещении многотонных узлов.

В точных ТС превалируют контактные деформации. Смещение контактирующих тел под нагрузкой является следствием микро- и макронеровностей поверхности. Наличие волнистости и отклонений от правильной геометрической формы поверхности в стыках приводит к тому, что нагрузки воспринимаются небольшой частью контактирующих поверхностей. Упругие перемещения в стыках зависят от большого числа факторов (параметров шероховатости поверхности, отклонений от правильной геометрической формы, распределения давления по площади и др.) и при одних и тех же условиях нагружения и размерах стыков могут изменяться значительно.

Расчеты на жесткость основаны на обработке большого количества экспериментальных данных и позволяют получить средние значения контактных упругих деформаций. При расчете жесткости несущие системы рассматривают как рамы с упругим соединением элементов. Оси элементов рамы полагают совпадающими с осями, проходящими через центры тяжести элементов системы. При определении составляющих от собственных деформаций элементов, образующих раму, т.е. станин, стоек, поперечин, рукавов, хоботов и др., их рассматривают как сплошные брусья некоторой приведенной жесткости и рассчитывают общие деформации при изгибе, сдвиге и кручении на деформируемой длине.

Оценить работоспособность корпусных деталей можно на основе учета максимальных усилий, действующих в процессе работы станка. Поскольку корпусные детали и в первую очередь

станины находятся под действием сложной системы переменных сил и имеют различную толщину стенок, ребра жесткости, перегородки, окна и т.п., то расчет деформаций таких деталей представляет определенные трудности. Для удобства расчета сложные формы корпусных деталей можно представить в виде ферм, балок упрощенной конструкции. Это дает возможность оценить различные варианты конструкций, напряжений и деформаций в них. Наиболее важное значение имеет проверка жесткости станины, стоек, траверс на изгиб и кручение. Для проверочных расчетов составляют расчетную схему с указанием направления и значений действующих нагрузок, которые и являются исходными для расчета базовых узлов и механизмов станка. В качестве примера на рис. 28 показаны схема сверлильно-фрезерно-расточного станка и эпюры изгибающих M_u и крутильных M_k моментов, действующих в станине от сил резания (P_x, P_y, P_z).

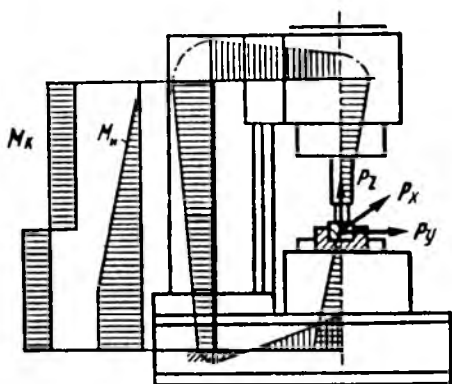


Рис. 28. Распределение нагрузок на несущую систему станка

Шпиндельные узлы в металлообработке (например, при расчете жесткости) рассматриваются как ступенчатые стержни на упругих опорах (рис. 29).

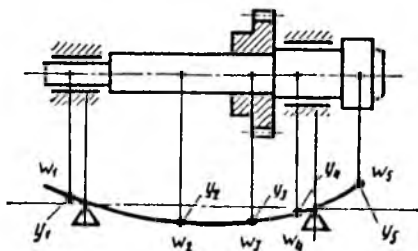


Рис. 29. Расчетная схема шпинделя:

$w_1 \dots w_5$ – сосредоточенные массы; $y_1 \dots y_5$ – деформации

Жесткость опор качения определяют по зависимости для точечного и линейного контакта с учетом распределения нагрузки между телами качения. Автоматизированные расчеты по методу конечных элементов позволяет рассматривать любое число пар и ступеней шпинделей, жесткость гильзовых корпусов или насаживаемых на шпиндель деталей.

3.4. Кинематические свойства ТС

Структура кинематической цепи (последовательность расположения кинематических пар и звеньев) зависит от назначения ТС, требуемой точности передачи движения и конструктивных факторов.

Основу ТС составляют механизмы. Под *механизмом* понимают систему звеньев передач, связанных между собой путем соприкосновения твердых тел, совершающих под действием приложенных сил определенные целесообразные движения.

Звеном механизма называется система тел, состоящая из одного или нескольких твердых тел, соединенных между собой неподвижно. Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение, называется *кинематической парой*, или просто *парой*. Поверхности, линии, точка, которыми звено может соприкасаться с другим звеном, называются *элементами звена*.

Система звеньев, соединенных между собой в определенной последовательности, образует *кинематическую цепь*. Кинематические цепи, в которые входят кинематические пары, их элементы и связи, изображают на чертеже в виде *кинематической схемы* с помощью условных графических знаков. Правила выполнения кинематических схем и обозначений их элементов установлены ГОСТ 2.770-68. Для ТС, имеющих наряду с механическими передачами гидравлические, электрические и пневматические устройства, составляют соответствующие схемы.

Входящие в кинематическую цепь элементы, определяют передаточные отношения между валами.

Передающие механизмы преобразуют движение от одного элемента привода к другому. В применяемых передачах различают ведущий элемент и ведомый элемент. Характеристикой передачи служит передаточное число, с помощью которого можно определить, во сколько раз частота вращения ведомого элемента больше или меньше частоты вращения ведущего элемента.

На рис. 30 показаны наиболее часто встречаемые в кинематике ТС сочетания элементов передач:

Для всех передач n_1 – частота вращения ведущего вала 1, n_2 – частота вращения ведомого вала II, D_5 – линейное перемещение исполнительного органа станка.

Элементарные механизмы, позволяющие изменять передаточное отношение кинематических цепей, называются *множителями*.

Широкое распространение в МРС получили механизмы, состоящие из передвигных многовенцовых зубчатых колес (рис. 31).

Число колес в блоке чаще всего два, три и, реже, четыре. Блоки применяют в качестве ведущих и ведомых элементов.

Основное достоинство механизмов с передвигными блоками – их простота. Колеса, не участвующие в передаче рабочих нагрузок, не изнашиваются. К недостаткам следует отнести невозможность переключения передачи на ходу и сравнительно большие осевые размеры. Этих недостатков лишены механизмы, у которых зубчатые колеса находятся в постоянном зацеплении (рис. 30 з, л, м).

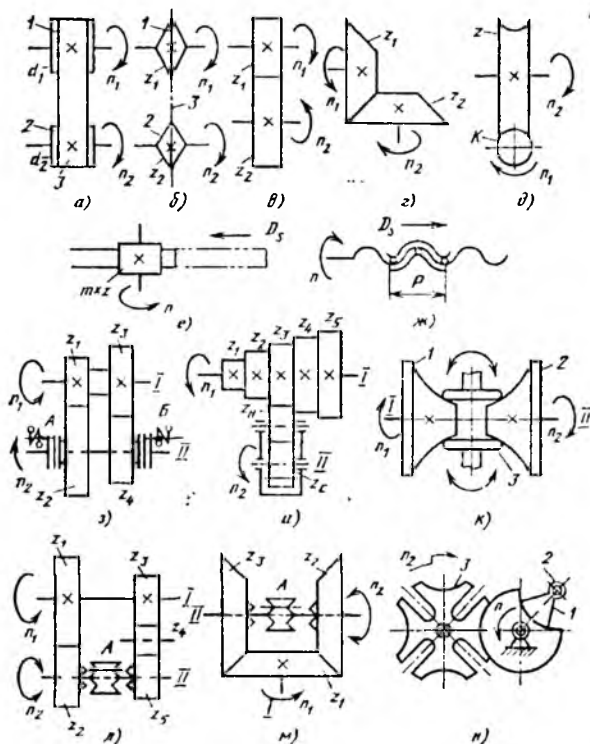


Рис. 30. Кинематические схемы элементарных механизмов:

а – гибкая (ременная) передача с диаметрами шкивов d_1, d_2 (здесь и дальше 1 – ведущее звено, 2 – ведомое звено); б – цепная передача с количеством зубьев в передаче Z_1, Z_2 ; в – зубчатое зацепление с количеством зубьев в передаче Z_1, Z_2 ; г – коническое зацепление с количеством зубьев в передаче Z_1, Z_2 ; д – червячная передача (K – число заходов червяка, Z – количество зубьев червячного колеса); е – реечная передача (K – число заходов рейки, Z – количество зубьев зубчатого колеса, m – модуль); ж – винтовая передача с элементами качения; з – блок шестерен, с управлением включения их от электромагнитных муфт А и Б; и – конический блок шестерен (конус Портона) с насадной шестерней Z_n и скользящей шестерней Z_c ; к – механический вариатор; л – блок цилиндрических шестерен (трэнзель), управляемый от скользящей муфты А направлением вращения (прямое и обратное); м – конический блок шестерен (трэнзель), управляемый от скользящей муфты А направлением вращения (прямое и обратное); н – мальтийский механизм (1 – водило, 2 – ролик, 3 – делительный поворотный диск, n – постоянная частота вращения водила)

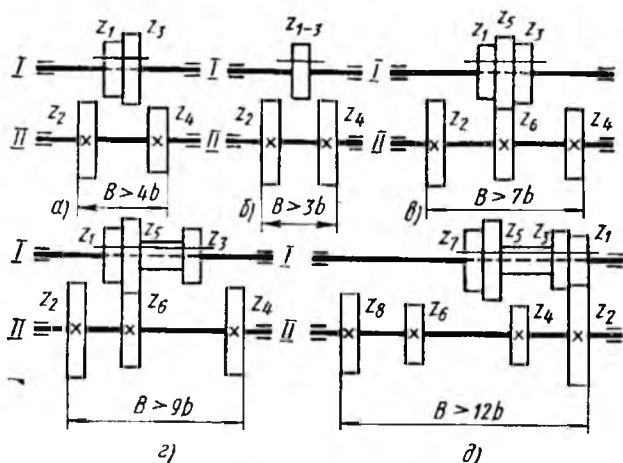


Рис. 31. Множительные механизмы с многозвенцовыми блоками зубчатых колес

На рис. 32 показан множительный механизм с перебором. Вращение колеса Z_1 , осуществляемое колесом Z_5 , может быть передано валу I через перебор, по цепи колес $Z_1 - Z_2, Z_3 - Z_4$ и непосредственно, если переместить колесо Z_4 влево, до сцепления торцовых кулачковых полу муфт. Вал II, колеса Z_3 и Z_3 называются переборными.

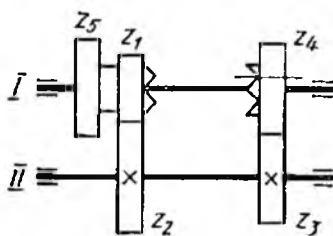


Рис. 32. Множительный переборный механизм

Методика кинематического расчета механизмов подач принципиально не отличается от расчета механизмов главного движения. Поскольку цепи передач подчас являются длинными,

можно выделить множительную часть и рассчитать ее отдельно. Построение же передачи рассчитывают с учетом полученных результатов.

Изменение направление вращения исполнительного органа станка называется *реверсированием*. Чаще реверсирование осуществляется с помощью цилиндрических или конических зубчатых передач (рис. 30 л, м), хотя можно эти движения осуществлять и от двигателя. При передаче движения через зубчатые колеса валы I и II вращаются в разных направлениях. В МРС, которые требуют частого реверсирования, устанавливают фрикционные муфты.

В ряде случаев, для передачи вращения одному валу от двух источников, используются обгонные муфты.

На рис. 33, а показано устройство, состоящее из храпового колеса 1, жестко насаженного на вал 4, и защелки 3, связанной с диском 2. Диск свободно вращается на валу и может приводиться в зацепление от зубчатого колеса 5. Если сообщить вращение диску по стрелки, защелка 3 поведет храповое колесо с валом 4. Если последнему, сообщить большую частоту вращения в том же направлении (от другого источника движения), то оно начнет обгонять диск 2. Защелка 3 препятствовать этому обгону не будет. Защелка зацепит храповое колесо и поведет его снова только после выключения быстрого вращения вала 4.

На рис. 33, б наиболее распространенный вариант обгонной муфты. На валу 4 свободно размещена втулка 6, а на шпонке находится диск 7 с тремя вырезами. Внутри вырезов расположены ролики 5, каждый из которых поджимается пружинами 8.

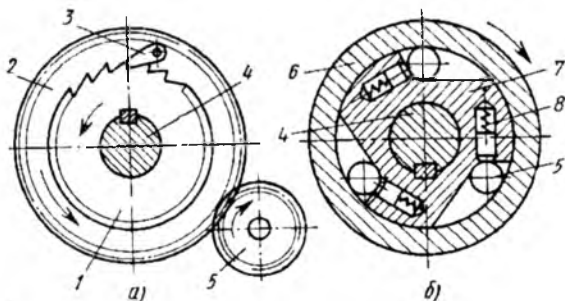


Рис. 33. Обгонные механизмы

При медленном вращении по часовой стрелке, вращение передается втулке 6. Ролики, увлекаемые силами трения и поджимаемые пружинами, попадают в клиновое пространство и заклиниваются между внутренней поверхностью втулки 6 и вырезами 7. Диск начинает медленное вращение вместе с валом 4. Если валу сообщить большую угловую скорость от другого источника в том же направлении, то вместе с ним получит вращение и диск 7. Ролики вместе с диском начнут обгонять втулку 6 и расклинятся. При включении быстрого вращения ролики заклиниваются, и вал снова получит малую скорость вращения.

Дифференциальный механизм (рис. 34) относится к устройствам МРС, выполняющим суммирование движений от нескольких источников (чаще двух). В устройстве, показанном на рисунке, при включении движения от входного вала ($n_{вход}$), передаточное отношение к выходному ($n_{выход}$) через дифференциал, при отсутствии дополнительного движения ($n_{доп}$), будет равно:

$$i_{дифр.1} = 1,$$

поскольку $Z1 = Z2 = Z3 = Z4$. Стеллиты при этом обкатываются вокруг неподвижной шестерни $Z1$.

При включении дополнительного движения через червячную передачу $Z5, Z6$ происходит дополнительное движение от конической шестерни $Z1$, и передаточное отношение дифференциала будет равно:

$$i_{дифр.2} = 2.$$

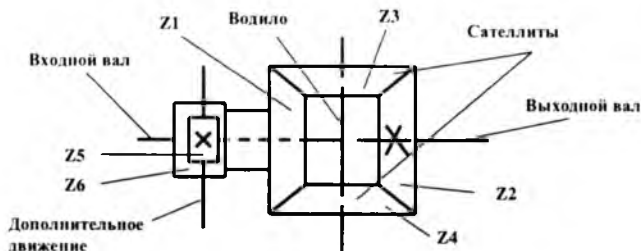


Рис. 34. Дифференциальный механизм

Уравнение кинематического баланса в первом случае записывается в виде:

$$n_{\text{выход.1}} = n_{\text{вход.}} \cdot i_{\text{диф.1}} = n_{\text{вход.}},$$

во втором:

$$n_{\text{выход.2}} = n_{\text{вход.}} \cdot \frac{Z5}{Z6} \cdot i_{\text{диф.1}} = n_{\text{вход.}} \cdot \frac{Z5}{Z6} \cdot 2.$$

3.5. Динамические свойства ТС

Динамика машин и механизмов, раздел теории машин и механизмов, в котором изучается движение механизмов и машин с учетом действующих на них сил. В этом разделе решают следующие основные задачи: установление законов движения звеньев механизмов, определение реакций в кинематических парах, уравнивание машин и механизмов.

Определение законов движения звеньев механизма по заданным характеристикам внешних сил решается с помощью дифференциальных уравнений движения механической системы, рабочей машины и иногда управляющего устройства. В плоских механизмах с одной степенью свободы для удобства решения задачи все силы и массы приводят к одному звену или точке механизма (см. рис. 29), которые называются звеном приведения или точкой приведения. Условный момент, приложенный к звену приведения, называется *моментом приведения*. Момент приведения равен совокупности всех моментов и сил, приложенных к звеньям механизма. Условный момент инерции звена приведения называется *приведенным моментом инерции*. Кинетическая энергия звена приведения равна сумме кинетических энергий всех звеньев механизма. Аналогично определяют приведенные *силу и массу* в точке приведения. С учетом сказанного, уравнения приведения системы в общем виде принимает следующий вид:

$$M_{\Pi} \cdot M_1 + M_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} + P_2 \cdot \frac{v_K}{\omega_1} \cdot \cos \alpha_2 + P \cdot \frac{v_C}{\omega_1} \cos \alpha_3;$$

$$J_{\Pi} = J_1 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + m_2 \left(\frac{v_{S_2}}{\omega_1} \right)^2 + m_3 \left(\frac{v_C}{\omega_1} \right)^2;$$

$$P_{\Pi} = M_1 \frac{\omega_1}{v_B} + M_2 \frac{\omega_2}{v_B} + P_2 \frac{v_K}{v_B} \cdot \cos \alpha_2 + P_3 \frac{v_C}{v_B} \cdot \cos \alpha_3;$$

$$m_{\Pi} = J_1 \left(\frac{\omega_1}{v_B} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{v_D} \right)^2 + m_2 \left(\frac{v_{S_2}}{v_B} \right)^2 + m_3 \left(\frac{v_C}{v_B} \right)^2,$$

M_{Π} — приведенный момент; J_{Π} — приведенный момент инерции; P_{Π} — приведенная сила; m_{Π} — приведенная масса; M_1, M_2, P_2, P_3 — моменты и силы, приложенные к звеньям механизма; ω_1, ω_2 — угловые скорости звеньев; v_B, v_C — скорости точек B и C механизма; v_{S_2} — скорость центра тяжести звена 2; v_K — скорость точки K приложения силы P_2 ; α_2 — угол между векторами P_2 и v_K ; α_3 — угол между векторами P_3 и v_C .

Уравнение движения системы имеет вид:

$$J_{\Pi} = \frac{d\omega}{dt} + \frac{dJ_{\Pi}}{d\varphi} \cdot \frac{\omega^2}{2} = M_{\Pi},$$

т.е. M_{Π} в общем случае зависит от времени, положения, скорости.

Уравнения движения обычно являются *нелинейными*. Методов точного решения их не существует, поэтому пользуются приближенными *графическими, графо-аналитическими и численными методами интегрирования*. Установить закон движения механической системы сложнее, если учитывать трение и зазоры в кинематических парах, упругость и переменность масс звеньев. Иногда, например, при изучении быстротекущих процессов в машинах, некоторые внешние силы нельзя считать заданными, т.к. движение механизма может оказать обратное воздействие на характеристику этих сил. Например, в некоторых режимах с большими ускорениями нельзя принимать механическую характеристику электродвигателя как заданную зависи-

мость момента на валу двигателя от угловой скорости, т.к. на этот момент существенное влияние могут оказать электромагнитные процессы в электродвигателе. В этом случае к дифференциальным уравнениям движения механической системы добавляют дифференциальное уравнение электромагнитных процессов в электродвигателе и решают их совместно.

Различают неустановившийся, переходный и установившийся режимы движения.

При *установившемся режиме* скорости точек механизма являются периодическими функциями времени или положения или остаются постоянными. Регулирование установившегося движения сводится к обеспечению угловой скорости звена привода, не превышающей допустимого отклонения от ее значения. Для этого рассчитывают и устанавливают на машину специальную массу – маховик.

Необходимость регулирования *неустановившегося* движения возникает в том случае, когда, несмотря на непериодическое изменение внешних сил или масс, в механизме требуется постоянно поддерживать среднюю скорость звена привода. Для этого на машину устанавливают специальные автоматические регуляторы. Если же скорость какого-либо звена нужно изменять по заданному закону (программе), то в машину встраивают программное устройство. Примером может служить программное управление МРС. Конкретная задача, рассматриваемая теорией регулирования, – отыскание оптимальных режимов движения машин (оптимальное управление). Например, определение движения с *наибыстрейшим переходным режимом* при ограниченном ускорении, т.е. оптимального по быстродействию, или движения с минимум затрачиваемой в переходном режиме энергии, т.е. оптимального по потерям.

Нахождение непроизводительных потерь в машинах сводится к определению потерь на трение, которые являются основными и влияют на эффективность работы машин и механизмов. Степень использования энергии в машине оценивается механическим КПД. Например, подсчет КПД кинематической цепи, состоящей из двух передачи и подшипников:

$$\eta = \eta_{\text{опор}}^6 \times \eta_{\text{ц. пер}}^2 \times \eta_{\text{кон. пер}}^2 = 0,99^6 \times 0,98^2 \times 0,97^2 = 0,85.$$

$\eta_{\text{опор}} = 0.99$	КПД подшипников
$\eta_{\text{ц. пер}} = 0.98$	КПД прямозубой цилиндрической передачи
$\eta_{\text{кон. пер}} = 0.97$	КПД прямозубой конической передачи

Кинетостатический расчет механизмов, выполняемый при известном законе движения механизма, производится определением реакций в кинематических парах от всех заданных внешних сил, а также сил инерции звеньев и сил трения в кинематических парах. Значения этих реакций входят в расчеты звеньев на прочность и необходимы для подбора подшипников и расчета их смазки.

Уравновешивание машин и механизмов осуществляется рациональным подбором и размещением противовесов, снижающих динамические давления в кинематических парах механизма. На практике осуществляют уравновешивание машины на фундаменте (предотвращение вибраций) или уравновешивание размещением вращающихся масс – балансировкой. Инерционные силы в современных быстроходных машинах достигают больших значений. Переменные по величине и направлению силы инерции нарушают нормальную работу узлов машины, являются источниками вибраций и шума, вредно воздействующими на обслуживающий персонал и нарушающими нормальную работу других механизмов и приборов. В вибрационных машинах рассчитывают условия создания интенсивных колебаний их исполнительных органов. Динамические исследования в машинах непосредственно связаны с расчетами на прочность и жесткость элементов машин, которые проводятся с целью выбора размеров и конструктивных форм деталей. Методы таких расчетов обычно излагаются в таких учебных дисциплинах, как сопротивление материалов, динамика сооружений, детали машин.

3.6. Надежность ТС

Надежность (ГОСТ 27.002-89) – свойство объекта сохранять значения параметров ТС, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах эксплуатации.

Надежность – комплексное свойство, в свою очередь может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства могут иметь различную относительную значимость. Например, для некоторых *неремонтируемых* объектов одним из важнейших свойств надежности является их *безотказность*. Для ремонтируемых объектов одним из важнейших свойств надежности является *ремонтпригодность*.

Количественно надежность объекта оценивается с помощью показателей, которые выбираются и определяются с учетом особенностей объекта, режимов и условий его эксплуатации и последствий отказов. Значения показателей надежности объекта в зависимости от условий обеспечения надежности могут изменяться на различных стадиях его создания и существования – в процессах *проектирования, производства и эксплуатации*, что связано с уровнем качества этих процессов и т.п.

Под «*обеспечением надежности объекта*» понимается совокупность организационно-технических и научно-методических мероприятий, направленных на *достижение* или *поддержание* заданных показателей надежности на всех стадиях существования.

Надежность и эффективность эксплуатируемых объектов являются важнейшими свойствами (или показателями), их качества. При этом понятие эффективности значительно шире понятия надежности.

Таким образом, *надежность* в значительной степени определяет *качество* работы объекта (системы) и влияет на все параметры эффективности его использования: производительность, экономичность, снижение трудоемкости обслуживания, стабильность характеристики качества продукции объекта и др.

Термины, установленные ГОСТ 27.002-89, обязательны для применения во всех видах документации и литературы, входящих в сферу действия стандартизации или использующих результаты этой деятельности. В стандарте все термины и определения даны применительно к техническим объектам.

Кроме основных свойств объекта, куда входит, как комплекс свойств, надежность (включающая безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость объекта), в ГОСТ 27.002-89 даны стандартизированные термины состояния объекта: исправ-

ное и неисправное, работоспособное и неработоспособное, предельное. Указанным ГОСТом также определены такие термины, как повреждение и отказ через события, заключающиеся в нарушении исправности и нарушении работоспособности объекта соответственно. Даны стандартизованные определения терминов восстанавливаемого и невосстанавливаемого, ремонтируемого и неремонтируемого объекта. Определены термины: показатель надежности, единичный и комплексный, относящиеся к одному из свойств или нескольким свойствам, составляющим надежность соответственно. Даны определения терминов: «наработка», «ресурс», «срок службы».

Единичные показатели надежности разделены на показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Следует остановиться на показателях надежности, с помощью которых и соответствующей методики расчета можно определить эффективность работы объекта в эксплуатации. К таким показателям относятся единичные показатели безотказности работы объекта.

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. Статистически вероятность безотказной работы определяется отношением числа объектов, безотказно проработавших до момента времени t , к числу объектов, работоспособных в начальный момент времени $t = 0$.

$$P_1 = \frac{N - n_i}{N},$$

где n_i – число вышедших из строя элементов за время испытания t ; N – число элементов, поставленных на испытание.

При $N \rightarrow \infty$ и уменьшении интервала времени:

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}.$$

Вероятность $P(t)$ показывает, что элемент (объект) будет безотказно работать в течение времени t с вероятностью P . Этот показатель, как другие, рассматриваемые ниже, определяется

статистически с определенной величиной выборки элементов (объектов) – N . То есть, $P(t)$ величина экспериментальная, рассчитываемая для конкретного объекта с целью оценки надежности его работы. В данном случае не имеет смысла говорить о восстанавливаемости и невозстанавливаемости объекта. В реальной ситуации работы объекта каждый его отказавший элемент безусловно восстанавливается различными путями, которые характеризуют есть ли простой и какой длительности. Наименьшей потерей времени – на восстановление отказавшего элемента – можно считать время при введении в работу резервного элемента, если применен метод повышения надежности методом резервирования. Поэтому понятия восстанавливаемый и невозстанавливаемый объект – условны. Время восстановления отказавшего элемента можно определить отдельно, так же как и пути его снижения.

Следует различать вероятности безотказной работы элемента и системы. Статистический расчет вероятности безотказной работы элемента однозначен, в то время как вероятность безотказной работы системы можно определить по вероятностям работы отдельных элементов системы или статистически по испытанию определенной выборки таких систем. Результат может получиться идентичным, если учтены взаимосвязи элементов. Имея в виду сложность взаимной связи отдельных элементов многоэлементной системы, а поэтому и сложность расчета, можно априорно предпочесть определение показателя безотказности работы системы по испытанию выборки таких систем. Однако это также очень сложно и дорого. Поэтому надежность систем определяют обычно по надежности отдельных элементов.

Машины без специального резервирования рассматривают как системы из последовательно соединенных элементов, причем отказ элемента приводит к отказу системы. Вероятность безотказной работы системы $P_{cm}(t)$ по теореме умножения вероятностей равна произведению вероятностей безотказной работы элементов, $P_i(t)$, т.е.:

$$P_{CT}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_n(t).$$

Например, если система состоит из 10 элементов с вероятностью безотказной работы 0,9 (как в подшипниках качения), то общая вероятность получается всего $0,9^{10} = 0,35$.

Вероятностные и статистические выражения вероятности безотказной работы выразятся соответственно:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt; \quad P(t) = 1 - n / N$$

где N – число элементов выборки вообще; n – число отказавших элементов за время испытаний; t – текущее время; $f(t)$ – производная от $P(t)$; $f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}$ или вероятность отказа в единицу времени.

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Объект может работать непрерывно или с перерывами. Во втором случае учитывается суммарная наработка. Нарботка может измеряться в единицах времени, длины, площади, объема, веса и других единицах. В процессе эксплуатации или испытаний различают суточную наработку, месячную наработку, наработку до первого отказа, наработку между отказами, заданную наработку и т.д.

Если объект эксплуатируется в различных режимах нагрузки, то, например, наработка в облегченном режиме может быть выделена и учитывается отдельно от наработки при нормальной нагрузке.

Вероятностное и статистическое ее выражение:

$$T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

$$T_0 = 1/n \sum_{i=1}^n T_i$$

где T_i – наработка i -го элемента до отказа.

Оценка средней наработки до отказа зависит от плана испытаний и закона распределения наработки до отказа.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Определение этого термина базируется на применяемом в теории надежности понятии плотности вероятности отказа в момент t , под которым понимается предел отношения вероятности отказа в интервале времени от t до $t + \Delta t$ к величине интервала Δt , при $\Delta t \rightarrow 0$.

Физический смысл плотности вероятности отказа – это вероятность отказа в достаточно малую единицу времени.

Из определения интенсивности отказов $\lambda(t)$ следует, что:

$$P(t)\lambda(t)\Delta t = f(t)\Delta t,$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы за время t ; $f(t)$ – плотность распределения наработки до отказа:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

Интенсивность отказов статистически может определяться отношением разности между числом отказов $r(t + \Delta t)$ к моменту времени $t + \Delta t$ и числом отказов $r(t)$ к моменту времени t , к произведению количества объектов, *работоспособных* в момент времени t , на длительность интервала времени Δt :

$$\lambda(t) = \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{N(t) = N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t},$$

где $r(t)$ – число отказов за время t ; $N(t)$ – число объектов, *работоспособных* к моменту t .

Средняя наработка на отказ – отношение суммарной наработки *восстанавливаемого* объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Объект может работать непрерывно или с перерывами. Во втором случае учитывается суммарная наработка. Величина наработки на отказ в общем случае зависит от длительности периода, в течение которого она определяется. Это обусловлено непостоянством характеристики потока отказов.

Вероятность восстановления в заданное время – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного, где под временем восстановления понимается время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранение его последствий.

Среднее время восстановления – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа.

При наличии статистических данных о длительностях восстановления m объектов (включая время поиска причин отказа) $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_m$ оценка среднего времени восстановления вычисляется по формуле:

$$T_B = \left(\sum_{i=1}^m \tau_i \right) / m .$$

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Статистически коэффициент готовности определяется отношением суммарного времени пребывания наблюдаемых объектов в работоспособном состоянии к произведению числа этих объектов на продолжительность эксплуатации (за исключением простоев на проведение плановых ремонтов и технического обслуживания)

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N \zeta_i}{NT_{\text{раб}}} ,$$

где ζ_i – суммарное время пребывания i -го объекта в работоспособном состоянии ($i = 1, 2, \dots, N$); $T_{\text{раб}}$ – продолжительность эксплуатации, состоящей из последовательно чередующихся интервалов времени работы и восстановления.

Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии на некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени

пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и начиная с этого момента будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Различают следующие виды отказов:

- *внезапный* отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта;

- *постепенный* отказ – отказ, характеризующийся постепенным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта;

- *независимый* отказ – отказ, не обусловленный другими отказами;

- *зависимый* отказ – отказ, обусловленный другими отказами;

- *сбой* – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора;

- *перемежающийся* отказ – многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера;

- *конструкционный* отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования;

- *производственный* отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии;

- *эксплуатационный* отказ – отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации объекта.

Вопросы для самопроверки:

1. Объясните, на основании каких положений формулируются требования по особенностям проектирования машин и механизмов?
2. Дайте определение понятия «компоновка» ТС. Какие разновидности этого понятия существуют?

3. Какие сочетания движений элементов машин и механизмов вам известны?
4. Объясните, почему компоновку ТС удобно рассматривать как сочетание двух блоков при формообразующих движениях элементов ТС?
5. С какой целью при структурном анализе ТС используются статические методы исследования?
6. Дайте определение понятия «жесткость» ТС.
7. Объясните, какие причины влияют на упругие перемещения сборочных единиц ТС?
8. Расскажите о характере циклического нагружения и снятия нагрузки с ТС. Что обозначает петля гистерезиса при исследовании статистической жесткости ТС?
9. Расскажите, какие практические задачи могут решаться с использованием методов статического анализа?
10. Расскажите об особенностях расчета контактных (поверхностных) деформаций. Какие критерии принимаются во внимание при оценке контактных деформаций между элементами ТС?
11. Какое значение при конструкции ТС имеют элементы несущей системы? Какие элементы входят в состав несущей системы?
12. Расскажите об особенности расчетной схемы несущей системы на примере металлорежущего станка.
13. Расскажите о расчетной схеме на жесткость быстро вращающихся механизмов ТС (на примере шпинделя металлорежущего станка).
14. Что входит в состав структуры кинематической цепи? Дайте определение понятия «кинематическая цепь».
15. Дайте определение следующим понятиям: «звено», «кинематическая пара», «кинематическая цепь», «кинематическая схема».
16. С какой целью в кинематических цепях ТС используются многозвенные передвигные зубчатые блоки?
17. Объясните назначение механизма «перебор».
18. Расскажите о реверсивных механизмах, используемых в механических передачах.
19. С какой целью в кинематике ТС используются суммирующие механизмы? Приведите примеры.
20. Какое назначение приобретает механизм «обгонная муфта» в кинематической цепи ТС?
21. Что означает понятие «передаточное число»?

22. Какие особенности ТС описываются дифференциальными уравнениями?
23. С какой целью в дифференциальных уравнениях используются понятия «приведенный момент», «приведенный момент инерции», «приведенная масса»?
24. Напишите уравнение движения в общем виде и объясните его составляющие с физической точки зрения.
25. Какие разновидности режимов движений вам известны? Объясните, какими способами поддерживаются режимы движений.
26. С какой целью используется при расчете привода движения коэффициент полезного действия? Приведите пример записи КПД.
27. Дайте определение понятия «надежность».
28. Какие виды отказов ТС вам известны?
29. Выразите вероятность отказа ТС в математическом виде.

РАЗДЕЛ 4

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

4.1 Информационные аспекты автоматизированного проектирования

Все большее развитие в последние годы получили сквозные интегрированные системы CAD/CAM/CAE, представляющие собой функциональный набор средств, для автоматизации процессов конструирования и технологической подготовки производства, различных объектов промышленности. Системы включают в себя программно-технические модули, функционально охватывающие анализ объектов, создание чертежей, подготовку производства на всех этапах, а также обеспечивающих высокую функциональную гибкость всего цикла производства.

Интегрированные системы представляют собой не просто объединенный набор отдельных программных решений, а целостную систему взаимосвязанных инструментальных модулей способных функционировать на различных технических платформах, взаимодействовать с другим производственным оборудованием, обрабатывать данные, полученные в результате разработок новейшей технологии.

Системы CAD/CAM/CAE позволяют в масштабе целого предприятия логически связывать всю информацию об изделии, обеспечивать быструю обработку и доступ к ней пользователей работающих в разнородных системах. При этом в области CAD производится моделирование изделия с использованием новейших технологий параметризации, ассоциативных сборок, диалогового управления проектами и других специальных инструментов, обеспечивающих подготовку конструкторской документации (чертежи, спецификации и т.д.) в соответствии с необходимыми стандартами. В области CAM проводится технологическая подготовка производства, программ для ТС с ЧПУ и проверка

программ имитационной обработки деталей. Конечно-элементный анализ проектируемого изделия, визуализация напряжений и деформаций конструкции, расчеты на прочность, динамический и кинематический анализы, расчеты всевозможных передач, пружин, оптимизация листового раскроя и другие операции производятся в области программного обеспечения подсистемы САЕ.

Также интегрированные системы поддерживают технологию параллельного проектирования и функционирования различных подразделений, согласованно выполняющих в рамках единой компьютерной модели операции проектирования, сборки, тестирование изделия, подготовку производства и поддержку изделия в течение всего его жизненного цикла.

Создаваемая модель САПР основывается на интеграции данных и представляет собой полное электронное описание изделия, где присутствуют конструкторская, технологическая, производственная и другие базы данных по изделию.

База данных – это хранящаяся на машинных накопителях информация о конкретных объектах. Так, например, базой данных является записанная на магнитные диски геометрическая и технологическая информация о параметрах инструментов, имеющихся на данном предприятии. Классическим примером базы данных в металлообработке является информационный банк о наиболее часто встречающихся при обработке деталях, сведений по применяемым инструментам и технологическим приемам при обработке, а также связанные с ними экономические данные (стоимость разных видов обработки, металлоемкость, расход инструмента и т. п.). Следует иметь в виду, что почти все ведущие фирмы передовых стран, деятельность которых связана с металлообработкой, имеют развитые банки данных, которые постоянно пополняются и обновляются.

Гораздо более высоким уровнем информационной системы являются базы знаний. Не ограничивая общности, *базу знаний* можно определить как некоторую хранящуюся на магнитных носителях совокупность технологических, экономических, научных и других решений, накопленных специалистами за достаточно длительный период времени, причем формализация этих

знаний при помощи математической и логической абстракций либо затруднена, либо вообще невозможна. Однако это не исключает ввод в базу знаний решений, полученных в результате строгих математических расчетов. База знаний содержит, таким образом, базу данных на нижнем уровне в качестве составной части.

Наиболее актуальными, например, в металлообработке являются базы знаний, содержащие информацию об инструменте и режимах резания, позволяющие принимать соответствующие решения по прогнозируемым параметрам обрабатываемых деталей (геометрическим квалитетам ИСО, шероховатости, точностным данным в соответствии с требованиями, предъявляемыми к формообразованию детали по экономическим ограничениям, а также по соображениям производительности процесса резания).

Совершенно очевидно, что информация, содержащаяся в таких базах знаний, в большинстве случаев получена эмпирическим путем в результате проведения значительного количества экспериментов или же в заводских условиях накоплением соответствующего производственного опыта. Поэтому формализация такой информации для построения адекватных математических моделей чрезвычайно затруднительна.

Ясно также, что часто решения, включенные в базу данных, носят вероятностный (стохастический) характер, например в том случае, когда мнения специалистов расходятся. Тогда за критерий истины можно принять решение, поддерживаемое большинством специалистов организаций, представивших сведения в рассматриваемую базу знаний.

Как и в случае базы данных, базы знаний постоянно обновляются: из них исключаются устаревшие знания, включаются новые и меняется сама структура знаний (например, при внедрении принципиально новых видов инструментов и технологий).

Здесь следует подчеркнуть еще раз, что вышеуказанные возможности современных ЭВМ – проведение сложных и точных расчетов, создание баз данных и баз знаний, содержащих практически необходимое количество информации, – в основном связаны со стремительным развитием технических свойств ЭВМ.

Включение отдельных ЭВМ в вычислительные сети, использование при этом кабельной, телефонной, стекловолоконной, а, также спутниковой связи позволяет пользователю получать информацию из банков данных и банков знаний практически из любых географически отдаленных точек. По таким каналам можно передавать не только собственно информацию, а также и готовые алгоритмы (программы), по которым пользователь может провести необходимые ему расчеты.

Наряду с развитием технических возможностей ЭВМ в последнее время произошло быстрое развитие математического обеспечения, что привело к созданию так называемых «дружественных человеку» программных систем. Эти системы характеризуются тем, что «общение» человек–машина чрезвычайно упростилось. ЭВМ в диалоговом режиме с экрана многоцветового дисплея может подсказывать, исправлять, давать советы и оказывать помощь пользователю. Такие «дружественные человеку» системы позволяют включать в систему пользователей ЭВМ огромное количество специалистов, не имеющих специальной подготовки по программированию: инженеров, технологов, экономистов, младший технический персонал и рабочих (например, при выборе инструмента на станке с ЧПУ).

Необходимо еще учитывать, что на протяжении почти четырех десятилетий разработано программно-математическое обеспечение для решения математических задач широкого диапазона:

- решения линейных и нелинейных (трансцендентных) систем уравнений;
- вычисления элементарных и специальных функций;
- решения систем дифференциальных уравнений (обыкновенных и в частных производных);
- для решения задач теории вероятности;
- для аппроксимации (приближения) функции (для машиностроения, в особенности для производств, где имеются станки с ЧПУ, особую роль играют методы приближения при помощи сплайн-функций) линейного и динамического программирования и т. д.

Кроме того, что особенно важно, существуют системы для расчета динамических процессов при резании, расчета точности

ТС, для решения экономических и технологических задач. Чрезвычайно важными для промышленности являются автоматизированные системы составления управляющих программ (УП) для ТС с ЧПУ. Среди них, благодаря применению программируемого контролера непосредственно у машины, наиболее современными и производительными являются так называемые оперативные системы составления УП, предоставляющие рабочему возможность автоматического выбора инструмента, технологии и автоматически составляющие при принятом выборе данных УП для станка.

Каждую интегрированную систему следует разрабатывать, руководствуясь задачами объединения и оптимизации труда разработчиков и принимаемых при этом технологий в масштабах всего предприятия для поддержания данной системой стратегии автоматического проектирования.

Процесс создания САПР включает в себя несколько стадий: предпроектное исследование; техническое задание; техническое предложение; эскизный проект; технический проект; рабочий проект; изготовление, отладка и испытание; ввод в действие.

Предпроектное исследование проводится для выявления готовности конкретной проектной организации к внедрению САПР. Основу этой работы составляет системное обследование объекта проектирования и используемых в инженерной практике традиционных методов и приемов проектирования, а также объема технической документации, разрабатываемой в процессе проектирования. Процесс обследования осуществляется главным образом опросом опытных проектировщиков и конструкторов.

В результате обследования определяется необходимость и экономическая эффективность создания САПР. При этом учитывается объем проектно-конструкторских работ, их периодичность, общие затраты инженерного труда, возможность создания адекватного математического описания и оптимизационных процедур, необходимость повышения качественных показателей проектируемого изделия, сокращение сроков проектирования.

Существенным фактором при решении вопроса о целесообразности создания САПР является подготовленность соответ-

вующего проектного подразделения к созданию и внедрению САПР, которая может быть оценена по следующим критериям:

- возможность формализации проектно-конструкторских задач и реализации математических методов их решения;
- наличие требуемых технических средств и необходимость приобретения и установки дополнительных агрегатов;
- подготовленность информационных фондов и технических средств хранения и обработки информации.

Техническое задание является исходным документом для создания САПР и должно содержать наиболее полные данные по следующим основным разделам:

- наименование и область применения, где указывают полное наименование системы и краткую характеристику области ее применения;
- основание для создания, где указывают наименование директивных документов, на основании которых создается САПР;
- характеристика объектов проектирования, где приводят сведения о назначении, составе, условиях применения объектов проектирования;
- цель и назначение, где перечисляют цель создания САПР, ее назначение и критерий эффективности ее функционирования;
- характеристика процесса проектирования, где приводят общее описание процесса проектирования, требования к входным и выходным данным, а также требования по разделению проектных процедур (операции), выполняемых с помощью неавтоматизированного и автоматизированного проектирования;
- требования к САПР, где перечисляют требования к САПР в целом и к составу ее подсистем, к применению в составе САПР ранее созданных подсистем и компонентов и т. п.;
- технико-экономические показатели, где оценивают затраты на создание САПР, указывают источники получения экономии и ожидаемую эффективность от применения САПР.

На стадиях технического предложения, эскизного и рабочего проектирования выбираются и обосновываются варианты САПР, разрабатываются окончательные решения. При этом выполняются следующие основные виды работ:

- выявление алгоритма процесса проектирования, т. е. принятие основных технических решений;

- разработка структуры САПР и ее взаимосвязи с другими системами (определение состава проектных процедур и операций по подсистемам; уточнение состава подсистем и взаимосвязи между ними; разработка схемы функционирования САПР в целом);

- определение методов, математических моделей для проектных операций и процедур, состава языков проектирования, состава информации (объем, способы ее организации и виды машинных носителей информации), состава общего, специализированного и специального программного обеспечения;

- формирование состава технических средств (ЭВМ периферийные устройства) и другие элементы;

- принятие решений по математическому, информационному, программному и техническому видам обеспечения по САПР в целом и отдельно по подсистемам;

- расчет технико-экономических показателей САПР.

Оформление всей документации, необходимой для создания и функционирования САПР, выполняют на стадии рабочего проектирования.

На стадии изготовления, отладки и испытания производят монтаж, наладку и испытание комплекса технических средств автоматизации проектирования, на тестовых примерах доводят программное обеспечение и подготавливают проектную организацию к вводу в действие САПР.

4.2. Экспертные системы

Все большее распространение в практике создания сложных технических систем получают прикладные системы искусственного интеллекта в виде экспертных систем.

Под экспертной системой (ЭС) понимается система прикладных программ, которая в узкой предметной области способна заменить квалифицированного специалиста – «эксперта», причем качество выдаваемых ЭС решений должно быть, по крайней мере, не хуже решений, принятых экспертом.

Спектр предметных областей, в которых сегодня ЭС нашли практическое применение, весьма разнообразен: это медицина и научная деятельность, техническая диагностика и проектирование, военные приложения и прогнозирование.

Фактически ЭС являются синтезом традиционных прикладных программ (пакетов прикладных программ – ППП) с методами теории искусственного интеллекта. В отличие от ППП, в которых, как правило, для решения задачи используется какой-либо математический метод или теория, в ЭС решение задачи осуществляется методами, схожими с методами решения задачи человеком, т. е. используются практический опыт и знания эксперта. Поэтому наиболее эффективны ЭС для решения плохо определенных задач, в которых отсутствует точный или приближенный алгоритм решения, а также в областях, подверженных постоянным изменениям, в которых нет устоявшейся теории.

Можно выделить ряд принципиальных особенностей ЭС:

- прикладной характер, ориентацию на конкретную предметную область и, как следствие этого, использование больших объемов проблемно-зависимых знаний в противовес системам, использующим некие универсальные знания и процедуры логического вывода, приемлемые для всех предметных областей. Поэтому часто ЭС называются также системами с базами знаний;

- ориентация на пользователя-программиста. Потенциальными пользователями ЭС являются люди, нуждающиеся в консультации при решении практических задач в данной предметной области: научные работники, инженеры, администраторы; люди, недостаточно подготовленные для работы с вычислительной машиной, поэтому в ЭС используется удобный для конкретной предметной области язык общения; как правило, это ограниченное подмножество естественного языка;

- способность аргументировать принятие того или иного решения понятным для пользователя образом;

- практически неограниченные возможности по расширению и модификации базы знаний.

ЭС претерпели в своем развитии значительную эволюцию. К настоящему моменту архитектура ЭС в достаточной степени устоялась (рис. 35). В состав типичной современной ЭС входят ба-

за проблемных знаний, механизм вывода, подсистема общения и подсистема объяснения.

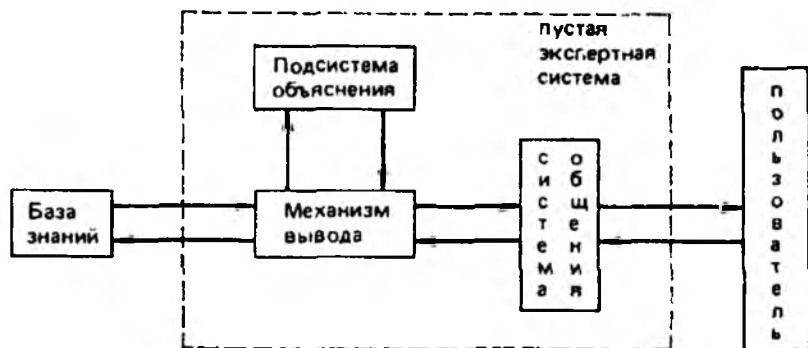


Рис. 35. Архитектура экспертной системы

Три последние компоненты образуют так называемую «пустую» экспертную систему. Реальная ЭС получается из пустой после заполнения базы проблемно-зависимых знаний. Путем простой замены базы знаний пустая ЭС настраивается на другую предметную область. Использование пустой ЭС позволяет значительно сокращать сроки разработки ЭС.

Наиболее подходящей моделью представления знаний в ЭС для задач поиска технических решений можно считать фреймовую как пригодную для описания некоторых стандартных ситуаций. Стандартность ситуации для представления знаний об объектах техники в той или иной области состоит в том, что заранее можно определить общую и частные функции объектов. Слоты фрейма заполняются средствами достижения частных функций. Для каждого из них в свою очередь тоже можно определить общую и частные функции. Таким образом, создается многоуровневый фрейм, описывающий все множество вариантов технического решения.

4.3. Средства обеспечения САПР

САПР нашли широкое применение в машиностроении, в том числе в инструментальном производстве. Это связано не только с ускорением графических работ со снижением трудоемкости выполнения расчетов и оформления сопроводительной документации. Использование САПР позволяет создать базу для комплексной автоматизации инструментального производства с использованием станков с ЧПУ и роботов.

В инструментальном производстве САПР применяют при проведении конструкторских и технологических работ, при подготовке производства к выпуску инструмента. С помощью САПР ведется проектирование трехмерного изображения инструмента, вспомогательной оснастки (штампов, пресс-форм, литейной оснастки и т.д.), составление технологической документации, осуществляется электронное управление технической документацией. САПР используется при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ, при изготовлении опытных образцов инструментов сложной геометрической формы.

САПР не только изменили методы подготовки чертежей инструмента, но и внесли коренные изменения в процесс проектирования. Программное обеспечение призвано помочь инструментальным заводам сократить время выпуска нового инструмента на рынок, увеличить их конкурентоспособность за счет более скоординированной и управляемой работы по инструменту в рамках всего предприятия.

В настоящее время при сотрудничестве с зарубежными компаниями необходимо представление всей документации в электронном виде. Продаваемый продукт и его производство подлежат международной сертификации, подтверждающей их высокие характеристики. Сертифицирование проходят не только само изделие, но и методы его проектирования, изготовления, способы и формы передачи информации об изделии. Для прохождения сертифицирования необходимо оснастить рабочие места конструктора и технолога компьютерными и программными продуктами.

О внимании, которое уделяется САПР в промышленно-развитых странах, говорит, в частности, тот факт, что по реко-

мендациям ЮНЕСКО в базисном учебном плане по информатике и информационным технологиям (ИТ) предусмотрен факультативный блок «Конструирование с помощью компьютера (CAD)».

Различают следующие средства обеспечения САПР:

- техническое обеспечение;
- программное обеспечение;
- информационное обеспечение;
- лингвистическое обеспечение.
- организационное обеспечение.
- правовое обеспечение.

Под техническим обеспечением САПР подразумевают аппаратные средства вычислительной и организационной техники, средства для накопления, переработки, хранения, передачи и вывода информации, линии связи, эксплуатационные материалы, различные электронные, электрические и механические устройства, обеспечивающие работу всех подсистем САПР. В техническое обеспечение САПР также включают техническую документацию, методические материалы по разработке технического обеспечения и нормативно-справочные материалы, используемые при выполнении расчетов по техническому обеспечению.

Основными элементами технического обеспечения САПР являются компьютеры, видеотерминальные устройства, устройства ввода-вывода, принтеры, сканеры, графопостроители. В настоящее время на предприятии создаются локальные сети, в состав которых входят мощные серверы и периферийные терминалы в виде персональных и сетевых компьютеров. К локальной сети могут быть подключены станки с ЧПУ, а сами локальные сети подключают к глобальной сети.

Компьютеры. В зависимости от вычислительной мощности и назначения компьютеры можно разделить на несколько групп: суперкомпьютеры; мэйнфреймы; серверы; рабочие станции и персональные компьютеры.

Суперкомпьютерами называются самые мощные компьютеры, используемые в основном в университетских и научно-исследовательских центрах, оборонном комплексе. Их произво-

длительность измеряется десятками – сотнями миллиардов операций в секунду.

На предприятии в зависимости от числа пользователей могут использоваться мощные компьютеры типа мэйнфреймов, серверы, рабочие станции и персональные компьютеры. Мэйнфреймы рассчитаны на обслуживание от нескольких десятков до тысячи пользователей. Они имеют полностью централизованную архитектуру. Исследования, проведенные Международной Технической Группой (ITG) для оценки сравнительной стоимости вычислений на мэйнфреймах и сетях на базе персональных компьютеров, показало, что средние затраты на одного пользователя в год снижаются почти в три раза.

Для хранения баз данных, резервного хранения информации, организации факсимильной связи используются *серверы*. Сервером называют компьютер, выделенный для обработки запросов от других компьютеров и предоставляющий им доступ к общим системным ресурсам. Серверы могут иметь от одного до 128 процессоров для ускорения обработки данных, 32 или 64 – разрядную адресацию памяти и несколько съемных жестких дисков, позволяющих хранить информацию, объемом от нескольких десятков Гбайт до нескольких десятков Тбайт.

Масштабируемость системы достигается за счет увеличения количества процессоров, емкости оперативной и внешней памяти. Высокое быстродействие компьютера и программы напрямую влияет на рост производительности труда конструктора, технолога и качество принимаемых им решений. Если за один и тот же промежуток времени пользователь имеет возможность рассчитать и проанализировать несколько вариантов, то высокая производительность становится немаловажным фактором.

При работе на сетевых компьютерах могут использоваться сравнительно дешевые компьютеры, стоимостью около 500 долларов США, имеющие минимальное программное обеспечение (*thin clients* – тонкий клиент). Сетевые компьютеры не имеют собственных устройств постоянной памяти. Все данные хранятся на сервере.

Плоттеры (графопостроители) предназначены для вывода графической информации из компьютера на носитель: бумагу,

кальку или полиэфирную пленку. Плоттеры могут быть векторными (вычерчивают изображение с помощью пера) и растровыми: термографическими, электростатическими, струйными и лазерными.

В рулонном (барабанном) плоттере регистрация изображения осуществляется при перемещении пишущего узла по одной оси координат над поверхностью носителя изображения, перемещающегося по второй оси координат. Длина носителя может достигать 15 метров.

Важнейшие характеристики плоттеров: формат печати – А0, А1, А2, А3 и т.д., разрешение 300, 600, 1440 точек на дюйм, скорость печати. Стоимость печатающего устройства растет почти прямо пропорционально разрешающей способности.

Программное обеспечение САПР. В состав программного обеспечения САПР входят общесистемные и специальные программы, а так же техническая документация на программные средства, реализующие функции и задачи САПР. Общесистемное программное обеспечение (System Software) представляет собой совокупность программ, служащих для обеспечения работы компьютера и сетей ЭВМ. Прикладные программы решают конкретные задачи пользователя.

Основой системного программного обеспечения являются операционные системы. Операционная система – это программа, управляющая процессом выполнения прикладных программ, распределением и использованием ресурсов, а также обеспечивающая диалог пользователя с компьютером. Ресурсом является любой компонент компьютера: центральный процессор, оперативная память, периферийные устройства компьютера или вычислительной сети, например, диски, принтер, факс, а также данные и приложения. Операционная система обеспечивает удобство общения пользователя с компьютером, оказывает влияние на производительность и функциональные возможности компьютера.

Отличительные особенности современных операционных систем – высокая надежность, возможность автоматического восстановления после сбоев, одновременное выполнение нескольких программ (многозадачность). Операционные системы

должны обеспечивать полную поддержку работе пользователя в сети масштаба предприятия и в Интернете. Наибольшее распространение получили операционные системы Unix, Linux и Windows.

Прикладное программное обеспечение содержит набор программ, предназначенных для решения задач в определенной области. Например, для создания чертежей на персональном компьютере можно использовать приложение Autocad. Для сложных конструкторско-технологических разработок рекомендуются программы Кредо, T-FLEX CAD, EDS Unigraphics, Catia, Pro Engineer.

В последние десятилетия созданы принципиально новые подходы, которые коренным образом меняют использовавшиеся ранее аппаратные и программные средства: например, работа со стереоочками, позволяющая получить объемные изображения на стандартных дисплеях рабочих станций, технология стереолитографии (SLA – 3D Systems), используемая для снижения временных и материальных затрат на изготовление моделей и оснастки.

Рост возможностей аппаратных средств, высокая конкуренция на рынке программного обеспечения для САПР способствуют постоянному росту количества программ, используемых в промышленно развитых странах. Разработчики часто предлагают различные варианты своих программ, рассчитанные на разные уровни использования. Например, одна версия может быть рассчитана на решение базовых задач средних и малых предприятий, другая (более дорогая) обеспечивает расширенный набор средств проектирования для решения более сложных задач на уровне предприятия и кооперации между предприятиями. Такое деление производится не по функциональному признаку (одни и те же модули присутствуют во всех платформах), а по уровню использования САПР. Предполагается, что предприятие, не меняя ядра системы, может начать освоение CAD/CAM на элементарном уровне, продолжить на среднем и выйти на более высокий уровень.

Информационное обеспечение САПР. Процесс проектирования изделий в машиностроении представляет собой трудоемкую, сложную процедуру, которая требует не только профессиональ-

ного опыта, творческого подхода, но и большого объема справочных материалов. Информационное обеспечение САПР представляет собой совокупность всех массивов данных, необходимых для конструктора, технолога и специалистов, так, чтобы они могли работать без дополнительных обращений к другим источникам информации, например, к печатным изданиям

Термин «информация» произошел от латинского слова «informatio», которое переводится как «разъяснение определенного явления, события или факта». Традиционное нормативно-справочное окружение, используемое при решении прикладных задач, включает ГОСТы, стандарты предприятий (СТП), справочники, классификаторы, коды и различные программы, используемые при проектировании и расчетах, входные и выходные документы. Информационное обеспечение осуществляет накопление и хранение информации, решает задачи ее использования при выполнении различных работ. От организации и структуры информационного обеспечения зависят оперативность и достоверность результатов, выдаваемых системой. Современное информационное обеспечение САПР базируется на широком использовании пакетов прикладных программ, локальных баз данных и информационных ресурсов Интернета.

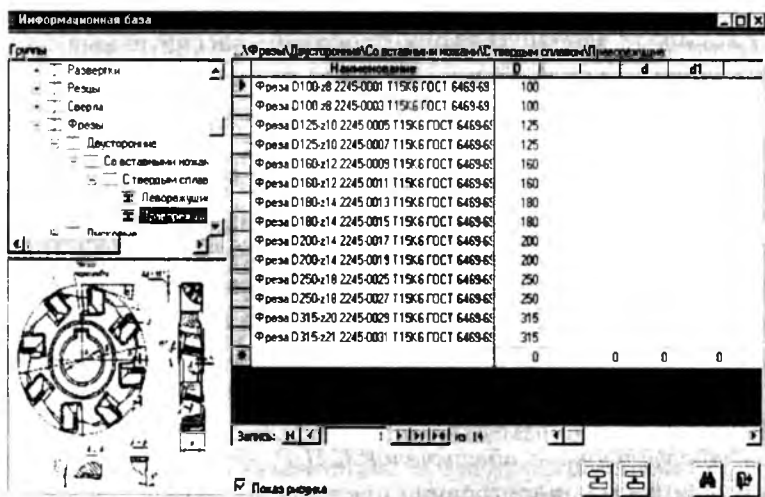


Рис. 36. Информационная база по режущему инструменту N-FLEX

На рис. 36, в качестве примера, показана информационная база по режущему инструменту T-FLEX. В ней содержатся каталоги всех составляющих технологических процессов по изготовлению инструмента: наименования операций, паспортные данные оборудования, приспособлений, сведения о вспомогательных материалах, о режущих, измерительных, вспомогательных инструментах, комплектующих для сборочных технологических процессов. В процессе работы в БД добавляется новая информация, изменяется или удаляется существующая. К каждому типу технологического оснащения в информационной базе можно добавлять параметры, признаки классификации и иллюстрации.

Информационное обеспечение технологического назначения для САПР цехового уровня содержит следующие материалы:

- каталоги типовых технологических процессов;
- каталоги физико-механических параметров обрабатываемых материалов;
- перечень технологических операций согласно классификатору;
- паспортные данные оборудования и его размещение по участкам;
- характеристики технологической оснастки: приспособлений, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента;
- каталоги типовых переходов;
- справочные данные для записи операционной технологии;
- нормативно-справочную информацию в виде справочников, включающих таблицы и формулы для автоматизированного расчета режимов обработки и определения норм времени на переходы и операции;
- библиотеку типов технологических процессов для инструментов различных типов.

Информационная база может поставляться с уже заполненными для работы данными.

Лингвистическое обеспечение САПР. Лингвистическое обеспечение САПР включает совокупность языковых средств, используемых в САПР для общения с пользователем. Языки САПР профессионально ориентированы. Формализация естественного языка позволяет более полно представить информацию

о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования. Лингвистическое обеспечение включает различные языки для описания структурных единиц информационной базы и манипулирования данными, систему терминов и определений, используемых в процессе разработки и эксплуатации системы.

Организационное обеспечение САПР. Организационное обеспечение САПР – это комплекс документов, определяющих цели и задачи персонала в процессе разработки и эксплуатации САПР. Оно реализуется в виде руководящих и технических материалов, определяющих состав и структуру взаимосвязанных подразделений. Организационное обеспечение ориентировано на подготовку технического задания на проектирование объекта и технико-экономического обоснования эффективности принятых решений.

Правовое обеспечение САПР. Правовое обеспечение САПР – совокупность нормативных документов, приказов и инструкций, определяющих юридический статус создания и функционирования системы. Правовое обеспечение включает нормативные акты, связанные с приобретением и эксплуатацией системы, права и обязанности персонала, порядок создания, хранения, использования и защиты документов. Каждый пользователь, участвующий в составлении документа, несет юридическую ответственность за вносимую им информацию.

Типовые нарушения правовых норм в области САПР могут быть следующие:

- использование нелицензионного программного обеспечения;
- использование программного обеспечения на большем количестве компьютеров, чем это оговорено лицензионным соглашением;
- разглашение конфиденциальной информации, хранящейся в документах;
- незаконное создание и распространение компьютерных вирусов, наносящих вред программному обеспечению САПР;
- нарушение правил эксплуатации системы, приведшее к нарушениям в работе системы.

4.4. Использование баз данных и баз знаний

Для выпуска конкурентоспособной продукции, отвечающей мировым стандартам необходимо обеспечить использование единой интегрированной базы данных на всех этапах. Для доступа к источникам информации все шире используют глобальную сеть www (World Wide Web).

Для защиты информации в процессе передачи и доставки ее абоненту используется шифрование и дешифрование данных. Интегрированная база данных содержит оперативную и нормативно-справочную информацию. Конструкторско-технологические базы данных обеспечивают многоуровневую иерархию выбора. Например, информация о стандартных элементах хранится в библиотеке крепежных элементов. При выпуске сборочного чертежа эта информация передается в спецификацию.

Под базой знаний понимается совокупность фактов (фактических знаний), правил (условий для принятия решений) и знаний, касающихся способов использования знаний и их свойств (знаний о знаниях). Программа, позволяющая эксперту в какой-либо области определить правила для логического ввода тех или иных величин (после чего рядовые пользователи будут вводить в систему исходные данные и получать результаты вывода), называется экспертной системой. Интеграция информации приводит к созданию единого банка данных для пользователей системы.

Использование единой СУБД на предприятии. Базы данных, используемые в САПР, призваны хранить разнородную информацию. Системы управления базами данных (СУБД) позволяют создавать, накапливать информацию, редактировать, проводить ее автоматизированный поиск и замену, составлять отчеты требуемой формы. Наиболее известными СУБД являются Oracle, MS Access, SQL и FoxPro. При сетевой работе на предприятии база данных устанавливается на сервере предприятия, а доступ к ней выполняется с рабочих мест.

Единая СУБД для предприятия должна предусматривать:

- настройку на любые формы проектных документов;
- работу с графическими документами;
- работа с нормативно-справочной информацией;

– представление знаний в табличной и алгоритмической формах.

Использование СУБД позволяет упростить управление информацией, обеспечить ее резервное копирование и восстановление, защиту данных от несанкционированного доступа. САПР используют собственные БД или предлагают интерфейс с существующими.

В зависимости от объема информации, которая должна храниться в БД в качестве СУБД обычно используются Microsoft Access, MS SQL Server или Oracle. Возможно совместное использование нескольких СУБД одновременно.

Жесткая общепринятая модель данных подразумевает создание и поддержание централизованной базы данных об изделии. Гибкая модель работает с разнородными базами данных, которые ведутся независимо в разных подразделениях, что позволяет использовать в них различные версии, технологии и реализации. Гибкая модель не предполагает создание единой базы данных, что особенно важно для реализации сети субподрядчиков и поставщиков, основной задачей которой является поддержание общей модели данных.

Централизованные системы управления базами данных позволяют оперативно отслеживать заказы, просчитывать и закупать требуемые объемы материалов, решать вопросы производственного планирования и оперативного управления производством.

4.5. Использование Интернета для работы САПР

Интернет представляет собой глобальную компьютерную сеть. Он объединяет несколько десятков миллионов компьютеров и локальных сетей. На русский язык это слово переводится «между сетей». Бурное развитие Интернет технологий привело к широкому использованию электронной почты, средств групповой работы, телеконференции, интерактивной связи. Сегодня WWW-серверы имеют сотни государственных, коммерческих и общественных организаций, предоставляющих самую разную информацию. Ведутся разработки, позволяющие использовать

телевизор для доступа к Интернету. Разрабатывается программное обеспечение, позволяющее переводить текст в голосовое сообщение (технология text-to-speech).

При наличии хорошо налаженной связи с Интернетом вы можете хранить документы, с которыми работают и другие пользователи, не на жестком диске вашего компьютера, а на сервере в Интернете. Это упрощает доступ к документам другим пользователям и экономит вам дисковое пространство на жестком диске.

Внутренняя корпоративная сеть, использующая технологию Интернета и обеспечивающая защиту доступа к ее ресурсам извне, носит название Интранет (Intranet). Одним из приоритетных направлений работы фирм, поставляющих программное обеспечение, является интегрирование локальной сети предприятия Intranet, в которой происходит основная работа компании, в глобальную сеть. Интеграция корпоративной сети Intranet и глобальной сети основывается на использовании однотипных методов хранения и представления информации.

Интернет и Intranet позволяют работать над проектами организациям, которые расположены в разных городах и странах. Например, заводы и конструкторские бюро могут находиться на тысячи километров. Организация виртуальных корпоративных сетей, базирующихся на Интернет, позволяет связать воедино все филиалы поставщиков и заказчиков, не создавая собственной сетевой инфраструктуры.

В настоящее время в мировой практике усиливаются тенденции специализации различных компаний только на проектировании, изготовлении или на сборке изделий. Создаются специализированные проектные организации, механообрабатывающие предприятия, отдельные сборочные заводы.

Новой эффективной формой кооперирования становятся виртуальные предприятия. Под виртуальным предприятием считается кооперирование юридически независимых предприятий, институтов или частных лиц для обеспечения услуг на основе общего понимания бизнеса. Для внешних субъектов субъекты кооперирования выступают в качестве единой корпорации.

Отдельные филиалы компании могут находиться в других городах и даже на другом континенте и крайне важно обеспечить мгновенную передачу данных по глобальной сети. Использование Интернета меняет технологию проектирования и работы в больших коллективах, обеспечивают совместную параллельную работу специалистов различных организаций, географически удаленных друг от друга. Организация виртуальных корпоративных сетей, базирующихся на Интернет, позволяет связать воедино все филиалы поставщиков и заказчиков, не создавая собственной сетевой инфраструктуры.

Разработаны специальные форматы файлов, обеспечивающих обмен графической информацией через Интернет. Результатом этого является сокращение единого цикла «проектирование – изготовление». В последние годы все больше компаний используют собственные Web-узлы в Интернете для презентации своей продукции.

4.6. САПР конструктора

Важнейшей задачей, стоящей перед САПР конструктора, является автоматизация графических работ с тем, чтобы завершить проектирование чертежей в кратчайшие сроки и с минимальными затратами. Первые САПР заменяли конструктору чертежную доску и карандаш. Они использовались для автоматизации чертежных работ, повышения их качества и скорости проектирования, позволяли избавить конструктора от утомительных рутинных операций типа стирания отдельных линий или фрагментов чертежа.

Создавая системы автоматизированного проектирования, разработчики стремятся создать не очередную версию чертежного автомата, а предлагают полностью переосмыслить сам процесс проектирования в машиностроении, выполнять проект на принципиально новом техническом уровне.

Современные САПР позволяют:

- больше времени уделять непосредственно конструированию, а не рутинным повторяющимся операциям;

- автоматизировать оформление значительной части конструкторско-технологической документации;
- использовать элементы трехмерной графики и трехмерного моделирования;
- использовать Интернет для коллективной работы над проектом. Например, отдельные узлы автомобиля: двигатели, коробки передач, кузова могут проектироваться и изготавливаться в разных городах.

Уже на стадии конструирования изделия конструктору необходимо провести анализ конструкции, проверить взаимодействие деталей между собой, оптимизировать конфигурацию каждой детали, связать в единый процесс компоновку, детализовку и различные типы анализа конструкции.

Графический многооконный интерфейс. Современные САПР предлагают графический многооконный интерфейс, выполненный по стандартам Windows. Для выбора команд используются строка меню, кнопки панелей инструментов, контекстное меню. Пользователь может самостоятельно формировать дополнительные панели инструментов. Работу конструктора облегчают подсказки, настройка разрешения экрана и цветов.

Графический интерфейс современных САПР обеспечивает наглядность и эргономичность выполнения основных операций. Он реализует принцип WYSIWYG (What You See is What You Get – что вы видите, то и получите). В соответствии с этим принципом изображение на экране соответствует тому образу, который мы получаем при печати. При редактировании чертежей используются команды повторения и отмены последних выполненных операций. Можно просмотреть, как будет выглядеть готовый чертеж после печати. На листе можно компоновать несколько чертежей. Разработанные чертежи и их фрагменты можно распечатать на плоттерах или обычных принтерах.

Двухмерное проектирование. Для решения простейших задач черчения и конструирования в САПР используется двухмерное проектирование. Автоматизация ускоряет процесс проектирования и редактирования чертежа, позволяет больше времени уделять творческим задачам, а не рутинным повторяющимся операциям.

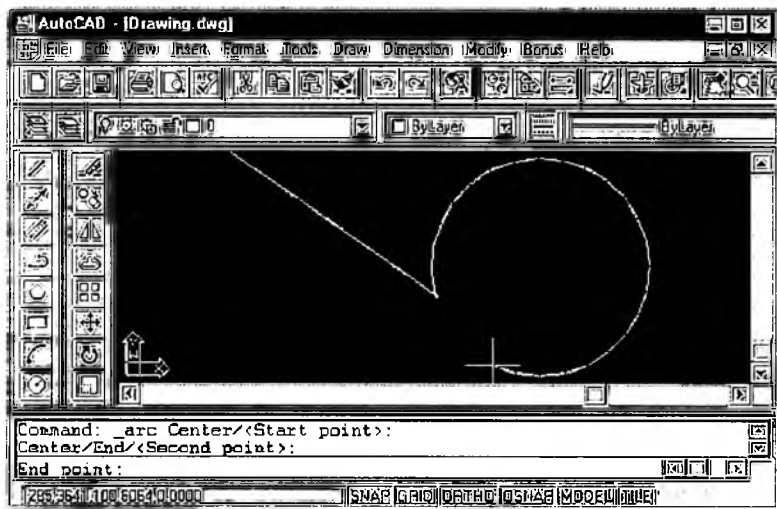


Рис. 37. Пример графического использования САПР

Задачи, решаемые автоматизацией графических работ, зависят от области применения. САПР, специализирующиеся на машиностроительном черчении (рис. 37), как правило, позволяют автоматизировать построения:

- различных фигур: прямоугольников, многогранников, окружностей и т.п.;
- кривых Безье и сплайнов;
- линейных размеров для отрезков (от базовой точки и цепочкой), вертикальных, горизонтальных, угловых, радиальных и диаметральных размеров;
- различных типов штриховки машиностроительных, строительных и других деталей;
- сплошных заливок, заливок по образцам, которые могут быть сформированы пользователем;
- масштабированного изображения в пределах экрана, фрагмента чертежа в произвольном масштабе;
- рамок чертежа, штампов и спецификаций.

При построении сложных чертежей выполняются операции копирования, симметрии, сдвига, поворота, масштабирования и деформации.

Конструктор может использовать в чертеже линии различных типов, толщины и цветов, создавать свои пользовательские типы линий. Специальные команды облегчают точные геометрические построения различных фигур. Например, после выбора команды «Дуга» конструктору достаточно задать три точки, и они будут автоматически соединены дугой окружности. Построение чертежа облегчает возможность перемещения объектов, отображение на экране сетки с заданным шагом, которая не будет видна в окончательном чертеже. При работе со сложными чертежами могут использоваться локальные системы координат и разномасштабная сетка.

Для повышения производительности работы конструктора на экране могут высвечиваться точки «привязки». После ввода команды, требующей задания какой-либо точки достаточно переместить курсор по экрану, чтобы средства «привязки» автоматически распознали характерные точки, объектов и показали их, подсвечивая с помощью маленьких информационных символов-подсказок. В качестве стандартных объектных привязок распознаются конечная точка, середина, центр, нормаль, пересечение, касательная. Достаточно указать примерное расположение точки пересечения двух линий и через нее будет проведена новая линия или кривая.

Ввод текстовой информации, как однострочной, так и многострочной, выполняется с использованием встроенного текстового редактора. Для любой части строки могут задаваться произвольные параметры: управлять цветом, размером и наклоном символов. Имеются средства создания и редактирования таблиц, написания формул и дробей.

Большинство фигур можно построить несколькими способами. Например, построение окружности можно выполнить следующими способами:

- по трем точкам;
- по центру и радиусу;
- по центру и диаметру;
- по двум точкам и радиусу;
- касательно к двум заданным окружностям;
- касательно к отрезку и окружности.

Значения шероховатостей можно выбрать из таблиц стандартных значений, а также задать любое нестандартное значение или определить с помощью переменных. Допуски формы и расположение поверхностей могут автоматически рассчитываться в зависимости от размера и точности, задаваться с помощью переменных или константами. Оформление чертежа облегчают библиотеки, содержащие линии выносок, обозначений базы и допусков формы, типы шероховатостей, линии разреза и сечений.

Буфер обмена, используя технологию OLE, позволяет передавать построенные графические изображения в документы других приложений, например, Word и Excel, которые входят в пакет Microsoft Office. Значительную популярность получили пакеты иллюстративной графики, предоставляющие развитые функции управления цветом, стилем, текстом и обработки изображений. При вставке изображения из внешнего объекта возможно задание положения базовой точки, масштаба, угла поворота, размещение на определенном слое. Экспорт чертежей в ряд форматов (VRML, DXF, IGES) позволяет размещать их на Web-сервере.

Управление слоями чертежа. При работе со сложными изображениями на чертеже создают несколько слоев для наиболее характерных элементов. Слой – это совокупность объектов, объединенных по какому-либо признаку, например, при проектировании станка один слой может отображать систему циркуляции смазки, второй – подачу смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания, третий – систему очистки СОЖ и т.д.

Слой представляет собой обособленную часть чертежа, облегчающую систематизацию его элементов. Каждому слою назначают определенный цвет, тип и толщину линии для изображения объектов, лежащих в этом слое. Отдельные слои можно сделать невидимыми для ускоренной прорисовки чертежа или неактивными, если требуется показать их без возможности изменений. Число слоев может измеряться сотнями.

Фактически активным слоем является текущий установленный слой, и надписи, штриховки, размеры и вспомогательные построения при их создании автоматически помещаются на специально предназначенные для них слои. Отдельным элементам

слой можно назначить собственные атрибуты. При выводе на плоттер можно связать его параметры со структурой слоев модели. Это позволяет унифицировать настройки оборудования и упростить его обслуживание.

Моделирование поверхностей. Поверхность определяется геометрическими (шар, цилиндр) и топологическими (выше или ниже расположена точка) параметрами. Для визуализации поверхности ее можно разбить на примитивы, имеющие вид многогранника. Например, поверхности Кунса (рис. 38) представляют собой мелкие участки большой поверхности, каждый из которых описывается четырьмя угловыми точками и соответствующими векторами касательных.

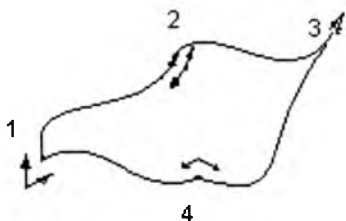


Рис. 38. Пример поверхности Кунса

Отображение геометрических объектов обеспечивает модуль тоновой визуализации. При выполнении операций над поверхностями можно работать с монохромными или цветными изображениями. Для точного аналитического задания поверхностей, ограничивающих твердое тела, широко используется метод Brep (Boundary Representation) – метод, предусматривающий аналитическое задание граней, ограничивающих твердое тело.

Каркасное (проволочное) моделирование. Объект на чертеже отображается линиями пересечения поверхностей. На криволинейных поверхностях эти линии напоминают каркас. Отсюда название каркасное (проволочное) моделирование (wire-frame model). Каркасная модель представляет собой конечное множество точек или линий, принадлежащих поверхностям моделируемого объекта. Каркасные модели (рис. 38) широко использу-

ются при создании чертежей трубопроводов, стержневых конструкций и пространственных электросхем. Точки, по которым строятся кривые в САПР, можно передвигать, удалять и добавлять. Для создания новой кривой по принципу подобия к существующей копируют существующую модель и меняют масштаб в одном или нескольких направлениях.



Рис. 38. Каркасное изображение фигуры

Линейчатые поверхности. Спектр различных типов поверхностей, используемых в САПР чрезвычайно богат и разнообразен. На основе двух опорных кривых можно построить линейчатую поверхность, образуемую путем соединения прямолинейными отрезками принадлежащих данным кривым пар соответствующих точек. Пользователю предоставляется два варианта задания этого соответствия, выбор которых создает различные формы поверхности. В первом, наиболее простом варианте, система выбирает соответствующие точки так, что они делят кривые в одинаковых отношениях по длине, — то есть, происходит параметризация длинной дуги (рис. 39). Это в большинстве случаев дает хорошие результаты и требует минимума усилий со стороны конструктора.

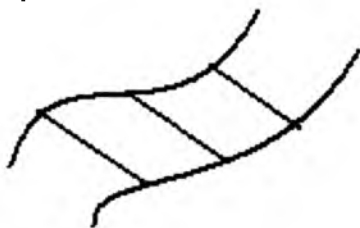


Рис. 39. Параметрическое изображение длинной дуги

Во втором варианте, когда рассматриваются сложные кривые, соответствие задается имеющейся параметризацией кривых, то есть их исходным разбиением на сегменты. При этом, управляя сегментацией кривых (например, введением дополнительных точек соответствия и т.п.), конструктор имеет полный контроль над созданием поверхности. (В качестве примера, где можно использовать данный метод, приведем капот автомобиля «Волга» и выпуклую поверхность над карбюратором).

Дискриминантные кривые второго порядка, сплайны. Для построения сложных поверхностей самолетов, кораблей, кузовов автомобилей и шаблонов для их изготовления используются дискриминантные кривые второго порядка, сплайны, кривые Безье, NURBS-поверхности, средства для редактирования и выглаживания кривых. Напомним, что дискриминантом квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$ является выражение $b^2 - 4ac = D$, по знаку которого судят о наличии в уравнении действительных корней $D > 0$.

Сплайн (spline) – гладкая лекальная кривая или поверхность, проходящая через заданные точки. Гладкую кривую между заданными точками образуют кривые NURBS. Сплайны используются для рисования нерегулярных кривых, например, контура автомобиля. Некоторые программы позволяют создавать поверхности «затягивающие окна» между тремя и более смежными поверхностями.

В качестве примера рассмотрим проектирование крыла самолета. Координаты профилей крыла хранятся в специальной таблице, по которым строят образующую в виде ломаной линии. Затем, используя сплайн-технологию, получают гладкий профиль с заданной точностью. На крыле размещают двигатель и по месту определяют габариты выреза. В процессе визуального контроля можно изменять угол зрения и масштаб изображения. Загромождающие изображение элементы конструкции (в данном случае лонжероны) могут быть скрыты, но при этом они сохраняются в базе данных проекта. Исходя из предполагаемой толщины обшивки, можно легко построить сечение крыла в любом месте.

Особым типом сплайновых поверхностей являются NURBS-поверхности, которые позволяют весьма точно создавать и анимировать плавные изгибы. Помимо традиционных методов создания линейчатых поверхностей и поверхностей вращения для задания поверхностей можно указать форму продольного и поперечного сечения или положение контрольных точек на этих сечениях. Сплайновая поверхность может быть создана с помощью лофтинга (lofted surfaces) на основе одного семейства каркасных кривых по набору сечений, на которые «ложится» строящаяся поверхность. (Они также известны как *skinned surfaces*.) Эти методы построения поверхностей были созданы для нужд кораблестроения. Для описания формы корпуса корабля использовали набор шаблонов.

Для лучшего описания поведения поверхности между заданными каркасными кривыми иногда также используется дополнительная направляющая кривая. Поверхности, построенные по трем или четырем граничным кривым, могут автоматически сглаживаться во избежание нежелательных нерегулярностей. Операции сглаживания и лофтинга расширяют возможности моделирования трехмерных объектов.

Поверхности, построенные на основе двух семейств каркасных кривых, обеспечивают пользователю более полный контроль над формой создаваемой им поверхности, но при этом затрачиваются большие усилия на подготовку исходных данных. Они незаменимы при построении скульптурных поверхностей, создаваемых дизайнером, при описании сложных переходов между существенно различающимися опорными кривыми, при формировании обтекаемых поверхностей, характерных для современных технических изделий.

Сглаживание поверхностей. При работе с ребрами, гранями и замкнутыми контурами используются разнообразные сопряжения (сглаживания) между смежными поверхностями, а также различные установки для углов, образованных ребрами.

Между двумя поверхностями могут строиться радиусные сопряжения (рис. 40) по касательным линиям типа «катящийся шар». Радиус шара может быть постоянным или меняться.



Рис. 40. Радиусные сопряжения

При сглаживании с переменным радиусом изменение радиуса – от начального к конечному – может задаваться как линейной, так и нелинейной функцией. Такое же сопряжение можно выполнять для поверхности и заданной в пространстве кривой – подобная операция именуется «подсечкой». «Подсечка» полезна как для выполнения проектировочных построений (например, кромок смыкания литейных форм), так и для задания зон обработки фрезой большого радиуса.

Если заданы две поверхности и кривые на них, то можно построить соединяющую их поверхность, гладко сопрягающуюся с исходными поверхностями по этим кривым, образующим ее границы. Информацию о координатах точек и типе поверхности: цилиндрическая, коническая и т.п. хранят в базе данных. Каждой модели можно присвоить имя в виде текстовой строки. При каркасном моделировании создаются поверхности (оболочка) «нулевой толщины».

Эквидистантные поверхности. Эквидистантной называют поверхность, все точки которой расположены на равном расстоянии от соответствующих точек другой поверхности. Эквидистантную поверхность часто необходимо построить при проектировании пуансона и матрицы, при разработке штампа или пресс-формы к какой-нибудь поверхности. Ее форма зависит от геометрии поверхности изготавливаемого изделия.

Кинематическая поверхность. Кинематическая поверхность – это поверхность, образованная перемещением образующего контура по направляющей. Контур может иметь вид как геометрического примитива (линии, дуги, окружности), так и сложной кривой или сплайна.

Для создания кинематической поверхности наряду с перемещением образующей вдоль заданной направляющей линии могут использоваться другие законы движения образующей или замкнутого контура в пространстве:

- вращение образующей кривой вокруг заданной оси;
- вращение образующей или замкнутого контура вокруг собственной оси с одновременным перемещением (сдвигом) вдоль этой оси (винтовая поверхность);
- аффинные преобразования образующей в пространстве: переносы, вращение, сдвиг, растяжение, сжатие, масштабирование. Аффинные преобразования могут задаваться матрицами параметров;
- сама образующая при необходимости может масштабироваться (такие поверхности в английской литературе называют *swung surfaces*);
- могут быть также заданы граничные условия, для соблюдения которых образующая может надлежащим образом модифицироваться.

Обобщением кинематических поверхностей являются поверхности, известные как *swept surfaces*. В ходе движения вдоль направляющей образующая вращается и масштабируется.

Для оценки поверхности конструктор может провести плоские и радиальные сечения. Оценка кривизны поверхности (Гауссова, средняя и абсолютная кривизна) помогает определить поверхностные отклонения.

Оболочки. Композиция поверхностей, объединенных геометрически и информационно, называется оболочкой. Для всех включенных в оболочку поверхностей предусматривается разделение понятия внешней и внутренней стороны. В оболочку могут быть включены поверхности с разрывами или несоприкасающимися границами, поверхности, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга. Оболочка, описывающая геометрию детали сложной конфигурации, может быть создана при фрезеровании детали на станке ЧПУ в несколько проходов. Затем формируется траектория обработки для каждого фрезеруемого слоя и переход между слоями.

Для получения оболочки из листового материала выполняют его раскрой, чтобы определить размеры заготовки, например,

такая операция раскроя может потребоваться для определения размеров заготовки для крыла автомобиля или капота после того как художники закончат оформление нового автомобиля. При раскрое листовых материалов выполняют развертку поверхностей коробчатых деталей и свертку-развертку кривых, расположенных на поверхности, и самих поверхностей с линиями разреза. Неразвертываемые поверхности разворачиваются с фиксируемой частотой деформации.

В некоторых САПР, например, в Гемма-3D, предусмотрена возможность «обертывания» сложных кривых относительно пространственных изделий. Возможна развертка поверхностей и их композиций на плоскость, построение геодезических линий на поверхностях, соединяющих заданные точки, а также линий перегиба поверхностей, определяющих границы обрабатываемых зон деталей при данной установке на фрезерном станке, или разделение формообразующих элементов технологической оснастки. Предусмотрена возможность автоматического построения литейных уклонов к элементам формы и поверхностей скругления между кривыми, задающими кромки смыкания форм с базовыми поверхностями матриц и пуансонов.

Недостатки каркасного моделирования:

- трудно определить внутреннюю часть модели и получить однозначную проекцию;

- невозможно выполнить некоторые расчеты, и затруднено автоматическое удаление невидимых линий и поверхностей. Специальные команды позволяют удалить скрытые линии заднего плана. Однако при составлении математического описания поверхности деталей сложной конфигурации ЭВМ может неправильно определить, какая поверхность является внутренней, а какая наружной, что приведет к созданию неверной технологии (блок цилиндров трудно начертить в виде каркасной модели);

- по литературным данным принципиально невозможно обеспечить 100%-ную корректность сложных сборок при использовании традиционных систем 2D- и 3D-проектирования, из-за чего в проекты приходится вносить коррективы на этапе изготовления опытных образцов.

4.7. Твердотельное моделирование

Несмотря на широкое распространение 2D-моделирования, оно имеет серьезные ограничения, присущие плоскому моделированию. При редактировании чертежа необходимо вносить изменения во все проекции. Конструктор встречается со значительными сложностями при построении аксонометрических проекций, особенно в тех случаях, когда деталь имеет сложную геометрическую форму. Возникают определенные трудности в определении взаимного положения и взаимодействия деталей в сборочных единицах, в подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ.

В процессе развития новых технологий в современных конструкторских системах происходит переход от двухмерного проектирования к объемному твердотельному моделированию. Твердотельная (монокристаллическая или объемная) модель (solid model) представляет собой геометрическую форму или структуру без разрывов по длине, высоте и ширине. Она образуется из простых объектов типа цилиндр, конус, сфера, куб и содержит сведения не только о размерах детали, но и об объеме.

Твердотельное моделирование предусматривает последовательное выполнение булевых операций, таких как вычитания, сложения и пересечения над объемными примитивами (параллелепипедами, цилиндрами, конусами, призмами, пирамидами, сферами и т.д.). Объемные примитивы образуются путем выполнения перемещения плоской фигуры в пространстве. След от перемещения определяет форму примитива, например, смещение многоугольника образует призму, а поворот окружности вокруг оси – сферу.

Монокристаллическое полушарие можно выбрать изнутри, чтобы сформировать пустотелый свод. К дополнительным компонентам относят выступы, фаски, скругления и уклоны. При генерировании трехмерной модели тела вращения используются кривые, заданные по определенному закону (формуле). С помощью теоретико-множественных (булевых) операций можно создать довольно сложную геометрическую модель. Однако трудозатраты на создание такой модели сравнительно велики, а возможности по редактированию затруднены.

Задание формы примитива может выполняться вводом параметров, выбранных из списка определенного типа, например, ввод габаритных размеров параллелепипеда или радиуса сферы. Другой способ основан на конструктивных особенностях плоской фигуры и предполагает построение плоского контура, не обязательно замкнутого на первом этапе создания трехмерной модели.

Для получения объема этот контур выдавливается, вырезается, оформляется в виде оболочки, вращается вокруг оси, вытягивается вдоль заданной траектории. Например, вращая окружность вокруг оси, мы получим сферу, перемещая многоугольник, – призму. Затем чертеж усложняется путем добавления конструктивных элементов. При проектировании твердотельной модели конструктор может наложить взаимозависимости между размерами и параметрами.

Моделирование с использованием типовых элементов – это составление модели посредством сочетания элементарных компонентов типа параллелепипед, цилиндр, конус, сфера, принятых в качестве базовых. Дальнейшие операции с этими элементами осуществляются за счет дополнительных компонентов типа карман, бобышка, проточка, отверстие и т. д. Например, центральная корпусная деталь насоса может быть смоделирована на основе базового компонента – цилиндра, после чего могут применяться компоненты: проточка, отверстие, фаска, скругление.

Основные операции, используемые в твердотельном моделировании. Плоская фигура, на основе которой образуется тело, называется эскизом. Эскиз создается стандартными средствами, используемыми для построения чертежа. Он может располагаться в одной из ортогональных плоскостей координат, на плоской грани ранее построенного тела или на вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем. Эскиз может быть параметрическим. Формообразующее перемещение эскиза (или нескольких эскизов) называется операцией.

Начинается проектирование с создания базового тела путем выполнения операции над эскизом (или несколькими эскизами). Объемные элементы образуются путем заданного пользователем перемещения плоской фигуры (эскиза) в пространстве.

Широкое распространение нашли следующие операции:

- вращение эскиза вокруг оси, лежащей в плоскости чертежа;
- выдавливание эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа;

- перемещение эскиза вдоль направляющей (кинематическая операция);

- построение твердого тела по нескольким сечениям – эскизам.

Предусмотрено несколько вариантов выполнения одной операции:

- при вращении эскиза можно задать угол и направление поворота относительно плоскости эскиза и выбрать, если не задан, тип тела – тор или сфера;

- при выдавливании эскиза можно задать направление и расстояние выдавливания относительно плоскости эскиза и угол наклона;

- при выполнении кинематической операции можно задать ориентацию образующей относительно направляющей;

- при построении тела по сечениям можно указать необходимость замыкания тела;

- при выполнении всех операций можно использовать опцию тонкостенной оболочки, задать толщину и направление построения стенки: внутрь, наружу или в обе стороны от поверхности тела, образованного операцией.

После создания базовой конфигурации ее можно изменить путем дополнения телом определенной конфигурации, например, за счет создания бобышек, выступов, ребер или вычитания из основного объема. Примером вычитания объема из базовой конфигурации могут служить операции создания отверстий, канавок, пазов. При создании отверстия можно указать, что оно должно проходить через все тело детали и не рассчитывать его длину. Аналогично бобышку можно построить до определенной плоскости.

При задании параметров широко распространенных конструктивных элементов: фасок и скруглений часто достаточно указать ребро или несколько ребер и ввести определяющие их параметры: размеры катетов или размер катета и угол. Для ускорения проектирования детали конструктору может предлагаться

набор типовых элементов: вырезов, выборков, бобышек, приливов, ребер. Эти элементы можно ориентировать и привязывать к уже имеющейся конструкции. Размеры проставляются автоматически. Созданные элементы являются параметрическими и могут быть установлены на требуемую плоскость 3D модели. Размеры элементов задаются с клавиатуры или берутся из базы данных. Специальные команды позволяют выполнять повторяющиеся операции или получить симметричную деталь.

При редактировании объема необходимо изменить эскиз, глубину вытяжки или угол прокрутки. Информация обо всех операциях по созданию геометрической модели хранится в дереве проекта. Его можно редактировать с любого места. Пользователь в любой момент может «откатиться» назад для исправления геометрии или изменения каких-либо параметров.

Преимущества твердотельного моделирования. При твердотельном моделировании система однозначно определяет положение любой точки: внутри или снаружи, автоматически вычисляет линии и поверхности, образующиеся при пересечении различных элементарных объемов, составляющих конструируемую деталь. Почти все системы 3D моделирования имеют приложения для генерации трехмерных элементов сборочных единиц: винтов, шпилек, шурупов, штифтов, болтов, шайб, шплинтов и т.п. Выбор диаметра и длины крепежного элемента производится из базы данных.

При генерации крепежного соединения автоматически генерируется отверстие, между соединяемыми деталями автоматически накладываются связи. Это позволяет исключить ошибки, связанные с нестыковкой соединений, когда крепежные соединения проектируются для каждой детали отдельно. Возможность генерации массива крепежных соединений, например, крепление фланца 10 болтами, позволяет автоматически рассчитывать все необходимые параметры: расстояние между крепежными элементами, их количество и т.п. При изменении конструктором одного из параметров соединения, например, диаметра болта, автоматически меняются параметры всех соединяемых деталей: шайбы, отверстия и т.д.

Такая возможность твердотельного проектирования, как автоматическая генерация плоских или ступенчатых разрезов и сечений моделей, позволяет увеличить скорость процесса подготовки чертежей в несколько раз. Некоторые программы способны вращать модели и изменять их размеры, демонстрировать вид изнутри. Чертежи проектируются вместе с изометрическими и проекциями, выносными видами, разрезами. При наличии прототипа (изделия и измерительного оборудования) модуль обратного проектирования (reverse engineering) позволяет создать чертеж детали.

Нагрузки и граничные условия могут налагаться на грани твердотельной модели. Узлы и конечные элементы связываются с солидом при автоматической генерации сетки, которую можно изменять. Нагрузки и закрепления правильно прилагаются к узлам и элементам автоматически. Последовательность построения модели запоминается ЭВМ и при необходимости в нее можно внести коррективы.

Твердотельное моделирование обеспечивает возможность фотореалистического трехмерного представления изделий и позволяет оценить различные проекты без построения физических моделей. Отделы маркетинга получают возможность демонстрировать изображения новых продуктов до их выпуска. Однако твердотельное моделирование требует больших вычислительных мощностей и быстродействия ЭВМ, наличия больших объемов памяти. Поэтому современные САПР должны иметь развитые средства как объемного, так и плоского моделирования, позволяя хранить плоскую и объемную модель в виде одного объекта. Система не должна «навязывать» объемное моделирование для решения плоских задач.

Твердотельное моделирование по сравнению с поверхностным (каркасным) моделированием имеет ряд преимуществ, так как позволяет:

- более точно разрабатывать прототипы деталей;
- контролировать взаимное расположение деталей в узле, анализировать места пересечения и зазоры контактирующих деталей в сборочных узлах;
- оптимизировать вес и объем изделий;

- определять инерционные, прочностные характеристики и импульс твердого тела;
- отрабатывать внешний вид по цветным фотореалистическим изображениям деталей и сборочной единицы;
- создавать управляющую программу для всех видов обработки на станках с ЧПУ.

Установление параметрических зависимостей между различными размерами твердотельной модели позволяет производить автоматический пересчет всех связанных размеров при изменении одного из них. Параметрические модели сохраняют историю (динамику) их проектирования, позволяют увидеть, в каком порядке собирается узел, кто и когда внес изменения в конструкцию. С помощью специальных функций некоторые САПР позволяют преобразовать каркасную модель в твердотельную и твердотельную в поверхностную.

4.8. САПР режущего инструмента

Рассмотрим, для примера, использование САПР при проектировании режущего инструмента. Проектирование режущего инструмента с использованием САПР выполняется в следующей последовательности:

- выбирается требуемый инструмент из базы данных;
- просматриваются параметризованные чертежи инструмента;
- для заданных условий работы в диалоговом режиме определяются размеры и конструктивные особенности режущего инструмента.

Для обеспечения высокой стойкости инструмента и производительности обработки необходимо выполнить оптимизацию углов режущей части, обеспечить свободное размещение стружки и необходимую прочность зуба. Следует учитывать, что с увеличением размеров канавки для стружки, уменьшается площадь сечения режущих зубьев и их прочность.

Определение формы стружечной канавки. Повысить производительность обработки, стойкость инструмента, улучшить качество обрабатываемой поверхности, снизить динамические нагрузки на станок при проектировании осевого инструмента, на-

пример, цилиндрической фрезы, можно за счет использования спиральных канавок. Однако такие канавки для стружки удорожают стоимость инструментов из-за большей трудоемкости их изготовления.

Форма стружечной канавки определяется геометрией зуба и ее размерами, которые зависят от размеров инструмента. Геометрические параметры стружечной канавки должны обеспечить:

- рациональные углы резания за счет оптимального расположения передней и задней поверхностей зуба;
- свободное размещение стружки;
- необходимую прочность режущего зуба.

Режущая часть фасонной концевой фрезы формируется из набора сечений перпендикулярных ее оси (рис. 41). Каждое сечение описывается сплайном в форме ломаной.

Существует несколько методов определения профиля инструмента второго порядка для обработки винтовых стружечных канавок, основанных на применении аналитических и графоаналитических методов расчета профиля инструмента. Графические методы профилирования в настоящее время распространены меньше из-за использования при расчетах компьютерной техники, что повышает скорость и точность вычислений при использовании аналитических методов расчета инструмента.

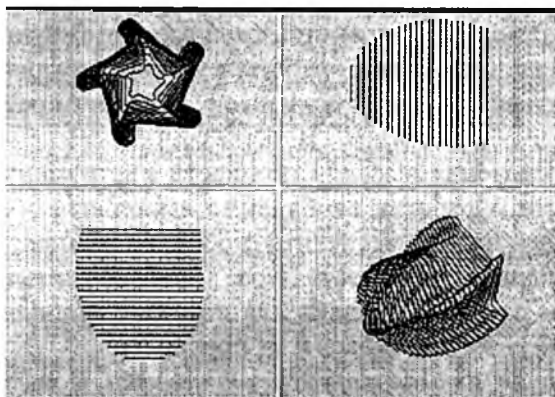


Рис. 41. Комбинации режущей части фасонной фрезы

На базе спроектированных сечений создается объемная геометрическая модель рабочей части инструмента (рис. 42). Количество сечений (не меньше двух) выбирается конструктором исходя из требований, предъявляемых к точности инструмента.

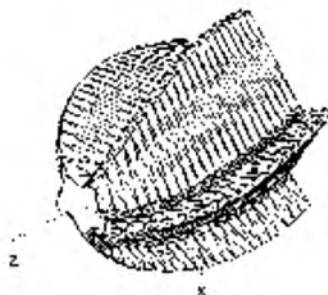


Рис. 42. Объемное изображение фасонной фрезы

Развитие систем 3D моделирования расширило область применения графических методов профилирования, позволило применить алгоритмы графического определения профиля инструмента второго порядка к объемным моделям режущей части инструмента.

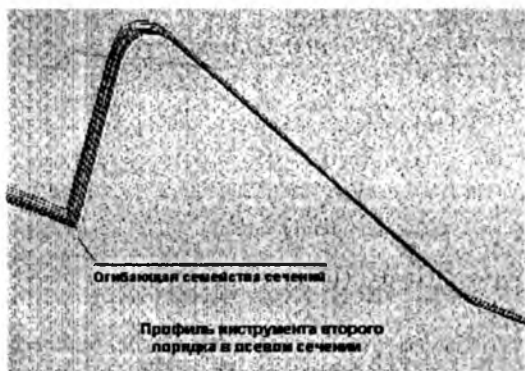


Рис. 43. Профилирование режущей части инструмента

Профилирование по принципу метода «совмещенных сечений» основано на нахождении профиля инструмента второго порядка по профилю обрабатываемого инструмента в нескольких контрольных сечениях. Контрольные сечения назначаются на разных диаметрах вдоль образующей параллельно оси дискового инструмента. Найденные профили совмещаются в одной плоскости, исходя из заданных параметров инструмента второго порядка, и, на основе этого, определяется окончательный профиль обрабатывающего инструмента (рис. 43).

По найденному профилю инструмента второго порядка строится объемная геометрическая модель обрабатывающего инструмента. Траектория движения инструмента второго порядка определяется с учетом геометрии направляющей винтовой поверхности и параметров установки инструмента. Затем составляется программа перемещения обрабатывающего инструмента вдоль режущей части концевой фрезы. В контрольных точках строятся сечения плоскостями, параллельными оси инструмента второго порядка. Полученные сечения контролируются на подрезание профиля стружечной канавки (рис. 44).

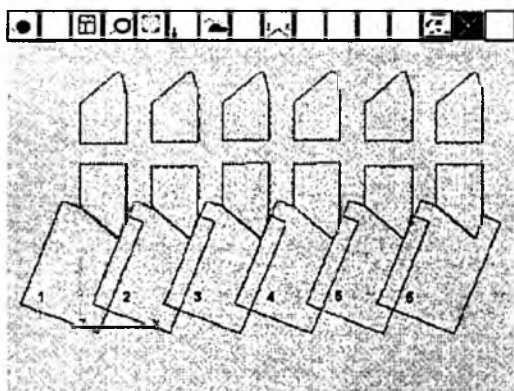


Рис. 44. Технологическая картина изготовления фрезы

Последним этапом проектирования инструмента является создание рабочего чертежа концевой фрезы. Чертеж создается по объемной геометрической модели инструмента и может быть создан двумя способами.

Объемная модель проецируется на три плоскости. Полученные проекции потом сохраняются, как плоские модели, из которых затем komponуется чертеж и проставляются размеры. Размеры проставляются на объемной модели, которая затем изображается в четырех видах (один вид – изометрия) с помощью редактора 3D-моделей. На конечном этапе все виды сохраняются как плоский чертеж. На рис. 45 показан пример оформления чертежа фасонной концевой фрезы.

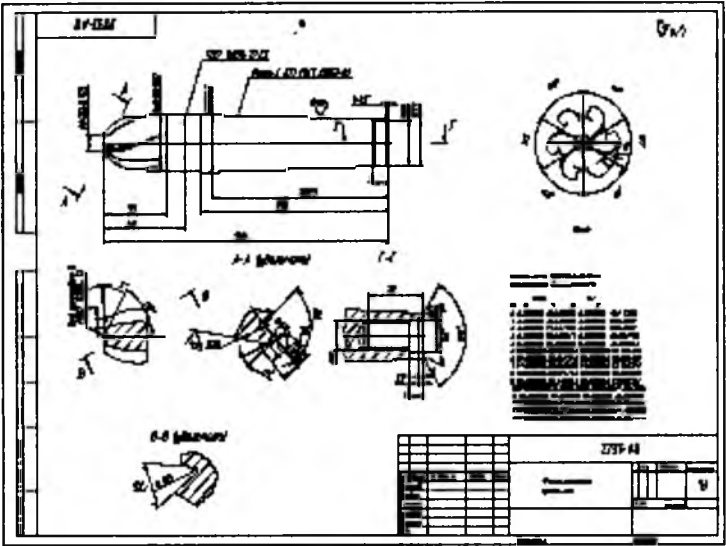


Рис. 45. Рабочий чертеж инструмента

Применение системы 3D-моделирования позволяет не только сократить время на проектирование инструмента и получить его пространственное представление для дальнейшего анализа, но и производить прочностные расчеты на основе метода конечных элементов и делать еще многое другое, недоступное ранее. Это позволяет выйти конструктору на новый, более высокий уровень проектирования.

Методы расчета режущего и вспомогательного инструмента на ЭВМ

Появление и развитие вычислительной техники дало новый толчок развитию численных методов анализа, используемых для оптимизации отдельных конструкций режущего и вспомогательного инструмента. После выбора основных геометрических параметров режущего инструмента конструктор анализирует воздействие на него рабочих нагрузок, рассчитывает размеры отдельных элементов с тем, чтобы повысить эффективность и стойкость режущего инструмента, уменьшить его стоимость. При выполнении расчетов могут использоваться дифференциальные уравнения, программу решения которых составлена математиками, а конструктор задает исходные данные.

Производительность обработки и стойкость режущего инструмента зависят от его конструкции, инструментального и обрабатываемого материалов, используемого оборудования, режимов резания, смазочно-охлаждающей жидкости. Механические и физико-механические характеристики режущего инструмента в значительной степени зависят от материалов инструмента и заготовки, их химико-термической обработки и конструкции инструмента.

Компьютерный анализ параметров будущего инструмента еще на этапе его проектирования позволяет оптимизировать его конструкцию. Компьютерному анализу с помощью соответствующих модулей могут быть подвергнуты различные характеристики инструмента:

- функциональность сборного инструмента в целом и его отдельных деталей;
- стойкость инструмента, прочность его отдельных элементов, жесткость, надежность, и т.д.

Инженерный анализ компьютерной модели инструмента обходится несравненно дешевле, чем работа с опытными образцами, и требует значительно меньших материальных и временных затрат. Специализированные программные средства позволяют проанализировать работоспособность конструкции, оптимизировать геометрию режущей части.

Инженерные расчеты позволяют снизить количество создаваемых прототипов и количество обработанных заготовок до минимума, а значит, и сократить время выпуска нового инстру-

мента. Кроме того, за счет более полной проработки конструкции можно создавать более эффективные инструменты.

Автоматизированный расчет (CAE – computer-aided engineering) выполняется на всех этапах работы с инструментом: при проектировании, опытной проверки и во время производственных испытаний. Он позволяет автоматически рассчитать массу, центр тяжести, момент инерции, объем и главные оси сложных конструкций инструмента, например, червячных фрез, выполнить статический, динамический и кинематический анализ системы станок-инструмент, решить задачи прочности и теплофизики, определить влияние нагрузок на режущие кромки инструмента и размеры канавок для стружки без натурных испытаний. Результаты этого анализа позволяют оценить работоспособность, стойкость и другие параметры инструмента.

Автоматизированный расчет на ЭВМ значительно ускоряет построение математической модели, содержащей дифференциальные и интегральные уравнения, формирование которой требует работы специалистов высокой квалификации. При исследовании ряда связанных геометрических конфигураций инструмента используется параметрическое моделирование, позволяющее строить несколько подобных конструкций. Так, параметрическая модель позволяет разработать семейство подобных инструментов, отличающихся в размерах.

Для успешного решения задач моделирования сложных инструментов необходимо правильно поставить задачу исследования и выбрать степень подробности описания конструкции. Без учета этих факторов можно либо «заглубить» модель и не учесть влияние некоторых параметров на работоспособность системы, либо описать ее с избыточной подробностью, что потребует чрезмерных затрат вычислительных ресурсов при выполнении расчета. При решении сложных задач могут использоваться готовые варианты отдельных элементов конструкции инструмента, например, элементов зуба протяжки.

Математическая модель составляется по описанию исследуемой конструкции инструмента, выполненному квалифицированным конструктором. Расчетная модель может быть легко изменена и дополнена с учетом новых факторов. Универсальные

программные комплексы математического анализа многокомпонентных конструкций являются сложными наукоемкими разработками.

Кинестатический анализ режущего и вспомогательного инструмента используется для определения таких характеристик, как скорости, ускорения и реакции в креплениях инструмента, силы инерции, а также для проверки выполнения различных стандартных и задаваемых пользователем критериев. Например, можно получить значения скоростей, ускорений и реакций в местах расположения режущих зерен скоростных шлифовальных кругов для всех положений обрабатываемой заготовки, как в числовом, так и в графическом представлении с интервалом времени $\Delta t = 0.001$ секунды с тем, чтобы предупредить возможность чрезмерных нагрузок и, как следствие, разрыва круга.

Переменные оптимизации: целевая функция и ограничения могут быть связаны с такими параметрами, как напряжение, перемещение, момент инерции, энергия деформации, коэффициент запаса, форма и частота собственных и вынужденных колебаний и т. п. *Динамический анализ* позволяет исследовать сложные системы инструмент-заготовка, определить возникающие при работе нагрузки и деформации.

Одним из важных инструментов анализа конструкций режущего инструмента является *метод конечных элементов*, позволяющий выполнить математическое моделирование напряженно-деформированного состояния конструкции, динамических и тепловых процессов. При этом на экране отображаются поля напряжений и деформаций для каждой точки конструкции. При выполнении расчета встроенный генератор автоматически создает сетку конечных элементов в соответствии с указаниями конструктора по модели (рис. 45). Элементы модели, в анализе которых нет необходимости, могут быть временно исключены (подавлены), что уменьшает время расчетов. Усложнение формы режущего инструмента влияет на время разбивки.



Рис. 45. Поле напряжений на зубе режущего инструмента



Рис. 46. Исследование распределения температурных полей на режущей части инструмента

Ограничивающим фактором при проведении расчетов методом конечных элементов служит объем оперативной памяти. Для ускорения расчета используется библиотека конечных элементов, позволяющей рассчитывать пространственные стержневые системы, тонкостенные конструкции, объемные и асимметричные задачи. Инструмент анализируется в статическом, динамическом и температурном режиме. Для лучшего визуального контроля точки, которые нагреваются до одинаковых температур или испытывают одинаковые давления, закрашиваются одним и тем же цветом. Цветовая шкала (на рисунке не показана) давлений (рис. 46) или температур приводится рядом с рисунком режущих зубьев протяжки.

Вопросы для самопроверки:

1. Объясните, в чем заключена разница между системами CAD, CAM и CAE?
2. Что входит в понятие «интегрированная система САПР»?
3. Дайте определение понятия «база», используемого в САПР.
4. В чем заключена разница между понятиями «база данных» и «база знаний»?
5. Как вы понимаете назначение управляющей программы, используемой на станках с ЧПУ?
6. В каких случаях целесообразно использовать экспертную систему в структуре САПР?
7. Расскажите об архитектуре экспертной системы.
8. Какие средства обеспечения САПР включаются в ее структуру?
9. Расскажите о техническом обеспечении САПР.
10. Расскажите о программном обеспечении САПР.
11. Расскажите об информационном обеспечении САПР.
12. Расскажите о лингвистическом обеспечении САПР.
13. Расскажите об организационном обеспечении САПР.
14. Расскажите о правовом обеспечении САПР.
15. Расскажите о функциональных возможностях системы СУБД.
16. Какие графические фигуры можно строить на дисплее на двумерной плоскости?
17. Какие свойства и особенности использования в САПР имеет твердотельное моделирование?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время во многих странах мира ведутся научные исследования и практическая работа по созданию автоматического производства будущего. Основные, представляемые в настоящее время, особенности такого производства должны отличаться следующими чертами:

- высочайшая производительность труда, высокая степень гибкости перехода на выпуск новой продукции;
- кратчайший производственный цикл изготовления изделий;
- обеспечение выпуска продукции только высокого качества;
- малое энергопотребление, высокий коэффициент использования машин и сырья;
- безотходная технология; полная утилизация отходов путем превращения стружки в исходный материал, выработки вторичного сырья для производства побочной продукции;
- высокая надежность оборудования и всего завода за счет использования самодиагностирования, предупреждающего выход оборудования из строя или обеспечивающего восстановление его работы в кратчайшие сроки;
- гуманизация труда, создание условий, удовлетворяющих всем требованиям сохранения здоровья человека; сокращение физического труда и полная компьютеризация умственного труда;
- экологическая безопасность, обеспечение сохранности окружающей среды;
- мобильность в отношении применения новых достижений науки и техники, новейших технологий и оборудования.

Создание автоматического завода будущего невозможно при традиционных методах проектирования и конструирования ТС. Необходимы революционные сдвиги в технологии машиностроения и организации производства в целом на базе компьютерной интегрированной системы. Применительно к методам проектирования и конструирования будущего предприятия (за-

вода) представляется необходимым осуществить следующие преобразования:

- переход к использованию систем машин, выполняющих комплекс работ и обеспечивающих непрерывность производственных процессов;

- интеграция различных процессов производства и управления в единую компьютеризированную производственную систему;

- переход к имитационному моделированию при создании и испытании образцов изделий и производственных процессов;

- углубление индивидуального учета требований каждого заказчика;

- совершенствование организации проектирования машин по принципу «только тогда, когда нужно».

Завод будущего – не безлюдный завод, это будет малолюдное автоматизированное предприятие. Количество занятых сотрудников в сфере собственно производства значительно сократится, но конструкторская часть, как функциональная единица всего процесса, по всей видимости, сохранится. В связи с этим, резко возрастут требования к накоплению автоматизированных банков данных и библиотек. Переход на автоматическую инвентаризацию материальных и интеллектуальных ресурсов, установление полного контроля за ходом процесса проектирования и конструирования ТС с помощью ЭВМ должны обеспечить высокое качество создания изделия, с учетом постоянно растущей конкуренции на рынке машиностроительной продукции.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машиностроение. Энциклопедия. Т.1V – 7/ Б.И. Черпаков, О.И. Аверьянов, Г. А. Адоян и др. / Под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Машиностроение: 1999. – 863 с.: ил.
2. Металлорежущие станки: Учебник для нач. проф. образования/ Б.И. Черпаков, Т.А. Альперович. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
3. Металлорежущие системы машиностроительных производств: Учебное пособие для студентов технических вузов / О.В. Таратынов, О.И. Аверьянов, М.А. Босинзон, В.А. Голов, Б.И. Черпаков, Е.Г. Щербак; Под ред. О.В. Таратынова. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2006. – 488 с.: ил.
4. Проектирование технологии машиностроения на ЭВМ: Учебник для вузов / О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков, О.А. Аверьянов и др.; Под ред. О.В. Таратынова, – М.: МГИУ, 2006, – 519 с.
5. Проектирование и расчет металлорежущих станков на ЭВМ: Учебное пособие для вузов / О.В. Таратынов, О.И. Аверьянов, В.В. Клепиков, Ю.П. Тарамыкин, Е.Г. Щербак, А.Н. Герасин; Под ред. О.В. Таратынова, Ю.П. Тарамыкина. – М.: МГИУ, 2002. – 384 с.
6. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учебное пособие для вузов / Под ред. О.В. Таратынова, 2-е изд. доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2006. – 380 с.
7. Технологическая оснастка: Учебник для учреждений сред. проф. образования / Б. И. Черпаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 288 с.

Учебное издание

**ОЛЕГ ИВАНОВИЧ АВЕРЬЯНОВ
ВАЛЕРИЙ ФЕДОРОВИЧ СОЛДАТОВ**

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор К.В. Шмат

Компьютерная верстка: Н.Р. Сейфетдинова

Оформление обложки: А.М. Гришина

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.006314.05.07 от 31.05.2007.

Подписано в печать 25.04.08

Формат бумаги 60х84/16. Изд. № 3-30/07

Усл. печ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 10,0. Тираж 500

Заказ 734

Издательство МГИУ, 115280, Москва, Автозаводская, 16

Тел. (495) 677-23-15

**По вопросам приобретения продукции
издательства МГИУ обращаться по адресу:**

115280, Москва, Автозаводская, 16

www.izdat.msiu.ru; izdat@msiu.ru; тел. (495) 677-23-15

ISBN 978-5-2760-1233-9



9 785276 012339

ПРЕДЛАГАЕМ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ КНИГИ



Клепиков В.В., Голов В.А., Порошин В.В.

Качество изделий: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2006. – 252 с.

Раскрываются параметры качества изделий, геометрические и функционально-механические свойства поверхностного слоя изделий. Значительное внимание уделяется геометрическим параметрам микронеровностей профиля. Раскрыты новые направления в области трехмерного анализа топографии поверхностного слоя.



Аверьянов О.И., Аверьянова Г.И., Толмачев С.А.

Компоновки металлорежущих станков: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 168 с.

Учебное пособие по дисциплине «Металлорежущие станки» предназначено для студентов высших технических образовательных учреждений, которые обучаются по специальности «Технология машиностроения».



Аверьянова И.О., Аверьянов О.И.

Кинематика металлорежущих станков: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2006. – 52 с.

Учебное пособие подготовлено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Технология машиностроения» и «Проектирование и эксплуатация автоматизированного производства».

ПРЕДЛАГАЕМ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ КНИГИ



Аверьянов О.И., Клетиков В.В.

Режущий инструмент: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 144 с.

Рассмотрены вопросы проектирования основных видов металлорежущих инструментов, описаны современные конструкции режущих инструментов, методы их проектирования, системы режущего и вспомогательного инструмента, задачи, охватывающие разные аспекты проектирования и эксплуатации инструментальных систем. Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки инженеров по специальностям: «Технология машиностроения», «Металлообрабатывающие станки и комплексы», «Инструментальные системы машиностроительных производств».



Рачков М.Ю.

Пневматические средства автоматизации: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 288 с.

Рассмотрены основы теории пневматики, элементы пневматических систем, пневмораспределители, пневматические приводы, компрессоры и вакуумные устройства, а также функциональные пневматические устройства. Приведены примеры применения автоматических пневматических систем в различных отраслях промышленности. В приложениях даны стандартные обозначения пневматических устройств и технологических операций в пневмосистемах, расчетные схемы определения их параметров, примеры промышленных изделий пневмоавтоматики.



Мартяков А.И.

Функциональные узлы и устройства автоматики: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 140 с.

Содержит сведения о специальных и часто встречающихся в системах автоматики узлах и устройствах. Рассматриваются конструктивно и функционально законченные изделия электронной техники интегрального исполнения, которые могут использоваться при создании новой техники как самостоятельные узлы.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств».

ПРЕДЛАГАЕМ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ КНИГИ

Рачков М.Ю.

Технические средства автоматизации: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 185 с.

Дано описание состава технических средств автоматизации и технических средств автоматизации промышленных производств, а также автоматизации работ в экстремальных условиях. Книга предназначена для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Автоматизированные технологии и производства» и по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», а также для студентов и аспирантов других специальностей, изучающих вопросы автоматизации.

*Максимов Б.А., Наумов Л.И., Резниченко А.В.,
 Усанова О.Ю.*

Технологические процессы машиностроительного производства и технология конструкционных материалов: Практикум. – М.: МГИУ, 2007. – 96 с.

В практикуме по курсу «Технология конструкционных материалов» изложены краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения практической части лабораторных работ. Указан порядок выполнения работ по холодной листовой штамповке, горячей обработке давлением, ручной дуговой и контактной сварке, токарной и фрезерной обработке. Практикум предназначен для студентов всех инженерных специальностей.

Бадаев Ф.З., Стукалова Н.П., Хайри А.Х.

Кинетика химических реакций: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 67 с.

В учебном пособии изложены основные кинетические закономерности протекания простых и сложных химических реакций, приведены примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения, дается описание лабораторной работы по изучению кинетики каталитического разложения пероксида водорода. Предназначено для студентов специальности «Материаловедение в машиностроении».



ПРЕДЛАГАЕМ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ КНИГИ



Аверьянов О.И., Аверьянова И.О.

Основы инжиниринга в машиностроении: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 64 с.

Учебное пособие подготовлено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Технология машиностроения». Содержание материалов и его изложение предназначено для самостоятельного изучения данного курса.



Клоков В.Г.

Детали машин: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2006. – 74 с.

В пособии рассмотрены расчеты и конструкции зубчатых и червячных передач, муфт, подшипников качения, валов, шпоночных и шлицевых соединений.



Антонов А.А., Овчинников В.В.

Диагностика и ремонт кузовов, деталей двигателя и трансмиссии автомобиля: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2007. – 178 с.

Рассмотрены технологические особенности ремонта кузовных узлов, деталей двигателя и трансмиссии автомобилей с применением методов сварки, пайки, наплавки и напыления. Приведены данные по материалам и особенностях техники ремонта отдельных деталей автомобиля в условиях крупных ремонтных производств и небольших сервисных мастерских. Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 65.14.00 «Машиностроительные технологии и оборудование» и по специальности 12.05.00 «Оборудование и технология сварочного производства».