

## Технологическая подготовка производства на основе CAD-CAM систем

### Литература

1. Черепашков А.А., Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. Учеб. для студ. вузов.- Волгоград: Издательский дом «Ин-Фолио», 2009.- 640с.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - .: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 336 с.: ил. - (Сер. Информатика в техническом университете).
3. Митрофанов В.Г. Диалоговые САПР технологических процессов. Учеб. для вузов / В.Г. Митрофанов, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе и др. : под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение. 232с.

### 1. Автоматизированные системы технологической подготовки производства

#### Основные положения и принципы работ технологической подготовки производства

*Технологическая подготовка производства* - следующий этап (после проектирования) в цикле разработки нового изделия.

Данный этап состоит в обеспечении технологической готовности предприятия к выпуску спроектированного изделия при соблюдении требований к качеству, срокам и объемам выпуска, а также с учетом запланированных затрат. *Технологическая подготовка производства (ТПП)* включает в себя:

- обеспечение технологичности изделия (включая *технологичность конструкции* изделия и технологичность выполнения работ при его изготовлении, эксплуатации и ремонте);
- разработку и внедрение технологических процессов (механообработки, сборки, штамповки, литья, термообработки и др.) для изготовления деталей и узлов изделия;
- проектирование и изготовление необходимого нестандартного оборудования и средств технологического оснащения (приспособлений, пресс-форм, штампов, специального режущего и измерительного инструмента);
- управление процессами *ТПП*.

Целью *ТПП* является создание проекта технологического процесса, его технического обеспечения на основе проекта изделия. *Информация*, полученная на этом этапе, должна отвечать на вопрос, как нужно изготавливать изделие, чтобы оптимизировать *техничко-экономические показатели* деятельности предприятия, его выпускающего. Эта *информация* создает *базис* нормативно-технических данных, необходимых для организации управления предприятием. Поэтому от качества информации, полученной на данном этапе и отраженной в технологической документации, в значительной степени зависят эффективность производства и качество продукции.

Проект технологического процесса разрабатывается как *компромисс* между требованиями конструкции изделия и возможностями производства. Поэтому уже на начальных стадиях разработки проекта необходимо вести обработку его на технологичность, возможность реализации в конкретных производственных условиях.

Технологическое оборудование и способы его использования на производстве являются наиболее динамичными компонентами, подверженными быстрым изменениям. Поэтому решения, принимаемые при проектировании технологического процесса, должны не только отражать специфику спроектированной конструкции прибора, но и прогнозировать производственно-технологические условия на производстве.

*Автоматизация* технологических процессов на базе программно-управляемого от ЭВМ технологического оборудования ставит перед проектировщиками технологических процессов новую задачу - разработку соответствующих управляющих программ для такого оборудования, воплощающих в себе результаты проектирования как самого изделия, так и технологической подготовки его производства.

Объем решаемых задач и специфика проектирования технологических процессов определяют большую трудоемкость и длительные сроки проведения проектных *работ* на предприятии. Для повышения эффективности проектных *работ* - снижения стоимости и сокращения времени проектирования - необходима *автоматизация* технологического проектирования на базе ЭВМ.

Методологической основой создания систем автоматизации технологического проектирования (*САПР ТП*) на конкретных предприятиях является комплекс государственных стандартов, регламентирующих *единую систему технологической подготовки производства* - ЕС ТПП. В этих стандартах содержатся общие правила и положения *по* организации научно-технических разработок в области *технологической подготовки производства*, приемки и передачи их в производство, определены стадии разработки документации *по* организации и

совершенствованию технологического проектирования, определены правила разработки технического задания (ТЗ) на разработку АТК.

В нашей стране АСТПП начали создаваться еще в 1960-х годах двадцатого века. В разработке теоретических основ построения АСТПП и достижении практических результатов большую роль сыграли отечественные ученые: С.П. Митрофанов, В.И. Аверченков, Г.К. Горанский, Н.М. Капустин, Д.Д. Куликов, В.В. Павлов, Б.С. Падун, В.Д. Цветков и многие другие. Однако та вычислительная база, на которой строились АСТПП до начала 1990-х годов, резко отличалась от привычных для нас сегодня персональных компьютеров и рабочих станций. Это были большие (по габаритам) электронно-вычислительные машины, занимавшие целые залы, с очень малым по сегодняшним меркам быстродействием и небольшими объемами оперативной и внешней памяти, практически не дающие возможности работы в интерактивном графическом режиме и т. д.

С появлением широко доступных персональных компьютеров и рабочих станций стали возможными обеспечение каждого пользователя индивидуальным автоматизированным рабочим местом, организация вычислительных сетей, работа в интерактивном графическом режиме, электронный обмен данными, организация единых централизованных и распределенных баз данных, решение задач, требующих больших вычислительных ресурсов. Все эти возможности существенно повлияли на методы создания АСТПП, но, несмотря на это, многие основополагающие принципы построения АСТПП не потеряли своего значения. К ним относятся следующие принципы.

1. *Принцип системного единства.* Элементы АСТПП должны разрабатываться как части единого целого, где функционирование элементов подчинено общей цели. Кроме того, должна обеспечиваться интеграция АСТПП с автоматизированной системой управления производством (АСУП).

2. *Принцип декомпозиции.* Разделение АСТПП на составляющие (подсистемы) должно быть выполнено по наиболее слабым организационным и информационным связям. Правильная декомпозиция уменьшает сложность системы и облегчает условия ее эксплуатации.

3. *Принцип модульности.* Все компоненты АСТПП должны представлять собой логически независимые модули, которые могут использоваться как в автономном, так и в комплексном режиме.

4. *Принцип совместимости.* Все компоненты АСТПП должны обеспечивать возможность их совместного функционирования. Это требует их организационной, информационной и программной совместимости.

5. *Принцип открытости.* На этапе создания АСТПП невозможно предусмотреть все нюансы и перспективы дальнейшего развития производства.

Поэтому *АСТПП* должна быть открыта для модернизации и включения в нее новых решений.

6. *Принцип стандартизации.* В *АСТПП* должно быть использовано максимальное число унифицированных, типовых и *стандартных решений*. Это уменьшает затраты на создание *АСТПП*, повышает надежность ее функционирования.

7. *Принцип эргономичности.* Так как *АСТПП* является *человеко-машинной системой*, следует предусматривать удобство работы ее пользователей (правильное разделение функций, удобство и простоту интерфейсов, учет психологических факторов и др.).

8. *Принцип ориентации на новые достижения.* При создании *АСТПП* должны использоваться последние научно-технические достижения в области методов построения *АСТПП*, в области методов и средств *технологической подготовки производства*, а также в области организации производства.

### **Содержание и иерархия работ ТПП**

В своей работе *АСТПП* осуществляет хранение и обработку информации об изделии на протяжении всего времени его *жизненного цикла*, а также обеспечивает управление этой информацией. К видам информации, используемой в *АСТПП*, относятся:

- информация о деталях и *сборочных единицах* изделия;
- информация о технологических процессах изготовления изделия;
- информация об используемых средствах технологического оснащения;
- нормативно-справочная информация;
- планово-учетная информация.

Все эти виды информации должны быть организованы в виде единой структурированной информационной модели, доступной для работы всем специалистам *ТПП*. Иными словами, должно быть организовано *единое информационное пространство ТПП*, которое позволяет:

- принимать и хранить проект изделия в электронном виде;
- эффективно отслеживать текущее состояние *ТПП* изделия;
- организовывать быстрый авторизованный просмотр всех моделей и документов;
- обеспечивать оперативный обмен информацией между пользователями *АСТПП*;
- обеспечивать *информационную согласованность* работы всех подсистем *АСТПП*;
- поддерживать открытость *АСТПП*, удобство адаптации к меняющимся условиям производства;

- обеспечивать информационный обмен с *автоматизированной системой управления производством (АСУП)*.

Эти требования к *единому информационному пространству* могут быть выполнены только в том случае, если процессы конструкторского и технологического проектирования в *ТПП* автоматизированы. При этом проектная *информация* поступает в информационное *пространство* автоматически и становится доступной всем пользователям *АСТПП* в соответствии с имеющимися у них правами доступа.

Как следует из указанного выше принципа стандартизации, при построении *АСТПП* необходимо, *по возможности*, заниматься не разработкой собственных программных средств для автоматизации задач проектирования и управления. Нужно стремиться к поиску уже готовых систем, которые, с одной стороны, отвечают необходимым функциональным требованиям, а с другой - уже доказали свою *надежность* и качество при их использовании на других предприятиях.

Такие "готовые" системы обычно являются универсальными - другими словами, обеспечивают решение достаточно широкого класса задач. Для предприятия они носят характер **базовых**, то есть могут быть приняты в качестве основы. При этом следует иметь в виду, что ряд из них нуждается в настройке (адаптации) к условиям конкретного производства. Настройка может заключаться в заполнении баз данных сведениями об имеющемся на предприятии оборудовании, описании форм конкретных документов, разработке алгоритмов (программ) проектирования конкретных видов инструмента или приспособлений и т. д.

Как правило, *базовые системы* являются разработками известных фирм, специализирующихся в данной области. Эти разработки, выполненные на высоком уровне, удовлетворяют отмеченным выше принципам модульности, открытости, эргономичности, ориентации на новые достижения.

После того как на предприятии принято решение о создании *АСТПП*, выполняется этап *предпроектного обследования* предприятия. По результатам обследования составляется *техническое задание* на разработку *АСТПП*. В нем оговариваются функции создаваемой *АСТПП*, ее базовые *технические характеристики*, стратегия и *график* выполнения работ, предполагаемые *затраты*, перечень систем автоматизации проектирования и систем управления подготовкой производства, выбранных для использования в *АСТПП*.

Обычно на этапе составления технического задания осуществляется выбор *базовых систем* для решения задач автоматизации проектирования и управления *ТПП*. К *базовым системам* для автоматизации проектирования относятся системы класса *CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing)* и

класса *CAE* (*Computer Aided Engineering*), а к базовым системам для автоматизации управления *TIII* - системы класса *PDM* (*Product Data Management*).

Правильный выбор базовых систем является достаточно сложной задачей. Здесь следует опираться на *опыт* других предприятий, на самостоятельные проработки и на различные аналитические данные.

### **Классификация САПР по целевому назначению**

CAD (англ. computer-aided design/draftin) — средства автоматизированного проектирования, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения.

CAM (англ. computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем)). Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства.

CAE (англ. computer-aided engineering) – средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий.

CADD (англ. computer-aided design and drafting) – проектирование и создание чертежей.

CAGD (англ. computer-aided geometric design) – геометрическое моделирование.

CAPP (англ. computer-aided process planning) – средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными, или интегрированными.

Так, в мире существуют организации, считающиеся независимыми экспертами *по* проблемам *CAD/CAM*, *CAE* и *PDM*. К ним относятся CIMdata, Daratech, Gartner-Group, Dataquest и другие. Эти организации занимаются анализом и изучением тенденций развития *CAD/CAM*-, *CAE*- и *PDM*-систем, разработкой рекомендаций *по* их выбору. В регулярных отчетах публикуется *рейтинг* ведущих

систем и рекомендуется область их наиболее эффективного применения. При этом используются различные источники данных и методы сбора информации: опросы пользователей, публикации, пресс-релизы фирм-разработчиков. Применяемый метод определения рейтинга систем основан на экспертных оценках.

Однако, несмотря на имеющуюся в распоряжении аналитическую информацию, процесс выбора конкретных *базовых систем* требует, как правило, проведения дополнительного комплекса *работ*, в котором участвуют ведущие специалисты разных профилей, - и требует обоснованно, так как приобретение систем влечет за собой изменения и в организационных структурах, и в структуре персонала, и в общей культуре предприятия.

На крупных предприятиях может быть создана специальная комиссия, куда входят специалисты всех заинтересованных служб. Задачей комиссии станет разработка критериев выбора системы, оценка различных систем и поставщиков, разработка планов освоения и внедрения системы, комиссией также предусматривается период опытно-промышленной эксплуатации.

Процесс создания *АСТПП* не может быть оторван от других мероприятий *по* техническому перевооружению производства. Если предприятие использует устаревшие технологии и оборудование, трудно ожидать большого эффекта от процессов компьютеризации. Поэтому руководство предприятия должно быть готово к затратам на (пусть постепенное) приобретение современного оборудования. К такому оборудованию относятся:

- станки с числовым программным управлением (ЧПУ);
- контрольно-измерительные машины;
- новые термопластавтоматы;
- установки для быстрого прототипирования изделий (получение физических образцов по компьютерным моделям).

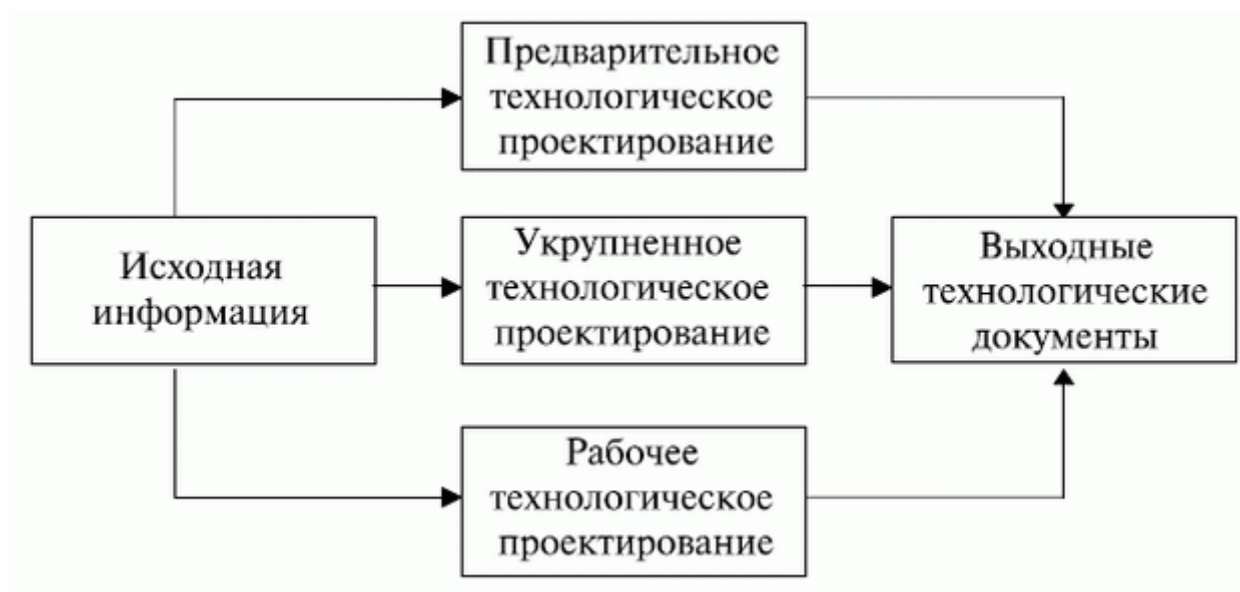
Значительные *затраты* потребуются на освоение и внедрение современных высокоэффективных технологий, которые включают:

- широкую унификацию и типизацию элементов технологического проектирования;
- оптимизацию применительно к конкретным условиям производственно-технологических решений;
- рационализацию документации и документооборота;
- совершенствование и повышение уровня стандартизации элементов и процессов *технологической подготовки производства* ;
- рациональную механизацию и автоматизацию объектов и процессов при проектировании.

Методологический характер ЕС ТПП состоит в том, что с учетом этих основополагающих признаков и соответствующих стандартов разрабатываются

конкретные стандарты отраслей и предприятий, конкретизирующие положения ЕС ТПП применительно к производственным условиям.

Рассмотрим укрупненную схему функционирования задач *технологической подготовки производства* (ТПП) (рис. 1.1).



**Рис. 1.** Укрупненная схема функционирования задач ТПП

Исходной информацией для проведения этих *работ* являются:

- технические условия к техническому заданию (ТЗ) на САПР (производственная программа);
- характеристики изделий;
- основные направления технологии в целом и по отдельным операциям (заготовки, обработки, сборки);
- основные направления по проектированию технологического оснащения;
- степень механизации и автоматизации производственных процессов;
- чертежи объектов производства;
- состав и краткая характеристика цехов;
- технологические разработки по изготовлению опытных образцов изделия;
- типовые техпроцессы, нормативы расхода материалов.

На стадии предварительного технологического проектирования решаются такие задачи:

- разработка перечня деталей, агрегатов, узлов, покупных изделий и полуфабрикатов, входящих в проектируемый объект;
- разработка графика проектирования и изготовления специальной оснастки;
- расчет нормы расхода материалов;
- предварительное нормирование изготовления деталей, узлов, изделий;



• расчет загрузки цехов и необходимых мощностей. Выходными технологическими документами на этом этапе является конструкторско-технологическая спецификация - перечень деталей и узлов изделия с указанием для каждой детали межцехового маршрута, нормы материала, размера партии запуска, длительности *цикла* обработки или сборки в каждом цехе.

На стадии укрупненного технологического проектирования решаются следующие задачи:

- проектирование укрупненных маршрутных технологий;
- проектирование заготовок;
- проектирование карт сборки;
- укрупненное нормирование обработки;
- разработка типовых технологических документов;
- уточнение загрузки оборудования и расхода материалов;
- проектирование конструкций и технологий изготовления оснастки.

Выходными технологическими документами второго, укрупненного, этапа являются:

- маршрутная технологическая карта;
- схемы сборки изделий;
- расчет производственных площадей;
- чертежи оснащения и технические карты его изготовления;
- перечень необходимой специальной измерительной аппаратуры.

На стадии рабочего технологического проектирования решаются такие задачи:

- проектирование *операционных технологий*;
- расчет режимов обработки;
- нормирование;
- расценки;
- применение групповых методов обработки.

Выходными технологическими документами этого этапа являются:

- конструкторские операционные технические карты с эскизами;
- технологические инструкции;
- карты контроля;
- технические условия на приемку операций и средств контроля.

В целом в *технологическую подготовку производства* входят такие *операции*:

- технологическая отработка конструкции изделия;
- проектирование и внедрение в производство технологических процессов изготовления, сборки, технического контроля качества деталей, узлов, агрегатов и изделий;
- проектирование, изготовление и отладка средств механизации и автоматизации производства;

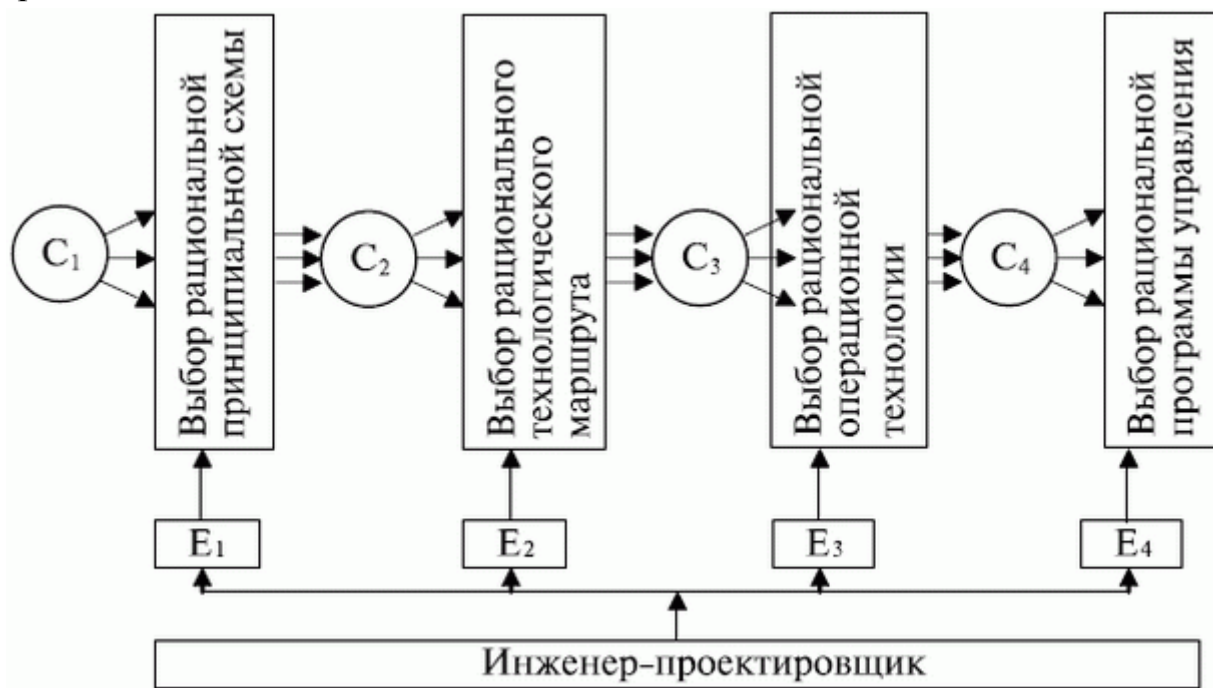
- разработка прогрессивных методов, режимов обработки и норм времени на выполнение спроектированных технологических процессов;
- проектирование и внедрение передовых норм организации производства, автоматизированных систем управления технологическим процессом.

Следовательно, системы автоматизированного проектирования технологии должны действовать в условиях большого разнообразия заданий на проектирование производственных ситуаций. Без автоматизации проектирования технологии в настоящее время не может эффективно работать ни автоматизированный участок, ни тем более гибкая *производственная система*. *Автоматизация технологической подготовки производства* является необходимым условием комплексной автоматизации производства и его эффективного функционирования. Использование ЭВМ в решении задач проектирования стало возможно в результате применения научных основ технологии и математического аппарата. Как уже указывалось, специфика проектирования автоматизированных комплексов заключается в том, что она объединяет два направления проектирования: проектирование технологических процессов (*САПР ТП*) и разработку автоматизированных систем управления технологическими процессами (*АСУТП*). Это необходимо учитывать при создании методики проектирования и оптимизации технологического процесса.

В промышленности технологические процессы изготовления изделий как в дискретном, так и в интегральном исполнении относятся к классу дискретных технологических процессов, поскольку все *операции* четко разделены во времени и пространстве. Кроме того, большинство операций дискретны *по* характеру измерений и *по* времени наблюдений, так как значения выходных переменных могут быть измерены, как правило, только после окончания основной *операции*. Поэтому создание оптимальной системы "ТП - АСУТП" приводит к необходимости проектирования *АТК*.

Процесс технологического проектирования таких комплексов имеет сложную иерархическую структуру. При построении подобных систем с гибким управлением особенно остро ставятся тесно связанные между собой вопросы рационального выбора схем управления, определения необходимого числа уровней иерархии, установления между уровнями правильных взаимосвязей, организации информационных потоков и создания контуров *принятия решений*. В частности, число необходимых уровней иерархии непосредственно связано с возможностями переработки информации на каждом уровне. Виды и количество уровней зависят от сложности проектируемых объектов или процессов, а также от требуемой степени детализации информационных моделей проектов.

Из всего многообразия решаемых задач для автоматизированных систем проектирования технологических процессов можно выделить следующие уровни (рис. 1.2).



**Рис. 2.** Модель многоуровневого процесса проектирования

1. Принципиальная схема технологического процесса, определяющая состав и последовательность технологических этапов, методы изготовления элементов РЭА на каждом этапе с пороговыми отборами рациональных решений на каждом уровне.

2. Технологический маршрут, характеризующий состав и последовательность операций на каждом этапе, и основные характеристики технологической системы для каждой операции (тип оборудования, схема установки, состав переходов).

3. Операционная технология, включающая уточненные характеристики технологической системы, определение структуры операции и характеристик каждого перехода.

## 2. САПР NX

Производитель: Siemens PLM Software.  
ранее «Unigraphics» или «UG»

В NX объединены ключевые функции для быстрой и гибкой разработки изделий:

1. Современные решения в области эскизного проектирования, 3D-моделирования и создания документации.
2. Средства численного моделирования: расчетов прочности, кинематики, теплопередачи, газогидродинамики и междисциплинарного анализа физических явлений.
3. Полнофункциональные решения для технологической подготовки производства деталей оснастки, проектирования процессов механической обработки и контроля качества.

В зависимости от потребностей может быть сконфигурировано конкретное решение NX, включающее необходимый набор функций. Линейка модулей NX достаточно обширна. Каждому модулю соответствует определенная функция или набор функций.

### **Модули, обеспечивающие проектирование конструкции и оформление документации(CAD)**

**Gateway** - Базовый модуль, своего рода главная оболочка системы. Позволяет создавать и просматривать содержание файла чертежа, детали и сборки, выводить чертежи на печать, управлять слоями, визуализацией, скрытием и показом элементов (blank/unblank), получение информации об объектах.

**Solid Modeling** Основной модуль параметрического моделирования. Он содержит такие основные функции, как проектирование кривых, эскизов и твердотельных примитивов, базовые операции над твердыми телами, построение твердых тел вращением и вытягиванием контура, булевские операции над твердым телом, сшивание твердых тел с автоматическим сохранением параметров построения и

ассоциативной связи между геометрическими объектами.

**Check-Mate** (чек-мейт) Позволяет устанавливать правила проверки, проводить проверку модели на соответствие корпоративным стандартам. Уже содержит несколько настроенных типовых контрольных профилей для моделей чертежей и сборок.

**Assembly Modeling** Обеспечивает создание моделей сборок как сверху вниз, так и снизу вверх. Функционал модуля позволяет создавать, редактировать и управлять структурой сборки, накладывать условия позиционирования элементов, управление гибкими элементами и подсборками в сборке (например, шланги, или несколько одинаковых гидроцилиндров при различных положениях штока).

**Straight Brake Sheet Metal** Модуль содержащий набор функций, специально предназначенных для проектирования деталей из листового материала. Модуль позволяет выполнять полную и частичную развертку детали с учетом технологических условий ее деформации. При выполнении операций построения могут использоваться таблицы разрешенных значений для величины толщины листа, радиусовгиба и других параметров

**NX Human Modeling** Средства моделирования человека для анализа эргономики, собираемости, и т. д.

### **Модули, обеспечивающие разработку управляющих программ(CAM)**

**NX Turning Add-on** Модуль для программирования токарной обработки (черновой, чистовой, точения канавок, обработка осевых отверстий и т.п.) на токарных и токарно-фрезерных станках. Обеспечивает функции визуализации и проверки траекторий.

**NX 5 Axis Machining Add-on** Модуль 5 осевой обработки. Гибкие методы управления осью инструмента позволяют обрабатывать, например, закрытые каналы или турбинные лопатки. Различные методы автоматического выбора геометрии существенно ускоряют и упрощают программирование. Предоставляется возможность работы с множеством параметров, которые обеспечивают учет особенностей оборудования и технологического процесса.

**NX CMM Inspection Programming Add-on** Модуль программирования координатно-измерительных машин (КИМ), при наличии САМ пакета.

**NX Wire EDM Add-on** Модуль электроэрозионной проволочной обработки. Поддерживает 2-х и 4-х осевую обработку.

### **Модули, обеспечивающие инженерный анализ конструкции (CAE)**

**NX Advanced Durability** Решение для анализа усталостной прочности изделий,

подвергающихся циклическим или длительным нагрузкам. Входными данными являются рассчитанные пользователем напряжения при статических или переменных нагрузках при помощи Nastran или других решателей.

**NX Design Simulation** Базовый пакет для конструктора-расчетчика позволяющий выполнять основные виды анализа: линейная статика, вибрации, деформации, устойчивости и тепловой анализ.

**NX Thermal Simulation** Базовый набор средств для теплового анализа конструкций. Решение задачи стационарного и нестационарного нагрева и теплообмена.

**NX Flow Simulation** Базовый пакет для решения задач вычислительной гидро-/газодинамики (CFD). Модуль полностью совместим с пре- /постпроцессором NX Advanced FEM, дает возможность создавать расчетные модели, задавать необходимые условия и проводить численный анализ потоков жидкостей и газов.

**Панель ресурсов** представляет собой набор вкладок, содержащих навигаторы и палеты. Панель ресурсов в обычном режиме располагается по умолчанию по левой стороне окна приложения, а в полноэкранном режиме она является одной из вкладок менеджера инструментов. Наиболее часто используемые вкладки

панели ресурсов:

1– навигатор сборки. Отображает структуру сборки и предоставляет инструменты в контекстных меню для работы с компонентами сборок. Также в этом навигаторе производится работа с межмодельными связями WAVE;

2 – навигатор модели. Предоставляет доступ к истории построения модели и инструменты для работы с элементами построения;

3 – библиотека данных повторного использования – интерфейс к библиотекам различных данных, которые могут быть классифицированы и использованы в последующих разработках. Это могут быть стандартные изделия, типовые конструктивные элементы, 2D блоки чертежей, шаблоны и многое другое; Повторное использование существующих наработок позволяет существенно оптимизировать и сократить процесс создания моделей.

В NX под данными для повторного использования подразумевается любой геометрический объект, который может быть выделен, классифицирован и помещен в хранилище. Данным хранилищем является Библиотека (Reuse Library), доступная в виде навигатора на панели ресурсов. Она группирует геометрические объекты разного типа – от кривых и элементов геометрии до шаблонов моделей – и предоставляет доступ к ним. Для большинства объектов, сохранённых в библиотеке, можно использовать перетаскивание мышкой в графическую область для использования выбранного элемента. Особо эффективна библиотека, когда она отображает не локальное хранилище данных, а общедоступное, расположенное в

PDM системе или в общей папке. Библиотека разбита на разделы, которые можно переопределить в Настройках по умолчанию, зайдя в раздел Базовый модуль > Библиотека повторного использования (Gateway > Reuse Library). В базовой поставке NX идет некоторый набор демонстрационных объектов, которые можно применять для ознакомления с возможностями библиотеки.

4 – инструменты HD3D. Содержит функционал формирования визуальных отчетов и средств;

5 – встроенный интернет – браузер. Как правило, используется для доступа к корпоративному сайту или документации NX;

6 – палета истории. Содержит ссылки, сгруппированные по дате на модели, которые загружались в NX ранее;

7 – палета ролей. Содержит преднастроенные и пользовательские конфигурации (роли), управляющие компоновкой интерфейса. Для новых пользователей, которые только осваивают систему, больше подойдет роль Основы (Рекомендуется) – будет отображён минимальный набор инструментальных панелей, каждая кнопка будет иметь название под пиктограммой. Для более опытных пользователей более удобной может быть роль Расширенная с полным меню – количество отображаемых инструментов будет максимально, а кнопки будут иметь компактный вид без текста.

Кроме базового набора навигаторов, отображенных по умолчанию в панели ресурсов, в зависимости от текущего активного приложения могут добавлять дополнительные вкладки с навигаторами. В частности, это касается приложений Механическая и Электрическая маршрутизация. Помимо стандартных системных палет, есть возможность создавать свои, которые будут группировать какие-либо данные и обеспечивать быстрый доступ к этим данным. В большинстве случаев все объекты на палетах могут быть использованы простым перетаскиванием в графическую область.

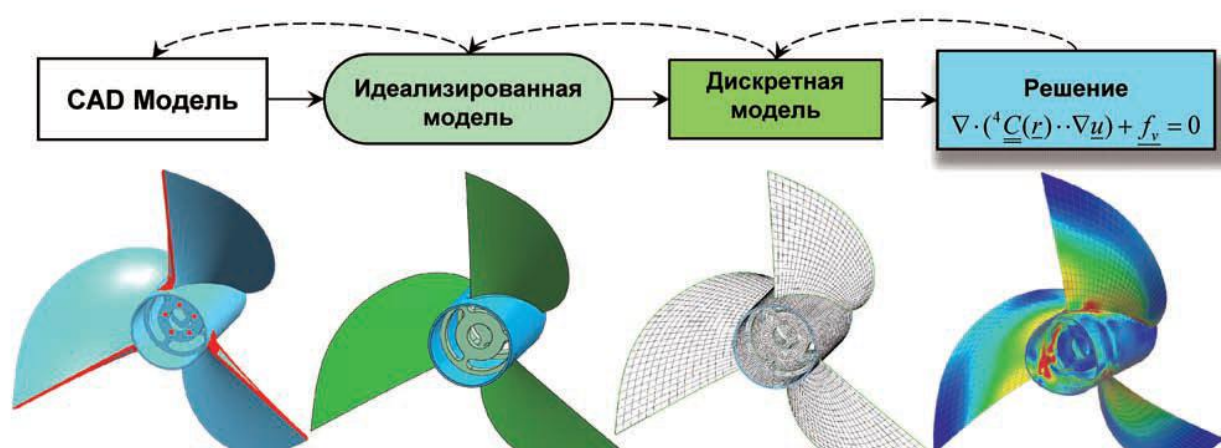
## **CAE – расчет**

NX Расширенная симуляция – это многофункциональный модуль конечно-элементного моделирования с широкими возможностями визуализации результатов моделирования поведения конструкций, он содержит все возможности, которые необходимы любому CAE специалисту, и поддерживает широкий диапазон инженерных анализов.

Отличительной особенностью NX Расширенная симуляция является возможность, оставаясь в одной и той же среде моделирования NX, использовать для решения различные ведущие промышленные решатели, такие как NX Nastran, MSC Nastran, ANSYS.

Основные типы анализа, доступные в решателе NX Nastran: линейный статический анализ (SOL 101), анализ собственных частот и форм свободных колебаний (SOL 103), анализ отклика на воздействия, зависящие от времени или частоты (SOL 103), анализ потери устойчивости конструкций (SOL 105), базовый нелинейный анализ (SOL 106), анализ переходных процессов (SOL 129), анализ теплопереноса (SOL 153), нелинейный анализ на базе неявных схем интегрирования (SOL 601), нелинейный динамический анализ на базе явных схем интегрирования (SOL 701), оптимизационный анализ (SOL 200).

По своему характеру метод конечных элементов относится к вариационно-разностным методам и имеет в своей основе представление исходной области со сложной формой границ совокупностью достаточно простых подобластей (конечных элементов).



Выделим основные шаги выполнения инженерного анализа с помощью метода конечных элементов (рис.):

- создание идеализированной модели, этот этап соответствует переходу от реальной физической модели к измененной (упрощенной) математической модели. Однако математические модели имеют бесконечное число степеней свободы, что влечет за собой практическую нереализуемость решения задачи на сложной модели;
- создание дискретной модели, что соответствует ограничению числа степеней свободы, то есть происходит дискретизация идеализированной модели;
- решение системы разрешающих уравнений, которые соответствуют выбранному типу анализа.

#### Анализ полученных результатов (Results)

В случае получения корректных и удовлетворяющих критериям пользователя результатов они анализируются, строятся необходимые графики и распределения, составляется отчет.

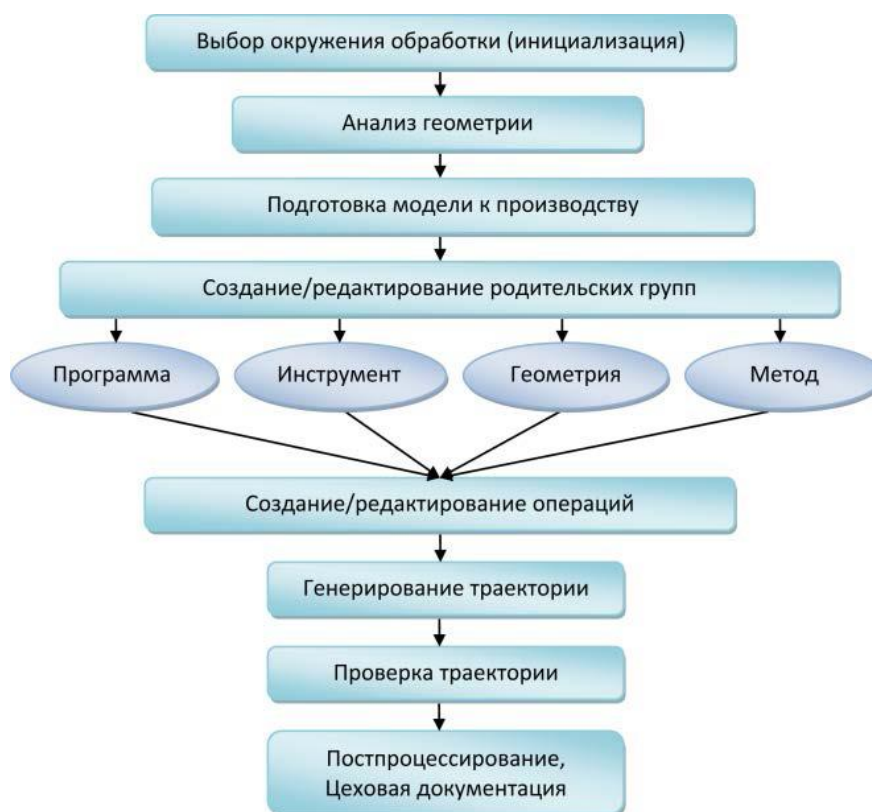
В другом случае возможен возврат к одному из предыдущих этапов для корректировки результатов путем изменения либо опций решения, либо КЭ модели, либо геометрической геометрии. При этом система автоматически реализует



ассоциативную связь между геометрической и расчетной моделями и корректно изменяет расчетную сетку, переносит нагрузки и т.д. Это позволяет значительно сократить время на повторное построение расчетной модели после проведения изменений в исходной модели.

## САМ – проектирование

Разработка управляющих программ в NX САМ производится в несколько этапов. Последовательность работы показана на рисунке.



**Выбора окружения обработки (инициализации)** Для разных видов обработки используются разные шаблоны для инициализации. На этом этапе создаются те объекты, которые необходимы для данного вида обработки.

**Анализ геометрии.** Этап необходим, если технолог модели не создавал, а получил ее от конструктора или стороннего заказчика. На этом этапе анализируются габаритные размеры детали, размеры элементов (ширина паза, диаметр отверстия и др.), радиус скругления элементов модели, наличие и величина уклонов (для оснастки).

**Подготовка модели к обработке,** на этом этапе можно убрать элементы, которые будут получены на других операциях (например, электро-эрозионной обработкой), добавить уклоны, припуски, модифицировать элементы модели с учетом полей допусков размеров и т. д. Фактически это САД-операции для задач САМ.

Правильный подход – модифицировать не саму конструкторскую модель, а ее ассоциативную копию.

**Создание или редактирование родительских групп.** Это отличительная особенность NX CAM; объекты,

заданные в родительских группах, наследуются связанными с ними операциями. Такой подход позволяет управлять сразу всеми операциями, использующими конкретную родительскую группу, путем модификации объектов этой группы. Родительские группы определяются для 4 категорий: **Программа, Инструмент, Геометрия, Метод.**

Для задач обработки используется специальная система координат – **Система координат станка (СКС).**

В проекте должна быть хотя бы одна СКС, она должна быть установлена в характерную точку детали/заготовки, чтобы оператор мог использовать эту точку для привязки программы

к детали. Для этой точки в программировании обработки используется термин «Нулевая точка программы».

Еще один важный объект обработки задается в группе MSC\_MILL – **Плоскость безопасности.** Это уровень, на котором разрешены ускоренные горизонтальные перемещения. Обычно он задается выше детали и элементов оснастки.

имеется возможность вызова инструмента из библиотеки, эта возможность будет рассмотрена в главе 8. Появится еще одно диалоговое окно, где задается геометрия инструмента (рис. 1.29).

В нем имеются 4 вкладки, основные параметры фрезы задаются на вкладке **Инструмент**, активной по умолчанию.

Эскиз инструмента содержит параметры, обозначенные буквами, поля ввода параметров тоже снабжены этими же буквами, таким образом, назначение параметров очень наглядно.

**Создания или редактирования операций обработки.** Операции бывают разного типа и используют разные родительские группы. На это обратим внимание при рассмотрении конкретных операций. Операции с конкретными параметрами можно сохранить в проекте, не генерируя их. Это полезно, если процесс генерации операций занимает значительное время.

**Генерирование траекторий** вынесено в отдельный этап, причем оно может осуществляться сразу для группы операций.

**Проверка траекторий** необходима для того, чтобы выявить возможные проблемы, например зарезы или столкновения инструмента с оснасткой. В NX CAM имеется несколько инструментов проверки траекторий, в том числе и симуляция работы станка, осуществляемая в кодах управляющей программы.

До этапа постпроцессирования траектории не зависят от конкретного станка. Для того чтобы траектория была отработана станком, она должна быть

**Постпроцессирована** (или преобразована в формат конкретного станка). Именно на этом этапе получается управляющая программа (УП), причем одна УП может включать несколько траекторий, созданных различными операциями. Однако постпроцессор неправильно рассматривать как простой конвертор, он может выполнять дополнительные проверки, вычисления, может анализировать некоторые условия и в зависимости от этого модифицировать выводимую информацию.

Вместе с управляющей программой в цех обычно передается **Цеховая документация**. Обычно это карта наладки с указанием нулевой точки программы, порядка операций и различной атрибутивной информации (разработчик, дата, код детали, время обработки и т. д.), она также может включать список инструментов с указанием номеров ячеек магазина, что необходимо для правильной наладки станка.

### **3. Принципы разработки управляющих программ (УП) в условиях автоматизированного проектирования**

Основным способом автоматизации обработки малых партий деталей со сложной формой является обработка на станках с ЧПУ. Один из факторов влияющих на эффективность использования оборудования – разработка и отладка УП. В настоящее время для разработки УП используют специализированное программное обеспечение – CAD/CAM системы. Структурно подготовка УП состоит из следующих этапов (рис. 6.1.). В CAD системе создаются математические модели детали и заготовки, далее модели передаются из CAD системы (модуля) в CAM систему (модуль). В CAM системе разрабатывается и проверяется на отсутствие зарезов заготовки при реализации УП. Генерация траекторий движения режущего инструмента ведется на основе построенной в CAD системе геометрии детали по выбранной стратегии обработки при учете заданных ограничений: прижимные устройства, зона действия станка и т.д. Затем в постпроцессоре УП переводится в коды станка, на котором будет производиться обработка и программа передается непосредственно в станок. Это особенно важно, так как одну и ту же программу можно использовать для различных станков.

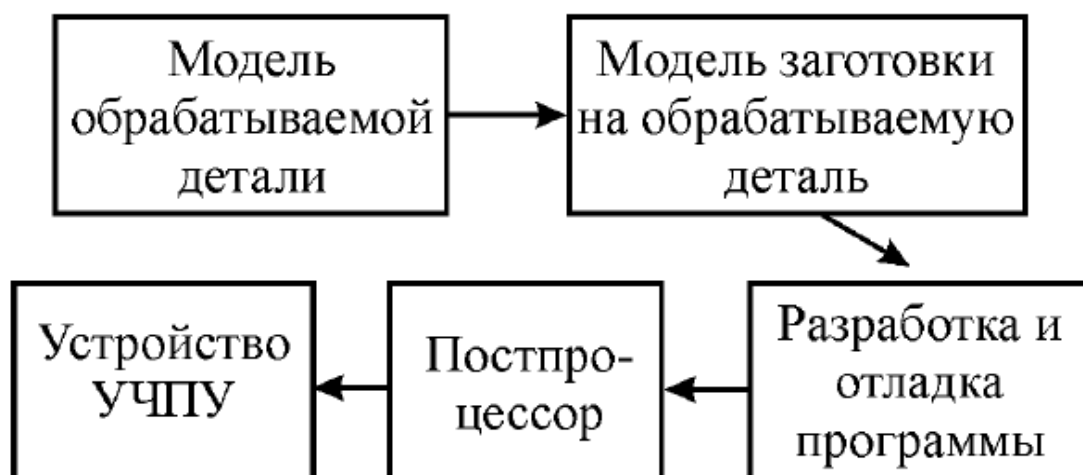


Рис. 3. Схема подготовки УП

При программировании выделяются не только типы ЧПУ, но и число одновременно управляемых координат различают 2-х, 3-х; 4-х; 5-ти координатные станки. Принято отличать 2,5 координатную обработку – когда одновременно могут работать (управляться) только две координаты, а третья (врезание фрезы) хотя и присутствует, но работает только тогда, когда два других привода бездействуют.

#### 4. Достоинства и недостатки внедрения станков с ЧПУ

Внедрение оборудования с ЧПУ в производственную практику всегда было и остается неоднозначным процессом с точки зрения экономики. Для принятия решения о необходимости применения такого оборудования следует рассмотреть преимущества и недостатки ЧПУ (табл. 1).

## 1. Достоинства и недостатки внедрения ЧПУ на производстве

Достоинства	Недостатки
<p>Сокращение времени простоя. Внедрение ЧПУ не оказывает принципиального влияния на процесс обработки, но обеспечивает меньшее время установки, автоматическую смену инструмента, часто – автоматизацию загрузки и транспортировки деталей и заготовок. В среднем общее время операции на станке с ЧПУ составляет от 35% (обрабатывающие центры) до 65% (штамповка) от времени выполнения этой же операции на обычном станке</p>	<p>Повышенная стоимость обслуживания. Оборудование с ЧПУ в целом менее надежно, чем обычное. Сложность конструкции требует повышенной квалификации обслуживающего персонала. В итоге стоимость обслуживания возрастает на величину от 48% (фрезерные станки) до 63% (обрабатывающие центры)</p>
<p>Сокращение расходов на оснастку. Оборудование с ЧПУ многие виды оснастки вообще не требуются. Например, кондукторы сверлильных станков не используются на станках с ЧПУ – положение сверла задается УП.</p>	<p>Затраты на переподготовку персонала. Внедрение оборудования с ЧПУ требует наличия на предприятии программистов и наладчиков соответствующей квалификации.</p>
<p>Повышение оперативности выполнения производственного задания. Несмотря на дополнительные затраты времени по подготовке УП, время выполнения заказа на оборудовании с ЧПУ сокращается на 26...44%</p>	<p>Высокая начальная стоимость. Станок с СПУ стоит в несколько раз больше, чем обычный. Для окупаемости затрат необходима его интенсивная эксплуатация в 2 или 3 смены, что не всегда возможно.</p>
<p>Повышение гибкости производства. Снижается стоимость переналадки на выпуск новых изделий.</p>	
<p>Повышение качества обработки. Станок с ЧПУ способен по программе изготовить очень сложную деталь, при изготовлении которой вручную высока вероятность внесения ошибок.</p>	

<p>Тщательная подготовка УП приводит к оптимизации процесса резания. Кроме того, встроенные средства контроля в адаптивных системах с ЧПУ позволяют вообще не проводить дополнительные измерения готовой продукции, что приводит к снижению себестоимости изделия на 20..30%.</p>	
<p>Меньшая площадь, занимаемая в цехе. Поскольку оборудование с ЧПУ, как правило, многофункционально, и заменяет собой несколько обычных станков, сокращается занимаемое место, расходы на отопление, освещение и т.д.</p>	

Подводя итог, отметим в каких случаях применение оборудования с ЧПУ оправдано. Можно выделить следующие ситуации:

- мелкосерийное производство с часто сменяемыми программами выпуска. Большую часть всего промышленного производства составляет мелкосерийное производство с объемом партии в 50 единиц и менее, Выпуск мерительного инструмента;
- сложная геометрия детали. Некоторые детали вообще могут быть качественно получены только на станках с ЧПУ, копиры автоматических роторных линий имеют сложный синусоидальный профиль для обеспечения плавности движения роликов. Изготовить такую деталь на обычном фрезерном станке практически невозможно;
- необходимость выполнения многих операций над заготовкой. Многофункциональность станков с ЧПУ, особенно обрабатывающих центров, позволяет производить обработку с одного станова, что повышает точность и устраняет потери времени на загрузку и транспортировку, изготовление корпусной детали требует расточки с высокой точностью ряда отверстий, являющихся посадочными диаметрами подшипников. Наиболее подходящее оборудование для этого – обрабатывающий центр;
- необходимость удаления большого объема материала. Если геометрия заготовки или свойства материала требуют многопроходной обработки, то такая обработка

гораздо эффективнее выполняется на оборудовании с ЧПУ, инструментальное производство; обработка бронеплит в военном производстве;

– высокая вероятность внесения изменений в конструкцию. Стоимость разработки новой программы для станка с ЧПУ на порядок меньше стоимости переналадки, изготовления приспособлений, обучения персонала при работе на обычном станке, экспериментальное производство, выпуск ряда прототипов изделия;

– высокие требования к точности обработки (узкие поля допусков). Станки с ЧПУ обеспечивают более высокую точность, чем обычные, что связано как с иной конструкцией приводов подач, так и с наличием средств адаптивного контроля. Кроме того, обеспечивается стабильный выпуск партии прецизионных деталей, выпуск сверхточных научных приборов, средств измерения;

– высокая стоимость детали. Иногда стоимость заготовки ввиду ее размеров или особого материала очень высока, поэтому требуется гарантировать недопущение неисправимого брака, что можно сделать только на оборудовании с ЧПУ (изготовление зубчатого венца шестерни поворота стрелы шагающего экскаватора 15м в диаметре);

– необходимость 100% контроля деталей. В ряде производств (авиация, космос) требования безопасности предполагают полное исключение брака. Поэтому выполняется 100% контроль всей продукции. Оборудование же с ЧПУ выполняет такой контроль автоматически, в ходе обработки (лопатки турбин реактивного двигателя).

Обоснованному принятию решения о необходимости применения оборудования с ЧПУ также помогают прогнозы роста производительности.

Производительность автоматизированного оборудования оценивается зависимостью:

$$Q = K_{np} \frac{1}{K_{np} \cdot t_x + 1} = K_{np} \cdot \eta$$

где:  $t_p$  – время рабочих ходов;  
 $t_x$  – время холостых ходов;

$$K_{np} = \frac{1}{t_p}$$

$$\eta = \frac{Q}{K_{np}} = \frac{t_p}{T}$$

$T$  – полное время обработки на станке одной детали.

На графике (рис. 4) отображена производительность различного автоматизированного оборудования.

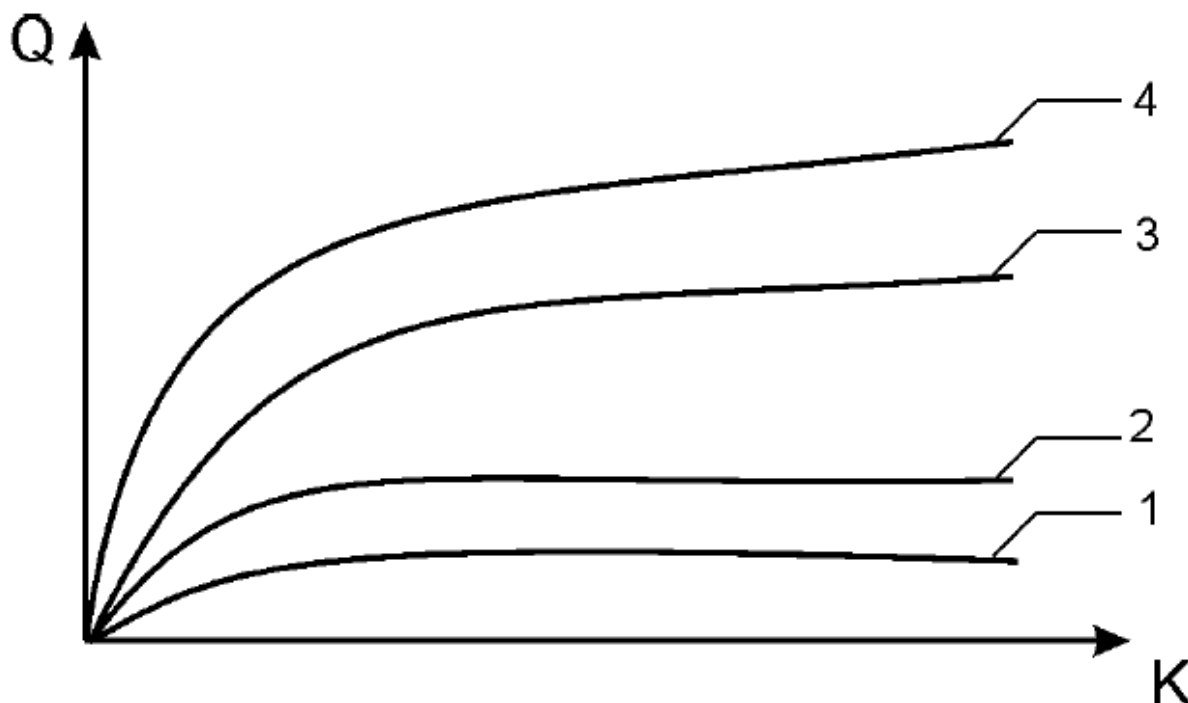


Рис. 4. Производительность автоматизированного оборудования: 1 – станки с ЧПУ на базе модернизированных универсальных; 2 – обычные станки с ЧПУ; 3 – многооперационные станки (обрабатывающие центры); 4 – автоматизированные линии из станков с ЧПУ

Сокращение времени рабочих ходов соответствует перемещению по оси абсцисс, а сокращение времени холостых ходов – перемещению по оси ординат. Нетрудно видеть, что любое автоматизированное оборудование имеет некоторый предел роста



производительности, после чего кривая идет горизонтально – рост производительности оборудования прекращается.

Из приведенного графика следует, что переход на оборудование, имеющее более высокую степень автоматизации, следует производить лишь при достижении текущим оборудованием отметки прекращения роста производительности.

Итак, рассмотрены наиболее важные аспекты применения автоматизированных станочных систем на производстве и выделены основные критерии перевода производства на оборудование с числовым программным управлением.

## **5. Стратегии обработки**

Под стратегией (схемой удаления припуска) обработки на станках с ЧПУ принято понимать правила формирования траектории режущего инструмента в процессе удаления технологического напуска. Каждая система автоматизированной подготовки производства имеет различное количество стратегий обработки, большинство из которых являются узкоспециализированными и применяются при обработке только одного вида поверхностей. На рис. 5 показаны типовые схемы переходов токарной обработки основных поверхностей.

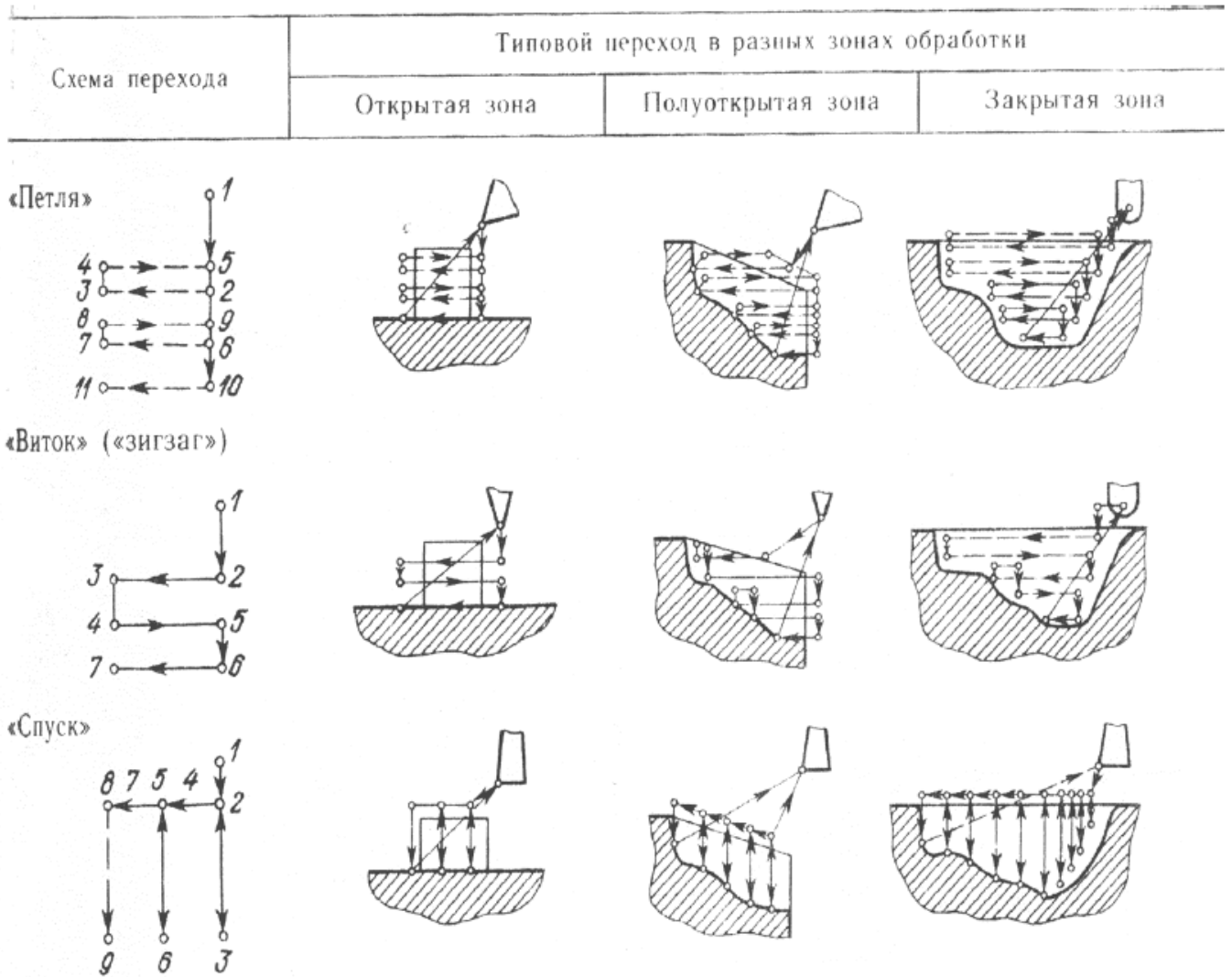


Рис. 5. Стратегии черновой токарной обработки

Схема «петля» характеризуется тем, что по окончании рабочего хода инструмент отводится на небольшое расстояние (около 0,5 мм) от обработанной поверхности и возвращается во время вспомогательного хода назад. Эту схему наиболее часто применяют при обработке открытых и полуоткрытых зон. Разновидность ее может быть использована также при обработке деталей типа ступенчатых валиков методом «от упора». Схема «виток» («зигзаг») предусматривает работу инструмента на прямой и обратной подаче и может быть реализована в зонах обработки всех видов. Схема «спуск» характерна тем, что припуск снимается при радиальном перемещении резца. Наиболее часто эту схему используют при черновых переходах для закрытых зон. Кроме перечисленных стратегий при чистовой токарной обработке используют стратегии, которые на последнем проходе обходят контур, подбирая оставшиеся неровности. Рассмотрим стратегии, наиболее часто применяющиеся для черновой фрезерной 2,5

координатной обработки (рис. 6). Пример траекторий, формируемых этими стратегиями на рис. первое название (на английском языке) – внутреннее название стратегии в системе Pro/ENGINEER, второе – русскоязычный аналог, применяемый в отечественных САМ системах.

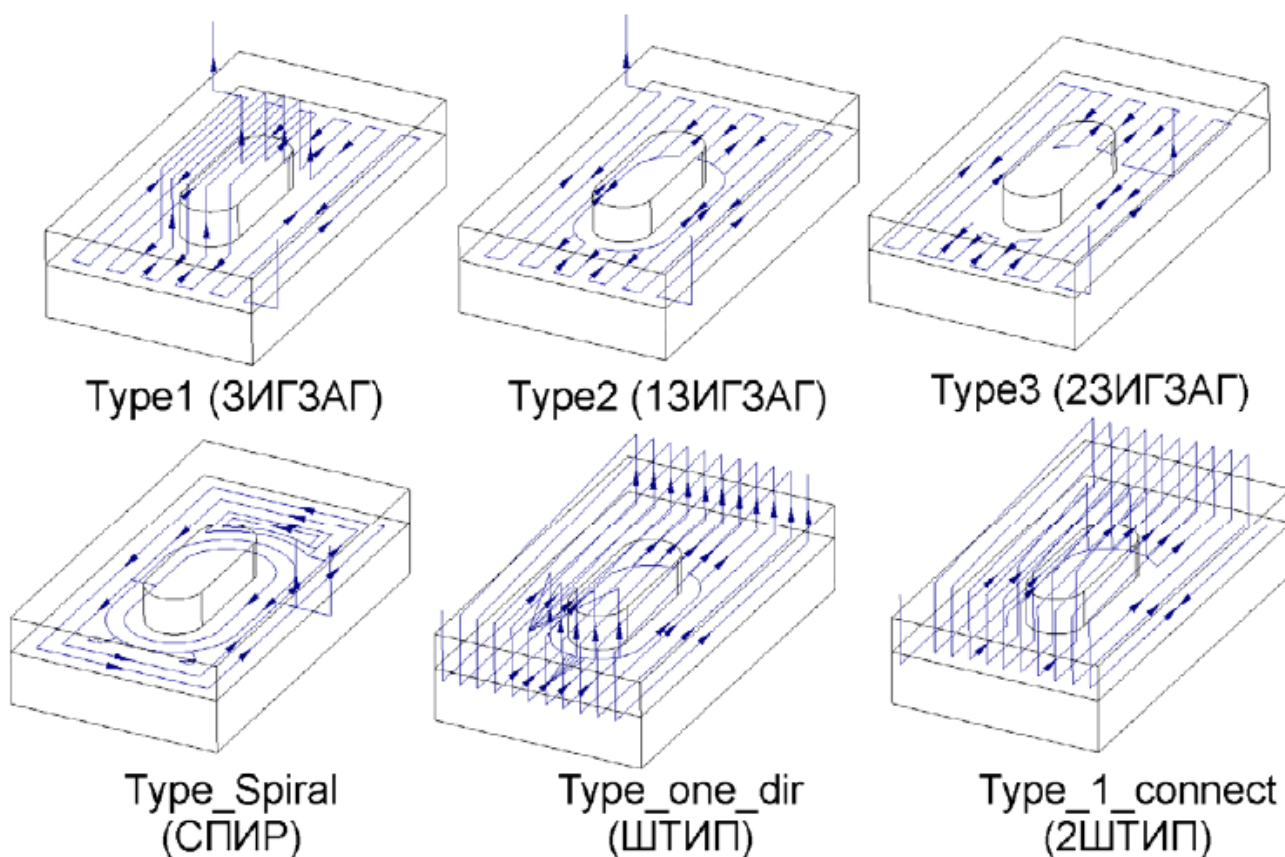


Рис. 6. Основные стратегии черновой фрезерной обработки

TYPE\_1 – инструмент последовательно выбирает массив. Встречая острова, он поднимается в плоскость отвода.

TYPE\_2 – инструмент последовательно выбирает массив, не поднимаясь в плоскость отвода. Встречая острова он обходит вокруг них.

TYPE\_3 – инструмент удаляет материал из непрерывных зон, определяемых геометрией островов (обрабатывает эти зоны по порядку и с обходом островов). Завершив обработку одной зоны, инструмент отводится (если необходимо) и переходит к обработке следующей зоны.

TYPE \_SPIRAL – инструмент формирует траекторию резания по спирали с огибанием по спирали всех препятствий.

TYPE\_ONE\_DIR – инструмент режет только в одном направлении. В конце каждого режущего прохода он отводится и переходит на противоположную сторону заготовки, чтобы начать следующий проход в том же направлении. Способ обхода островов тот же самый, что и для TYPE\_1.

TYPE\_1\_CONNECT – инструмент режет только в одном направлении. В конце каждого режущего прохода он отводится в начальную точку прохода, опускается (врезается) и затем перемещается в начало следующего прохода. Если в начале режущих проходов имеется смежная стенка, то инструмент движется вдоль контура этой стенки для избежания зареза.

После черновой обработки остаются макронеровности в виде ступенек (рис. 7), которые подлежат удалению на операции чистового фрезерования.

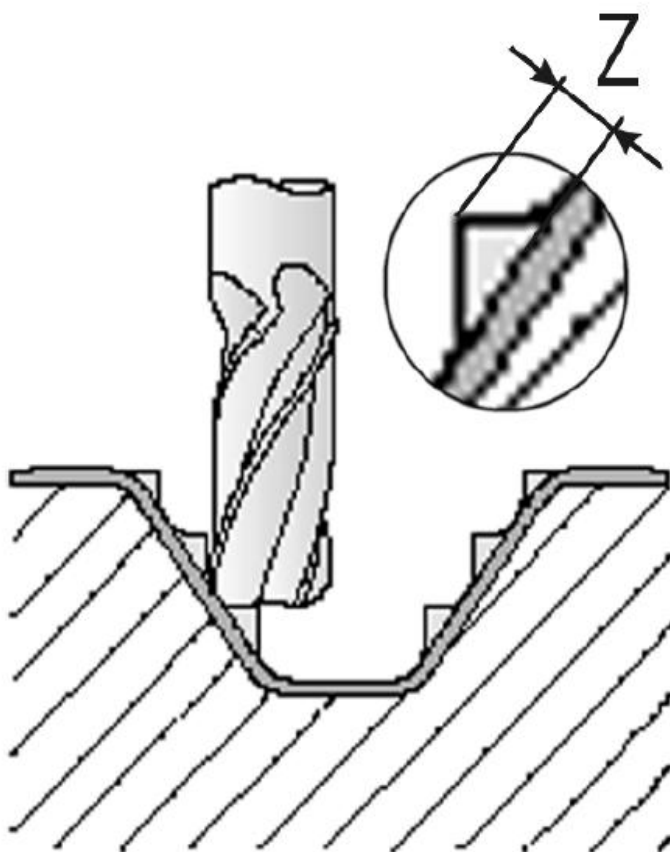


Рис. 7. Формирование макронеровностей при черновом фрезеровании

Зигзагообразный метод является в настоящее время наиболее распространенным, хотя и обладает определенными недостатками. Основной недостаток этого метода заключается в переменном характере фрезерования: если вдоль одной строки инструмент работает по подаче, то вдоль следующей он будет работать против подачи. Аналогичная картина наблюдается и при переходе от одной

строки к другой вдоль границы. Все это приводит к изменениям сил резания и отрицательно сказывается на точности и чистоте обработки. Вместе с тем следует отметить, что в тех случаях, когда расстояние между соседними строками, определяющее глубину фрезерования, незначительно отличается от диаметра инструмента, то и изменение сил резания невелико. Другим недостатком зигзагообразной схемы является повышенное число изломов на траектории инструмента. Это также отрицательно сказывается на динамике резания и приводит во многих случаях к увеличению времени обработки в связи с необходимостью выполнения операций по разгону-торможению, которые обуславливаются динамикой приводов подачи станка с ЧПУ.

Предварительная прорезка границ обеспечивает симметричные условия резания для инструмента в процессе выполнения этого прохода, а также облегчает условия работы инструмента при последующей обработке в начале и в конце каждой строки. Однако условия работы инструмента при предварительной прорезке границ тяжелые, так как он работает на полную глубину. Последующая зачистка границ облегчает условия работы инструмента, однако ухудшает динамику обработки, поскольку инструмент работает в условиях переменной глубины резания. По этой причине при использовании разновидности 1ЗИГЗАГ, вдоль границы должен оставаться припуск под последующую обработку.

Спиралевидная схема выгодно отличается от зигзагообразной более плавным характером обработки. Она обеспечивает неизменный характер фрезерования (по или против подачи) и не дает дополнительных (кроме имеющих на контуре) изломов траектории. Спиралевидная схема имеет две основные разновидности, одна из которых характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (рис. 5.2, схема СПИР), а другая – наоборот, от границы области к ее центру (схема АСПИР).

При использовании этой стратегии следует иметь в виду, что при обработке колодцев с тонким дном на деталях из легких сплавов возможен подрыв дна в конце обработки при схеме от периферии к центру. Для того, чтобы обеспечить необходимый характер фрезерования при использовании правого и левого направлений вращения шпинделя станка, каждая из описанных разновидностей спиралевидной схемы имеет два типа: с движением инструмента в направлении по или против часовой стрелки при наблюдении со стороны шпинделя (обозначается соответственно ЧС и ПЧС).

Выдержать одинаковый характер фрезерования можно также с помощью схемы Ш-образного типа. При этой схеме инструмент после выполнения прохода вдоль строки отводится на небольшое расстояние от обработанной поверхности и на

ускоренном ходу возвращается назад. Ш-образная схема может иметь такие же разновидности (ШТИП, 1ШТИП, 2ШТИП), как и зигзагообразная. Существенным недостатком этой схемы является большое число вспомогательных ходов.

Отдельно следует рассмотреть программирование врезания инструмента в металл. Дадим самое общее описание этого аспекта написания УП. Наиболее простым способом является врезание с использованием подачи вдоль оси инструмента. Однако этот метод неприемлем для фрез, имеющих технологические центровые отверстия. Для остальных типов фрез он также неэффективен, поскольку фрезы плохо работают на засверливание. Использовать этот метод наиболее удобно при предварительной обработке места врезания сверлом (схема ЗАСВ). Наиболее технологичным способом является врезание при движении инструмента вдоль одной из строк с постепенным его снижением (СПУСК). На чистовой операции наиболее часто используют цилиндрические и сферические (шаровые) концевые фрезы (рис. 8). Задача чистовой обработки состоит в подборке оставшегося после черновой обработки материала и получения поверхности с заданными геометрическими параметрами.

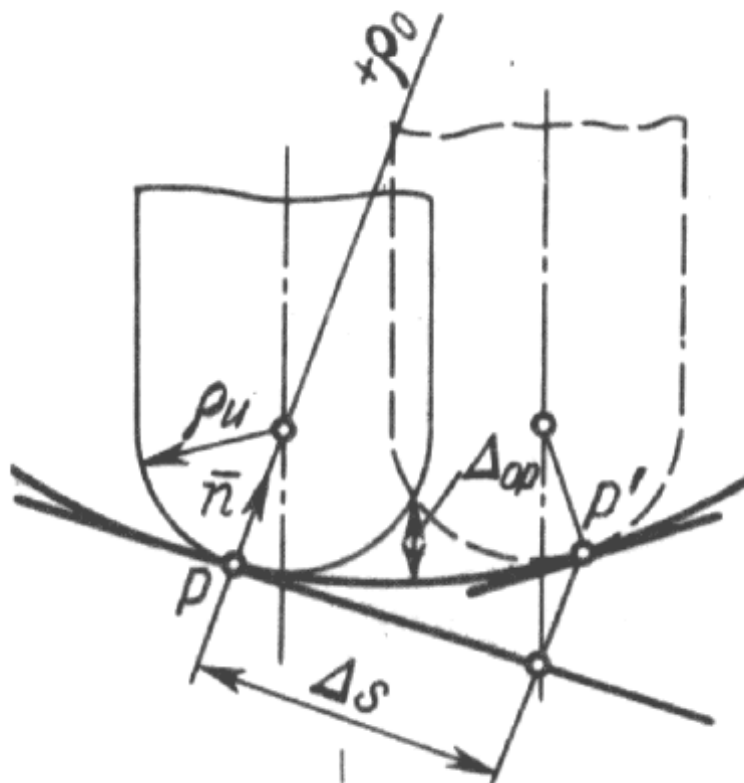


Рис. 8. Схема чистовой обработки сферической фрезой

При чистовой обработке применяются стратегии с резанием вдоль макронеровностей, оставшихся после черновой обработки (рис. 6.5), поперек, под

углом. Как правило, обработка ведется по эквидистантам к поверхностям детали. Чистовая обработка фасонных деталей ведется на 3-х – 5-и координатных станках.

## **6. Параметры выбора CAD/CAM системы для предприятия**

Выбор CAD/CAM системы для автоматизации подготовки производства является нетривиальной задачей. Сложно давать однозначные рекомендации. Как показывает практика система пошедшая «на ура» на одном предприятии оказывается убыточной и непригодной на другом заводе этой же отрасли. В данной главе мы рассмотрим наиболее важные параметры, которые следует учитывать при выборе системы САПР для предприятия. Когда возникает вопрос о выборе системы САПР, для конкретного предприятия, следует, прежде всего, определить существующие проблемы, которые предполагается при помощи этой системы решить, и задачи которые на нее предполагается возложить. Выбор системы автоматизированной подготовки производства следует производить, прежде всего, исходя из требований к системе по функциональности. Часть перечисленных требований взята из работ.

**Во-первых**, необходимо определить количество деталей и узлов, входящих в проектируемые объекты. Если их число превышает 2... 2,5 тысячи, то следует остановить свой выбор на системах верхнего уровня, так как только эти системы позволяют эффективно оперировать с таким числом элементов.

**Во-вторых**, следует определить, имеются ли детали, использующие такие технологические методы как: листовой раскрой, штамповка, прокладка электрических кабелей, сварка, прокладка трубопроводов, литье металлов или пластмасс, композитные материалы.

**В-третьих**, при компьютерном проектировании широко используются следующие методы геометрического анализа: расчет пространственных размерных схем, оптимизация объектов, поведенческое моделирование. В основном такими возможностями обладают системы верхнего уровня. Некоторые системы среднего уровня имеют модули партнеров-производителей выполняющих те же функции, но при такой схеме нарушается принцип сквозного проектирования.

**В-четвертых**, отдельно следует рассматривать взаимодействие выбранной системы с прочими системами CAD/CAM системами. Отдельно следует учитывать взаимодействие с такими ведущими системами как: CATIA, NX, Pro/ENGINEER. Важным это является потому, что когда над одним проектом работает несколько предприятий важно передать геометрические данные между системами без потерь. Также на практике возникает потребность передать модель из CAD системы в CAM,

САЕ систему от другого производителя. Как правило, системы, выполненные на одном ядре, не имеют проблем с передачей данных. Широкое распространение имеет ядро Parasolid. Наиболее универсальными межплатформенными форматами являются IGES, STEP.

**В-пятых**, следует оценивать возможность работы с деталями, имеющими сложную геометрию, производить оценку качества получаемых поверхностей. Широкое применение такие поверхности получили в авиастроении, автомобилестроении, энергетическом и химическом машиностроении. Без применения таких поверхностей невозможно реализовать многие дизайнерские идеи при производстве товаров народного потребления. Системы среднего уровня лишены инструментария для работы с поверхностями такого класса.

**В-шестых**, следует рассмотреть экономическую эффективность от внедрения выбранной системы. Предлагается оценивать ее по следующей формуле:

$$E_i = E_t + E_n + E_k + E_z + E_u,$$

где  $E_t$  – выгода от сокращения срока на внедрение продукта;

$E_n$  – выгода, получаемая от выпуска новых изделий, которые не были ранее доступны из-за технической сложности (сложные детали штампов и пресс-форм);

$E_k$  – выгода от повышения качества изделий и отсутствия доработок изделий;

$E_z$  – разность между заработной платой старого и нового штата работников;

$E_u$  – полученная или планируемая выгода, которая не вошла в перечисленные выше пункты.

Срок окупаемости можно оценить по следующему выражению:

$$P + Pc + \sum_{i=2}^n P_i - \sum_{i=1}^n E_i \leq 0$$

где  $P$  – стоимость лицензии на программный продукт на год;

$Pc$  – стоимость аппаратного обеспечения;

$P_i$  – стоимость продления лицензии на год;



$E_i$  – годовая эффективность от внедрения системы.

Воспользовавшись представленными выше формулами можно оценить: срок окупаемости капиталовложений в САПР, величину капиталовложений, рассмотреть целесообразность приобретения САПР.

**В-седьмых**, многие аналитики рынка САПР предлагают оценивать финансовое состояние производителя CAD/CAM системы и оценивать перспективы стратегического партнерства. Проследив динамику финансового состояния фирмы, количества уже проданных лицензий, областей машиностроения в которых количество лицензий преобладает, можно сделать вывод о надежности и перспективах приобретения данной САПР.

Отдельно должны быть выделены проблемы, относящиеся к внедрению системы. Следует учитывать требования программного продукта к производительности персонального компьютера. Исходя из требования самой системы и предполагаемых для решения задач, следует приобретать аппаратное обеспечение для отдела САПР. Кроме того, следует уделить внимание обучению и поиску специалистов. Немногие вузы страны дают систематические знания в области САПР и навыки по работе с автоматизированными системами высокого и среднего уровней. Следует заранее продумать о подготовке соответствующих специалистов и их обучению, поскольку большая часть несостоявшихся внедрений CAD/CAM систем связана с человеческим фактором.

Подводя итог, отметим основные проблемы, возникающие при внедрении CAD/CAM/CAE систем на производстве:

- отсутствие специалистов для работы с САПР;
- отсутствие мест постоянной подготовки специалистов по САПР;
- сложность выбора наиболее эффективной для предприятия системы;
- высокая стоимость этих систем;
- большие затраты на приобретение компьютерной техники;
- несоответствие технологического оборудования задачам сквозного проектирования. Например, станки с устаревшим ЧПУ или не имеющие его.

## **7. PDM-система**

Для реализации PDM-технологии существуют специализированные программные средства, называемые PDM-системами.

PDM-системы, т.е. системы управления данными об изделии, представляют собой новое поколение компьютерных средств для управления всеми связанными с изделием данными и информационными процессами ЖЦ.

Среди задач PDM-системы можно выделить две основные:

- PDM-система как рабочая среда пользователя;
- PDM-система как средство интеграции данных на протяжении всего ЖЦ изделия.

### **7.2. PDM-система как рабочая среда каждого сотрудника предприятия**

Основной задачей PDM-системы как рабочей среды сотрудника предприятия является обеспечение доступности для этого сотрудника нужной ему информации в нужное время в нужной форме.

Это означает, что сотрудник предприятия в процессе своей работы должен постоянно находиться в PDM-системе, а система, в свою очередь, обеспечивать абсолютно все потребности сотрудника, начиная от просмотра спецификации узла и кончая изменением твердотельной модели детали или утверждением измененной детали начальником.

PDM-система улучшает коммуникации и взаимодействие между различными группами сотрудников и формирует на предприятии основу для реорганизации процесса проектирования и производства изделия и внедрения новаций, типа параллельного проектирования и междисциплинарных рабочих групп (такие группы включают специалистов в различных предметных областях, и совместная работа этих специалистов значительно повышает качество проекта изделия, например, технологи могут начинать изучение конструкции изделия и высказывание своих предложений по ней задолго до того, как изделие формально будет передано на технологическую подготовку).

Рабочая среда сотрудника содержит следующие функции PDM-системы:

- управление хранением данных и документов;
- управление процессами;
- управление структурой изделия;
- классификация;
- календарное планирование и др.

### **7.3. Управление хранением данных и документов**

В идеальном варианте, документы в PDM-системе являются электронными документами, т.е. снабжены электронной подписью и имеют юридическую силу.

Основным *принципом* хранения данных в PDM-системе является то, что *любые данные хранятся только один раз* (без логической избыточности) в защищенной системе, называемой хранилищем данных. Копии эталонных данных из хранилища могут свободно распространяться среди пользователей в различных отделах для разработки, анализа или утверждения. По окончании этих процессов новые данные снова заносятся в хранилище.

При *проведении изменения* данных, новая их редакция, сопровождаемая подписью и датой, помещается в хранилище и существует там наряду со старой редакцией данных, которая в любом случае остается в хранилище в своей первоначальной форме. Хранилище данных обеспечивает целостность данных, авторизацию доступа, поиск информации, а также архивирование, резервное копирование и восстановление данных.

*Целостность данных* в хранилище обеспечивается за счет того, что если между какими-либо данными существует фактическая взаимосвязь, эта взаимосвязь может быть отображена в электронной модели изделия.

Так, при наличии *твердотельной модели детали или сборки*, значительная часть остальной информации (результаты анализа, технология производства, модель оснастки и т.п.) создается на ее основе и связана с исходной моделью. Причем в случае изменения эталонной твердотельной модели, происходит автоматическое обновление результатов анализа, технологии производства, модели оснастки и т.д., либо, если это по каким-либо причинам невозможно, оповещение соответствующих сотрудников о необходимости привести производные данные в соответствие с изменившимися исходными данными.

При управлении доступом к данным в хранилище, PDM-система должна осуществлять *авторизацию* этого *доступа*. Помимо процедур *идентификации и аутентификации* пользователя, входящего в систему, существует два направления авторизации доступа: *по правам пользователей и по статусу данных*.

В первом случае каждому пользователю в зависимости от его статуса в организации (главный конструктор, технолог, нормоконтролер) присваиваются *определенные права*, состоящие в возможности выполнения определенных операций над данными (просмотра, изменения, утверждения и т.п.). Кроме того, могут быть образованы группы пользователей, и права могут быть присвоены целой группе.

Во втором случае, любым данным в хранилище присваивается *некоторый статус*, который может определять как набор операций, которые можно над этими данными выполнить (например, только просмотр), так и пользователей и групп пользователей, которые могут эти операции выполнять. Обычно в системах применяется комбинация из этих двух направлений.

PDM-система обеспечивает поиск:

*по значениям свойств* (например, поиск изделий с заданными идентификаторами или характеристиками),  
*по хранящимся в системе документам*,  
*по расположению геометрических объектов* твердотельной модели изделия.

#### **7.4. Управление процессами**

Среди функций управления процессами можно выделить три основные группы:

- управление работой. Эти функции касаются того, что происходит с данными, когда кто-либо над ними работает; - управление потоком работ. Эти функции управляют передачей данных между людьми;

- протоколирование работы. Эти функции отслеживают все события и действия, которые происходят при выполнении первых двух групп функций в течение всей истории проекта.

##### **7.4.1. Управление работой**

Любой сотрудник предприятия (например, конструктор) работает и создает новую информацию в одной или нескольких прикладных системах (в данном случае - САПР).

PDM-система:

- отслеживает и берет под свой контроль все новые или измененные данные, как только они были созданы.

- обеспечивает возможность одновременного доступа к некоторому объекту сразу нескольких сотрудников предприятия.

- позволяет изменять некоторый объект или документ только какому-нибудь одному сотруднику (так как перед тем, как изменить объект или документ, сотрудник обязан «взять» его на редактирование, что блокирует объект или документ от изменения любым другим пользователем системы). При этом исходная версия данного объекта или документа остается доступной всем авторизованным сотрудникам для чтения.

- позволяет организовать одновременный просмотр объекта или документа сразу несколькими сотрудниками и обеспечить таким образом их совместную работу над проектом.

- обеспечивает оповещение всех заинтересованных сотрудников об изменении объекта или документа, а также немедленно предоставляет им обновленную версию объекта или документа в их собственных папках.

##### **7.4.2. Управление потоком работ**

В течение разработки изделия возникает потребность сотрудников в постоянной взаимной проверке, модификации, перепроверке и т.п. В результате для проекта в целом бывает очень сложно определить, кто чем должен заниматься в дальнейшем и, самое главное, какие данные он должен для этого использовать.

PDM-система с помощью заложенных в нее правил анализирует уже сделанную работу и на основе этого анализа определяет, какой сотрудник, какую работу должен дальше выполнять, а также предоставлять данные сотруднику для выполнения этой работы. Кроме того, в функции PDM-системы входит оповещение сотрудников о необходимости выполнения ими той или иной работы.

В PDM-системе строится модель потока работ, т.е. модель движения папки с данными между сотрудниками, называемая еще маршрутом движения папки.

В общем случае, одна папка представляет одну задачу или работу в проекте по разработке изделия, который может содержать тысячи таких задач. Каждая папка имеет свой маршрут движения в системе, однако необходимо также отслеживать и взаимосвязи между папками (задачами).

PDM-система может позволить задать ограничение, при котором конструктор не может утверждать сборку до того, как будут утверждены все входящие в нее компоненты.

Результатом упорядочивания потока работ в проекте является повышение его прозрачности и управляемости *для руководителя*. PDM-система дает возможность посмотреть, кто что сделал, делает или должен сделать, оценить весь поток работ на наличие узких мест, определить причину задержки при выполнении проекта и т.д.

#### **7.4.3. Протоколирование работы**

PDM-системы по-разному протоколируют работу.

А) записывают изменения собственности данных.

Таким образом, может быть прослежена история смены собственника данных, но не изменение самих данных.

Б) хранят изменения данных, но делают это с помощью серии моментальных снимков данных, сделанных при изменении данными своего состояния.

Это все равно оставляет серьезные пробелы в истории работы, т.к. пользователь мог проводить изменения данных в течение не-скольких недель без изменения их состояния.

В) хранят архивные записи, похожие на двигающуюся картин-ку, т.к. они могут записывать изменения на любом заданном уровне, например, каждый раз, когда пользователь сохраняет файл в прикладной системе.

Этот уровень протоколирования изменений также позволяет отслеживать производительность отдельных сотрудников, что является особенно ценным при требовательных ко времени проектах.

#### **7.5. Управление составом изделия**

PDM-система хранит информацию о входящих в состав изделия, компонентах, а также об исполнениях и конфигурациях изделия. Это позволит пользователю организовать просмотр полной спецификации изделия, включая детали и документы, как для целого изделия, так и для любой из выбранных сборок, а также

предоставляет возможность редактирования состава изделия (обычно с применением графического интерфейса, моделирующего конструкторский граф).

В качестве отношений между компонентами могут выступать не только их физическая связь в изделии типа сборка-деталь, но и другие типы структур, например, технологическая, финансовая, эксплуатационная, маркетинговая и иные структуры изделия.

### **7.6. Классификация**

Одно из направлений проектирования (или конструирования) - собрать новое изделие из уже спроектированных ранее компонентов (может быть, лишь слегка изменив их).

Методом решения этой проблемы является классификация хранящихся в PDM-системе компонентов изделия (в том числе, стандартных деталей).

Чем больше количество деталей в выпускаемом предприятием изделии, тем выше потребность предприятия в функциях классификации. Они позволяют значительно упростить поиск изделий, отвечающих определенным характеристикам (или стандартных деталей).

Помимо классификации компонентов изделия, PDM-система позволяет классифицировать и другие хранящиеся в ней объекты, например, документы, содержащие данные об изделиях.

Примерами классов документов могут быть: «чертежи», «трех-мерные модели», «технические публикации» и т.п. Каждый документ может иметь свой набор атрибутов - номер, автор, дата, версия и т.п.

### **7.7. Календарное планирование**

Эти функции включают управление структурой работ проекта по созданию изделия, предполагающей разбиение всего проекта на совокупность задач.

Структура работ проекта может быть сгенерирована на основе конструкторской структуры изделия.

Кроме того, PDM-система должна предоставлять возможность задания взаимосвязей между различными задачами, распределения имеющихся ресурсов по задачам, а также отслеживания хода выполнения отдельных задач и проекта в целом и выявления аномалий.

### **7.8. Вспомогательные функции**

PDM-системы должны обладать вспомогательными функция-ми, которые обеспечивают работу PDM-системы, ее взаимодействие с другими прикладными системами и с пользователями, а также пользователей системы между собой.

Вспомогательными функциями PDM-системы являются:

- коммуникационные функции.
- функции транспортировки данных.
- функции трансляции данных.

- функции обработки изображений.
- функции администрирования (управления самой PDM-системой, управления системой безопасности, настройки системы, мониторинга ее функционирования и т.п.).

### **7.9. Принципы реализации PDM-систем**

1. В основе хранилища данных каждой PDM-системы лежит какая-либо коммерческая СУБД (система управления базами данных).

Основными игроками в этой области являются производители реляционных (или, объектно-реляционных) СУБД: Oracle, IBM (продукт DB/2), Informix, Microsoft (продукт SQL Server), Sybase; объектных СУБД: Objectivity, CA Jasmine и других.

2. Поддержка стандартных форматов для обмена данными между системами, в первую очередь, ISO 10303 STEP, а также: IGES, CGM, DXF и т.п.

3. Поддержка различных компьютерных платформ.

Если первые PDM-системы функционировали, в основном, под управлением ОС UNIX и VAX, то сейчас производители стараются ориентироваться и на более распространенные платформы Microsoft, в частности, Windows NT, а также на платформу Macintosh.

4. Поддержка графического интерфейса пользователем. Сейчас подавляющее большинство производителей PDM-систем предоставляют графические интерфейсы пользователя, основанные или на интерфейсе Motif (UNIX), или на графическом интерфейсе MS Windows.

5. Предоставление доступа к PDM-системе через сеть Internet. В данном случае, в качестве клиентского рабочего места, используется обычный web-браузер.

## **8. CALS-технологии**

**CALS-технологии** (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и ЖЦИ) — современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях ЖЦИ.

Первоначально CALS создавалась как совокупность методов и средств решения логистических задач и аббревиатура CALS расшифровывалась как Computer Aided Logistics Systems. В дальнейшем сфера применения CALS расширилась и охватила все стороны информационной поддержки промышленных изделий, включая проектирование, управление предприятиями и технологическими процессами. Соответственно CALS получила новую интерпретацию и стала рассматриваться как Continuous Acquisition and Life cycle Support.

В широком смысле слова CALS - это методология создания единого информационного пространства промышленной продукции, обеспечивающего взаимодействие всех промышленных автоматизированных систем. В этом смысле предметом CALS являются методы и средства как взаимодействия разных АС и их подсистем, так и сами АС с учетом всех видов их обеспечения. *Практически синонимом CALS в этом смысле становится термин PLM*, широко используемый в последнее время ведущими производителями автоматизированных систем (АС).

В узком смысле слова CALS - это технология интеграции различных АС со своими лингвистическим, информационным, программным, математическим, методическим, техническим и организационным видами обеспечения.

За счет непрерывной информационной поддержки обеспечиваются единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. Информационная поддержка реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

**ИПИ** (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) — русскоязычный аналог понятия **CALS**.

Стратегия CALS объединяет в себе следующие основные принципы:

- применение современных информационных технологий (электронный обмен данными, многопользовательские базы данных, распределённые системы поддержки принятия решений, виртуальное предприятие);

- единство представления и интерпретации данных в процессах информационного обмена между АС и их подсистемами, что обуславливает разработку онтологий приложений и соответствующих языков представления данных;

- доступность информации для всех участников ЖЦИ в любое время и в любом месте, что обуславливает применение современных телекоммуникационных технологий;

- инжиниринг и реинжиниринг бизнес-процессов;

- поддержка процедур совмещенного (параллельного) проектирования изделий;

- унификация и стандартизация средств совместного использования АС и электронного обмена данными;

- интеграцию образования и производства, подготовки и переподготовки специалистов, связь эффективности производства с качеством подготовки и переподготовки специалистов.



*Цель реализации CALS-стратегии* – качественное повышение эффективности деятельности за счет ускорения процессов исследования, разработки и модернизации продукции.

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологий CALS. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т.п. Предполагается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немислим вне технологий CALS.

*Суть концепции CALS* – в организации единого информационного пространства (Интегрированной информационной среды), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные как для эффективного решения задач инженерной деятельности, так и для планирования и управления производством и ресурсами предприятия. В единый процесс вовлекается множество проектирующих и машиностроительных предприятий с удаленным доступом к информации, прямой передачей информации от компьютера к машиностроительному оборудованию и т.д.

Интегрированная информационная среда представляет собой совокупность распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками жизненного цикла изделия. При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

Целостность данных поддерживается в процессе управления конфигурацией проекта, а также тем, что нельзя одновременно изменять один и тот же объект разным разработчикам, каждый из них должен работать со своей рабочей версией. Другими словами, необходимо обеспечение синхронизации изменения данных, разделяемых многими пользователями.

Для этого выполняется авторизация пользователей и разрабатываются средства ведения многих версий проекта. Во-первых, пользователи подразделяются на классы (администрация системы, руководство проектом и частями проекта, группы исполнителей-проектировщиков) и для каждого класса вводят определенные ограничения, связанные с доступом к разделяемым данным; во-вторых, доступ регламентируется по типам разделяемых данных. Данным могут присваиваться

различные значения статуса, например, "правильно", "необходимо перевычисление", "утверждено в качестве окончательного решения" и т.п.

*Концепция CALS реализуется* в виде соответствующих *CALS-технологий* и определяет набор правил, регламентов, стандартов, взаимодействия участников процессов проектирования, производства, испытаний и т.д.

*Назначение CALS-технологий* – обеспечивать предоставление необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому из участников жизненного цикла промышленных изделий.

Развитие CALS-технологий должно привести к появлению так называемых виртуальных производств, в которых процесс создания спецификаций с информацией для программно управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия, может быть распределён во времени и пространстве между многими организационно-автономными проектными студиями. Среди несомненных достижений CALS-технологий следует отметить лёгкость распространения передовых проектных решений, возможность многократного воспроизведения частей проекта в новых разработках и др.

Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты IGES и STEP в качестве форматов данных. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов. В последние годы работа по созданию национальных CALS-стандартов проводится в России под эгидой ФСТЭК РФ. С этой целью создан Технический Комитет ТК431 «CALS-технологии», силами которого разработан ряд стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303, являющихся аутентичными переводами со-ответствующих международных стандартов (STEP).

### **Стандарты информационной поддержки ЖЦИ.**

Стандарты являются основным компонентом CALS. Стандарты CALS представляют собой набор стандартов, описывающих правила электронного представления данных об изделиях, среде и процессах и правила обмена этими данными.

Условно нормативные документы в области CALS можно разделить на три основные группы:

- стандарты, описывающие общие **принципы электронного обмена данными**, определяющие организационно-технические аспекты электронного взаимодействия;
- стандарты, регламентирующие **технологии обеспечения безопасности данных**, в частности, их шифрование в процессе обмена, применение электронной цифровой подписи для подтверждения их достоверности и т.д.;
- технические стандарты, определяющие форматы и модели данных, технологии представления данных, способы доступа и использования данных, описывающих изделия, процессы и среду, в которой протекает жизненный цикл изделия.

Направления стандартизации в CALS:

- применение для решения задач CALS уже существующих стандартов;
- разработка принципиально новых стандартов;

Классификация стандартов по месту разработки:

- стандарты Международной организации по стандартизации (ISO);
- военные стандарты и спецификации НАТО;
- национальные стандарты, в т.ч.:
- стандарты Министерства обороны США;
- стандарты Министерства обороны Великобритании;
- федеральные стандарты США;
- Международные спецификации Европейского авиационного консорциума (АЕСМА)

Представление информации о продукте:

ISO/IEC 10303 Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP)

Этот стандарт – один из первых в семействе специализированных CALS стандартов – является примером информационного стандарта нового поколения, по образу и подобию которого строятся последующие CALS-стандарты. STEP определяет “нейтральный” формат представления данных об изделии в виде информационной модели.

Данные об изделии включают в себя:

- состав и конфигурацию изделия;
- геометрические модели разных типов;
- административные данные;
- специальные данные.

Для обеспечения возможности единообразного описания изделий в различных прикладных областях предполагается, что информационные модели (в терминах стандарта “прикладные протоколы” или “протоколы применения”) создаются на базе типовых блоков (“интегрированных ресурсов”), причем для описания схем данных используется специально введенный язык Express.

Стандарт ISO 10303 состоит из 8 разделов, взаимно связанных между собой. Каждый раздел состоит из томов.

ISO 13584 Industrial Automation - Parts Library

Стандарт регламентирует:

- средства описания и технологию представления информации о компонентах и комплектующих;
- технологию обработки данных, в том числе хранения, передачи, доступа, изменения и архивирования;
- в отличие от стандарта ISO 10303 STEP, предназначенного для описания конкретного экземпляра продукции, стандарт ISO 13584 PLIB позволяет описывать классы продукции (компонентов и комплектующих);
- стандартные детали, определенные международными или национальными стандартами, например крепежные детали, уплотнения, подшипники;
- библиотеки (базы) данных о деталях конкретного поставщика.

Представление текстовой и графической информации:

- ISO/IEC 10179 Document Style Semantics and Specification Language (DSSSL);
- ISO/IEC IS 10744 Information Technology - Hypermedia/Time Based Document Structuring Language (HyTime);
- ISO/IEC 8632 Information Processing Systems - Computer Graphics – Metafile;
- ISO/IEC 10918 Coding of Digital Continuous Tone Still Picture Images (JPEG);
- ISO 11172 MPEG2 Motion Picture Experts Group (MPEG) Coding of Motion Pictures and associated Audio for Digital Storage Media;
- ISO/IECS 13522 Information Technology - Coding of Multimedia and Hypermedia Information (MHEG);
- ISO 8879 Information Processing - Text and Office System - Standard Generalised Markup Language (SGML).

С 1 сентября 2006 года в России введены в действие следующие нормативные документы:

- ГОСТ 2.051-2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения;
- ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения;
- ГОСТ 2.053-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения;
- ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи;
- ГОСТ 2.610-2006 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов;

- ГОСТ 2.601-2006 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные доку-менты.

В настоящее время за рубежом разработано и считается перспективным семейство новых форматов для создания информационной интегральной среды, поддерживающей все этапы ЖЦИ *PLCS* (Product Life Cycle Support).

### **Технологии информационной поддержки ЖЦИ.**

Основное содержание концепции CALS, принципиально отличающее ее от других, составляют инвариантные понятия, которые реализуются (полностью или частично) в течение жизненного цикла изделия.

Эти инвариантные понятия условно делятся на три группы:

- базовые принципы CALS;
- базовые управленческие технологии;
- базовые технологии управления данными.

К числу первых относятся:

- системная информационная поддержка ЖЦ изделия на основе использования интегрированной информационной среды (ИИС), обеспечивающая минимизацию затрат в ходе ЖЦ;

- информационная интеграция за счет стандартизации информационного описания объектов управления;

- разделение программ и данных на основе стандартизации структур данных и интерфейсов доступа к ним, ориентация на готовые коммерческие программно-технические решения (Commercial Of The Shelf - COTS), соответствующие требованиям стандартов;

- безбумажное представление информации, использование электронно-цифровой подписи;

- параллельный инжиниринг (Concurrent Engineering);

- непрерывное совершенствование бизнес-процессов (Business Processes Reengineering).

К числу вторых относятся технологии управления процессами, инвариантные по отношению к объекту (продукции):

- управление проектами и заданиями (Project Management/Workflow Management);

- управление ресурсами (Manufacturing Resource Planning);

- управление качеством (Quality Management);

- интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistic Support).

К числу третьих относятся технологии управления данными об изделии, процессах, ресурсах и среде.

### **Технологии координатно-измерительных систем**

При реализации любого процесса измерения необходимы технические средства, осуществляющие восприятие, преобразование и представление числового значения физических величин.

На практике при измерении физических величин применяются электрические методы и неэлектрические (например, пневматические, механические, химические и др.).

Электрические методы измерений получили наиболее широкое распространение, так как с их помощью достаточно просто осуществлять преобразование, передачу, обработку, хранение, представление и ввод измерительной информации в ЭВМ.

### **Активные средства контроля**

#### **Общие сведения**

К размерному контролю относят совокупность операций контроля, базирующихся на измерении геометрических размеров. Размерный контроль проводится не только после окончания обработки деталей, с целью выявления брака, но и в процессе обработки и перед ней, что дает возможность внести коррекцию в процесс обработки и, следовательно, достигнуть требуемого качества деталей.

Задачи размерного контроля в ГПС можно классифицировать по ряду признаков: цели измерения, виду объектов измерения, средствам измерения. Назначение размерного контроля зависит от конструктивных особенностей деталей и станков, технологических процессов и других факторов.

Для достижения одной и той же цели могут проводиться измерения различных объектов: деталей, заготовок, инструментов, приспособлений, палет, эталонных поверхностей. Подналадка токарных резцов в одних случаях ведется по данным

измерения положения режущей кромки резца, в других — по результатам измерения диаметров одного или нескольких обработанных валов.

Эффективная эксплуатация ГПС, особенно в "безлюдном" и даже "малолюдном" режиме, невозможна без оснащения ГПС средствами автоматического (или хотя бы автоматизированного) размерного контроля. К таким средствам относятся индикаторы контакта на станке и координатно-измерительные машины (КИМ) вне станка.

### **Контрольно-измерительные машины.**

На КИМ реализуется взаимное перемещение измерительной головки и детали либо в пространственной декартовой, либо в цилиндрической системе координат, и фиксируется координата касания головки.

Компоновки КИМ бывают консольные и порталные.

Наиболее распространенной компоновкой является порталная, которая дает возможность достичь наибольшей точности и сравнительно удобна в обслуживании. Портальная компоновка обладает высокой жесткостью и хорошими динамическими свойствами. Консольные компоновки используются для облегчения загрузки измеряемых деталей и облегчения процесса измерения.

Типоразмеры – КИМ охватывает наибольшие размеры измеряемых деталей, от 100–500 мм до 8–16 метров.

Непосредственное измерение деталей осуществляется на базовой части машины, включающей массивное основание, на котором посредством предметного столика устанавливается деталь. Относительно детали по трем координатным осям перемещается головка. Измерительная головка при соприкосновении ее наконечника с измеряемой деталью выдает командный сигнал для отсчета показаний измерительных систем, остановки и реверса движений. Всем процессом измерения управляет персональный компьютер с периферийными устройствами для ввода программ и исходной информации, для управления, выдачи результатов измерения. Данная машина имеет погрешность измерения  $D = 1,8 + L/300$  мкм, где  $L$  – измеряемый размер в м.

Оригинальную компоновку имеют переносные КИМ американской фирмы FARO, они предназначены для контроля крупных корпусных деталей, например

корпусов летательных аппаратов. У КИМ FARO ARM в качестве измерительных систем используются угловые датчики положения, линейные координаты потом пересчитываются компьютером.

Направляющие координатно-измерительных машин, по которым осуществляется перемещение по координатным осям выполняют аэростатическими или шариковыми и роликовыми. Опоры часто делают из твердокаменных материалов (гранит, диабаз). Они лучше в отношении силовых и температурных деформаций.

Машина работает следующим образом. По предварительно составленной программе автоматически производится измерение координат отдельных точек на детали в системе координат, которую образуют линейные перемещения указанных узлов. Для этого один из измерительных наконечников вводится в контакт с поверхностью в измеряемой точке, и считываются координаты точки. Таким образом, измеряются координаты необходимого количества точек на детали, и эта информация автоматически поступает в компьютер. Здесь на основе полученной информации рассчитываются измеряемые геометрические параметры.

Результаты измерения могут быть представлены в виде печатных протоколов, а также в виде графиков, на которых изображаются: номинальный контур измеряемой поверхности, его номинальное положение, график погрешностей формы фактической поверхности, представленный относительно номинального, отклонения положения фактической поверхности. Может быть графически изображен эскиз измеряемой детали с необходимыми обозначениями, например, положения измеряемого сечения.

Программа статистической обработки позволяет анализировать протекание технологического процесса по результатам измерения, например, его стабильность.

КИМ выпускают обычно двух версий: ручные и автоматические. Выбор зависит от целей их использования. Если вы контролируете геометрию и размеры несложных деталей или измеряете небольшие группы различных деталей, наиболее рационально использовать ручную КИМ. Программное математическое обеспечение ручных КИМ позволяет решать метрологические задачи различной сложности. При необходимости измерения большого количества деталей средней сложности или требования повышенной точности измерений, целесообразно использовать автоматические КИМ. Они ведут процесс измерения автоматически и



исключают влияние оператора на результаты измерений.

Точность измерения КИМ в абсолютных величинах относительно невысокая. Колеблется от 0,0002 м до 0,2 мм. Но относительная погрешность (отношение к перемещению) вполне достаточна для линейных измерений деталей сложной формы.

Современные КИМ оснащены электронно-вычислительными машинами, которые управляют процессом измерения и обрабатывают полученные результаты.

Применение ЭВМ в современных КИМ, кроме всего прочего, позволяет:

1. Применять математическое базирование детали независимо от ее действительного расположения относительно элементов измерительной машины;
2. Проводить измерения по типовым программам;
3. Составлять протоколы на результаты измерения;
4. Составлять программы измерения для деталей оригинальной формы;
5. Вводить корректировку в существующий технологический процесс с целью повышения точности обработки.

### **Лазерная система контроля**

Лазерная система Тгаскер3 имеет следующее обозначение:

- LTS-1000 (Включая интерферометр и Turbo ADM модули)

#### **Краткий обзор системы**

Тгаскер3 это портативная, высокоточная координатно-измерительная система. Она включает в себя интерферометр, основанный на лазерной оптике и сервопривод с современной технологией контроля положения по отношению к цели. Тгаскер3 также включает в себя уникальную API-систему "TURBO ADM" для повышения производительности. Со специализированным программным обеспечением, информация о текущем позиционировании может быть использована для измерения расстояния между точками, установки виртуальных осей, отслеживания

перемещения движущихся частей оборудования или сравнения реальных объектов с CAD моделями.

Данная система может быть использована при создании и инспектировании соединений, проверки больших составных систем и их частей, калибровке роботов, а также для регистрации погрешностей станков и координатно-измерительных машин (КИМ). Другое применение включает в себя точечные измерения конфигурации объектов, наблюдение за деформацией участка, находящегося под напряжением, выравнивание частей и сканирование больших поверхностей.