

## **Введение**

**Наименование курса** – «САПР технологических процессов».

**Цель курса** – на основе теоретических знаний в области методологии построения САПР технологических процессов (ТП) научить студентов осознанной работе с современными САПР ТП.

**Задачи курса** состоят в изучении:

- некоторых общих вопросов проектирования;
- теоретических основ САПР ТП;
- вопросов практической реализации автоматизированного проектирования ТП в современных САПР технологических процессов.

### **Литература, рекомендуемая для изучения курса:**

1. САПР в технологии машиностроения: Учеб. пособие/В.Г.Митрофанов, О.Н.Калачев, А.Г.Схиртладзе и др. – Ярославль; Ярославский государственный технический университет, 1995. – 298 с.
2. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. Учебник для вузов/С.Н.Корчак, А.А.Кошин, Ф.Г.Ракович, Б.И.Синицын; Под общ. ред. С.Н.Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
3. Фигурнов В.Э. IBM PC для пользователя. Изд. 6 – е, перераб. и доп. – М.: ИНФА, 1995. – 432 с.
4. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. 2 – е изд. доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
5. Прохоров А.Ф. Конструктор и ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
6. Системы автоматизированного проектирования. В 9 – ти кн. Кн. 6. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. Учеб. пособие для втузов/Н.М.Капустин, Г.Н.Васильев; Под ред. И.П.Норенкова. – М.: Высшая школа, 1986. – 191 с.
7. Ахметов К.С., Лебедев О.В. Курс молодого бойца. Наставление по компьютерному делу. – М.: Изд – во «Торговый дом «Русская редакция», 2000. – 544 с.
8. Тимошок Т.В. Microsoft Access 2002. Самоучитель. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 352 с.

### **Список понятий, знание которых необходимо на момент начала изучения курса**

Для успешного освоения курса необходимо знание следующих основных понятий и тем из приведенных ниже дисциплин:

1. Математика:
  - основы теории множеств и теории графов;
  - основы теории оптимизации.
2. Информатика:
  - блок – схемы алгоритмов решения различных задач;

- языки программирования;
  - конструкции и основные характеристики современных компьютеров;
  - операционные системы современных компьютеров.
3. Технология конструкционных материалов:
    - заготовительное производство в машиностроении (технология получения основных видов заготовок).
  4. Резание металлов:
    - методика расчета режимов резания.
  5. Режущий инструмент:
    - конструкции, инструментальные материалы, технологическое назначение основных режущих инструментов.
  6. Технологическая оснастка:
    - виды и конструкции основных приспособлений для металлорежущих станков.
  7. Металлорежущие станки:
    - конструкции металлорежущих станков.
  8. Основы технологии машиностроения:
    - методика разработки технологических процессов обработки деталей.
  9. Технология машиностроения:
    - изготовление деталей на металлорежущих станках.
  10. Основы программирования станков с ЧПУ:
    - основы разработки управляющих программ станков с ЧПУ.
  11. Экономика и планирование:
    - себестоимость изделия (структура, методы расчета).
  12. Математическое моделирование процессов в машиностроении:
    - математическая модель объекта моделирования (определение, представление, состав);
    - постановка и методы решения задач оптимизации.

## ЛЕКЦИЯ 1

### Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ

Основными процессами в машиностроении являются механическая обработка и сборка. На их долю приходится более половины общей трудоемкости изготовления машины. В ходе технологической подготовки производства на каждую деталь разрабатывается технологический процесс ее обработки, на каждую сборочную единицу разрабатывается технологический процесс ее сборки. Кроме этого в ходе технологической подготовки производства разрабатываются технологические процессы изготовления заготовок, термической обработки деталей, покраски изделий и т.д.

Современные изделия включают в себя значительное количество деталей. В этом отношении интересны данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1.1

Число деталей в изделиях

Время	Примерное количество классов изделий	Среднее число различных деталей в наиболее сложных изделиях
100000 лет назад	5	1
10000 лет назад	50	10
1000 лет назад	1000	100
Настоящее	50000	10000

Фирмы Западной Европы, США, Японии и др. стран уже давно работают в условиях рынка. Наша страна только вступает на этот путь. В условиях рынка диктует потребитель. Рынок – это конкуренция. На рынке спросом пользуется только конкурентоспособная продукция. Производители продукции должны постоянно ее обновлять. Т.е. количество модификаций изделий, изготавливаемых производителем, постоянно увеличивается.

Указанные выше причины указывают на то, что на современных предприятиях, в том числе и машиностроительных, значительное количество времени и средств тратится на проектирование в целом и на разработку (проектирование) технологических процессов в частности.

Первыми двумя целями и задачами автоматизации технологической подготовки производства являются следующие:

1. **Сокращение трудоемкости технологической подготовки производства и, как следствие, сокращение числа технологов.**
2. **Сокращение сроков технологической подготовки производства.**

Необходимы еще следующие замечания относительно двух первых целей и задач. Сокращение числа технологов приводит к уменьшению себестоимости изделия. А необходимость сокращения сроков технологической подготовки производства обуславливается тем, что в конкурентной борьбе выстоит та

фирма, которая не только выпускает конкурентоспособную продукцию, но и укладывается в минимальные сроки по подготовке этой продукции к выпуску. Если представить, что две конкурирующие фирмы одновременно решили выпускать одинаковое изделие, но первая из них затратила полгода на проектирование и производство первого образца, а у второй фирмы на это ушел год, то конечно же первая фирма будет находиться в более выгодном положении на рынке. Современная станкостроительная фирма считается конкурентоспособной, если время от идеи создания нового современного станка до выхода первого образца этого станка за ее ворота составляет не более 1,5 лет.

Третьей целью и задачей автоматизации технологической подготовки производства является **повышение качества разрабатываемых технологических процессов**. Эта необходимость объясняется следующими причинами.

Техническое перевооружение современного машиностроительного производства осуществляется в основном по двум направлениям:

1. Замена универсального оборудования с ручным управлением, обслуживаемого рабочим высокой квалификации, оборудованием с автоматическим циклом обработки. Переналадка такого оборудования осуществляется наладчиками по **тщательно** разработанным операционным и наладочным картам. Возможно многостаночное обслуживание такого оборудования. В связи с увеличением дефицита квалифицированных рабочих это направление достаточно перспективно, особенно в условиях средне – и крупносерийного производства.

2. Внедрение станков с ЧПУ, обладающих гораздо большей степенью универсальности. Их переналадка занимает в десятки раз меньшее время, чем в первом случае. Но и здесь необходимо тщательно прорабатывать технологические процессы и затем составлять управляющие программы.

Необходимость тщательной проработки технологических решений в приведенных выше случаях объясняется тем, что указанное оборудование является дорогостоящим и использовать его нужно рационально.

Принцип накопления технологических знаний, реализованный во многих современных системах автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), позволяет разрабатывать качественные технологические процессы. Знания опытных технологов, накапливаемые в САПР ТП, сами технологические процессы, разработанные ими, которые могут быть взяты за основу при разработке новых технологических процессов, позволяют повысить общий уровень технологической подготовки производства.

При ручном проектировании технолог сравнивает в уме ряд вариантов разрабатываемого технологического процесса (состав и содержание операций, варианты станков, инструментов и т.д.) и интуитивно выбирает лучшие на его взгляд решения. Подробного экономического обоснования не производится за неимением времени. Применение ЭВМ на базе соответствующих математических моделей позволяет находить оптимальные технологические решения.

Кроме этого с применением САПР практически исключаются «человеческие» ошибки. Если компьютер работает на основе качественного

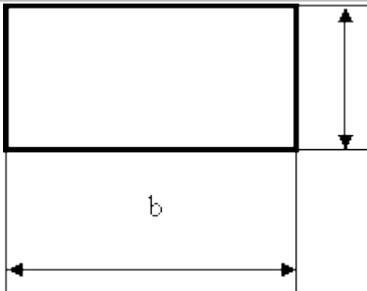
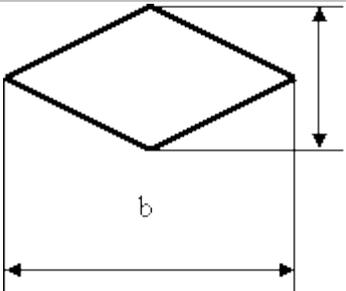
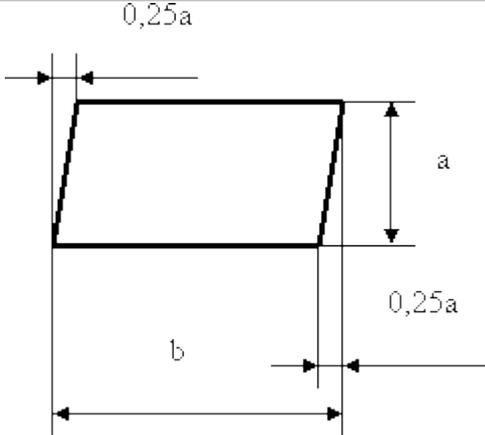
программного обеспечения, технически исправен, то при вводе одинаковых входных данных любое количество раз выдаются правильные результаты.

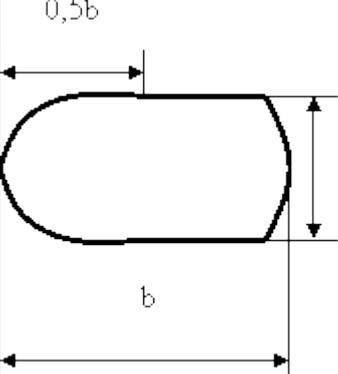
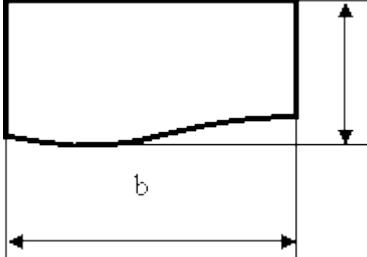
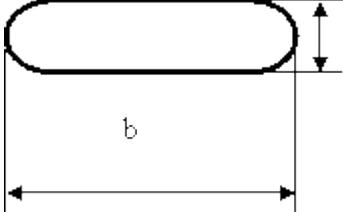
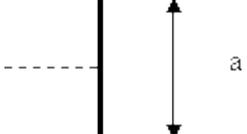
## Правила оформления блок – схем алгоритмов

Ввиду того, что часть последующего материала будет представлена с использованием блок – схем алгоритмов, необходимо рассмотреть основные правила их оформления. В таблице 1.2 показана форма и приведено содержание наиболее часто используемых блоков. Практически все блоки, приведенные в таблице, строятся на основе «базового» прямоугольника размерами «а x b». Первый приведенный в таблице блок под названием «процесс» по – существу является «базовым» прямоугольником. Размер  $a = 10, 15, 20 \dots$  мм, т.е. кратен пяти. Размер  $b = 1,5a$ , допускается  $b = 2a$ . Размер «а» выбирается в зависимости от масштаба блок – схемы и должен быть одинаковым для всех ее блоков.

Таблица 1.2

Форма и содержание блоков блок – схем алгоритмов

Наименование	Обозначение	Функции
1	2	3
Процесс		Выполнение операций присваивания, например, $A = 0$ , сложения с присваиванием, например, $C = A+B$ , вычитания, умножения и т.д.
Решение		Выбор направления выполнения алгоритма (программы) в зависимости от некоторых переменных условий
Ввод - вывод		Ввод – вывод информации без указания (независимо) от типа устройства ввода или вывода

Дисплей		Ввод информации с дисплея (с клавиатуры), вывод информации на дисплей
Документ		Вывод информации на бумагу (на принтер)
Пуск - останов		Начало – конец алгоритма (программы)
Соединитель		Переход на блок номер 5 (номер блока приведен для примера)
Комментарий		-

Каждая блок – схема начинается блоком «Пуск», внутри которого пишется слово «Начало», и заканчивается блоком «Останов», внутри которого пишется слово «Конец». Блоки соединяются линиями. Если линия, соединяющая блоки «приходит» в блок по направлению «сверху - вниз» или «слева – направо», то стрелка на ее конце не ставится (подразумевается). Если же по направлению «снизу – вверх» или «справа – налево», то стрелка на ее конце ставится обязательно.

Применение блока «Соединитель» позволяет значительно упростить блок – схему. Он применяется в том случае, когда линию, соединяющую блоку нужно вести на значительное расстояние и часто с пересечением других соединительных линий. Вместо этого достаточно после блока, из которого должна выходить соединительная линия, изобразить блок «Соединитель» и внутри его написать номер блока, в который эта линия должна прийти.

Блок «Комментарий» применяется в том случае, когда внутри какого – либо блока не удастся разместить (написать) всю необходимую информацию. В этом случае к линии, соединяющей блоки, перед блоком, для которого необходимо

написать дополнительную информацию, посредством пунктирной линии присоединяется (справа или слева) блок «Комментарий». Информацию можно размещать по высоте - в пределах высоты данного блока, по ширине – до края страницы.

## ЛЕКЦИЯ 2

### САПР как объект проектирования

Что такое проектирование? Точного и окончательного определения этого понятия не существует. Разные теоретики проектирования пытаются дать свои определения. Приведем некоторые из этих определений.

**Проектирование** - приведение изделия в соответствие с обстановкой при максимальном учете всех требований (Грегори).

**Проектирование** – творческая деятельность, которая вызывает к жизни нечто новое и полезное, чего ранее не существовало (Ризуик).

**Проектирование** – процесс, который кладет начало изменениям в искусственной среде ( Дж. К. Джонс ). Под искусственной средой здесь понимаются: транспорт, здания, средства связи, изделия и т.д.

**Проектирование** – процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта, на основе первичного описания данного объекта и (или) алгоритма его функционирования ... (ГОСТ 22487).

Проектирование является сложным творческим процессом целенаправленной деятельности человека, основанным на глубоких научных знаниях, использовании практического опыта и навыков в определенной сфере.

**Автоматизированное проектирование** – проектирование, при котором отдельные преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования ..., осуществляются взаимодействием человека и ЭВМ (ГОСТ 22487).

Функции между человеком и ЭВМ должны быть рационально распределены. Человек должен решать задачи творческого характера, а ЭВМ – задачи, допускающие формализованное описание в виде алгоритма рутинного характера.

Преимуществом автоматизированного проектирования является возможность проводить на ЭВМ эксперименты на математических моделях. Это значительно сокращает дорогостоящее физическое моделирование. Математические модели при этом должны удовлетворять требованиям универсальности, точности, адекватности и экономичности.

**Система автоматизированного проектирования (САПР)** – комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователей системы), выполняющий автоматизированное проектирование (ГОСТ 22487).

Объектами проектирования в САПР могут быть здания, сооружения, металлорежущие станки и т.д., в САПР ТП – технологические процессы.

Проектирование по содержанию – это процесс переработки определенного объема различной информации. Входами такого процесса (рис. 2.1) являются:

1. Замысел (цель) проектирования, выраженный в виде определенной совокупности условий и требований, которым должен удовлетворять искомый объект.

2. Средства, т.е. факторы, которыми можно варьировать при проектировании.

Выход процесса – такое описание искомого объекта, которое необходимо и достаточно для материально – вещественного воплощения идеи проектирования в конкретный физический объект (т.е. его информационная модель в виде схем, чертежей, спецификаций, технологических карт и другой документации).



Рис.2.1. Процесс проектирования с информационной точки зрения.

Таким образом, **смысл процесса проектирования в любой САПР** независимо от объекта проектирования один и тот же: получить в соответствие с замыслом такую информационную систему – модель, которая позволяет создать систему – оригинал, полностью соответствующую замыслу.

В процессе проектирования с помощью САПР в качестве промежуточных и окончательных решений используют математические модели:

- формы и геометрических параметров;
- структуры;
- временных и пространственно – временных отношений;
- функционирования;
- состояний и значений свойств объекта;
- имитационные.

Модели формы и геометрических параметров – это плоские и объемные изображения объектов проектирования, выполненные в соответствии с правилами ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП (чертежи, схемы, карты эскизов и т.д.).

Модели структуры – это кинематические, гидравлические, электронные и др. схемы. Для технологического процесса – это его структура, представленная, например, в виде маршрутной, операционной карты, а в процессе проектирования – в виде графа.

Модели временных и пространственно – временных отношений – это циклограммы, сетевые графики и т.д.

Модели функционирования – это, например, динамические и кинематические схемы, выполненные в режиме анимации.

Модели состояний и значений свойств объекта – это формальное (упрощенное) описание объекта (процесса) в виде отдельных формул, систем

уравнений и т.д. Они предназначены для расчетов параметров объекта, проведения численных экспериментов (для технологического проектирования – это математические модели для расчета припусков и межпереходных размеров, режимов резания и т.д.).

Имитационные (статистические) модели позволяют, учитывая большую совокупность случайных факторов проигрывать (имитировать) на ЭВМ многочисленные и разнообразные реальные ситуации, в которых может оказаться будущий объект проектирования.

При создании и приобретении САПР и их составных частей необходимо руководствоваться следующими **принципами**:

- системного единства;
- совместимости;
- типизации;
- развития.

**Принцип системного единства** обеспечивает целостность системы и иерархичность проектирования отдельных частей и объекта в целом.

**Принцип совместимости** обеспечивает совместное функционирование составных частей САПР и сохраняет открытой систему в целом.

**Принцип типизации** предусматривает разработку и использование типовых и унифицированных элементов САПР. Типизируют элементы, имеющие перспективу многократного использования.

**Принцип развития** дает возможность пополнения, совершенствования и обновления составных частей САПР.

Современные САПР, в том числе и САПР ТП базируются на новых информационных технологиях. Вследствие этого для них характерен ряд признаков:

**1. Объектно – ориентированное взаимодействие человека и ЭВМ.**

Пользователь работает в режиме манипулирования изображениями заготовок, деталей, сборочных единиц, со схемами, текстом и т.д. в реальном масштабе времени. В основу манипулирования заложено программирование соответствующих процедур, выполняемые ЭВМ. Человек видит информационные объекты, получаемые посредством средств вывода информации, и воздействует на них за счет средств ввода информации.

**2. Сквозная информационная поддержка на всех этапах обработки информации на основе интегрированной базы данных.** База данных предусматривает единую унифицированную форму представления, хранения, поиска, отображения, восстановления и защиты информации.

**3. Безбумажный процесс обработки информации.** Все промежуточные варианты и необходимые численные данные записываются на машинных носителях и доводятся до пользователя через экран монитора. На бумаге фиксируется только окончательный вариант документа: технологическая карта, карта эскизов и т.д.

**4. Интерактивный режим решения задач, выполняемый в режиме диалога пользователя и ЭВМ.** Новые информационные технологии требуют высокого интеллектуального уровня, профессиональной и

психологической подготовки пользователя. Пользователь должен досконально знать принципы и все нюансы работы САПР, ее возможности, уметь свободно пользоваться средствами общения с компьютером, квалифицированно ставить задачи и осмысливать результаты их решения.

### **Состав и структура САПР**

Составными частями САПР являются подсистемы. В каждой подсистеме решается функционально законченная последовательность задач.

Любая САПР состоит из проектирующих подсистем и обслуживающих подсистем.

**Проектирующие подсистемы** выполняют процедуры и операции получения новых данных. Они имеют объектную ориентацию и реализуют определенный этап проектирования или группу взаимосвязанных проектных задач. Примеры: подсистемы проектирования технологических процессов сборки, механической обработки, расчета режимов резания и т.д.

**Обслуживающие подсистемы** имеют общесистемное применение и служат для обеспечения функционирования проектирующих подсистем, а также для оформления, передачи и вывода результатов проектирования. Примеры: система управления базой данных, подсистемы ввода – вывода данных, документирования и т.д.

## **ЛЕКЦИЯ 4**

### **САПР в компьютерно – интегрированном производстве**

Одними из важнейших функций инженера являются проектирование изделий и технологических процессов их изготовления. В связи с этим САПР принято делить по крайней мере на два основных вида:

- САПР изделий (САПР И);
- САПР технологических процессов (САПР ТП) их изготовления.

Ввиду того, что на Западе сложилась своя терминология в области автоматизированного проектирования и она часто используется в публикациях, будем рассматривать и «западные» и отечественные термины.

**САПР изделий.** На Западе эти системы называют CAD (Computer Aided Design). Здесь Computer – компьютер, Aided – с помощью, Design – проект, проектировать. Т.е. по – существу термин «CAD» можно перевести как «проектирование с помощью компьютера». Эти системы выполняют объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерные расчеты и анализ, оценку проектных решений, изготовление чертежей.

Научно – исследовательский этап САПР иногда выделяют в самостоятельную **автоматизированную систему научных исследований (АСНИ)** или, используя западную терминологию, автоматизированную систему инжиниринга – CAE (Computer Aided Engineering). Пример такой системы в России – «изобретающая машина», поддерживающая процесс принятия человеком новых нестандартных решений, иногда и на уровне изобретений.

**САПР технологии изготовления.** В России эти системы принято называть САПР ТП или АС ТППП (автоматизированные системы технологической подготовки производства). На Западе их называют CAPP (Computer Automated Process Planning). Здесь Automated – автоматический, Process – процесс, Planning – планировать, планирование, составление плана. С помощью этих систем разрабатывают технологические процессы и оформляют их в виде маршрутных, операционных, маршрутно – операционных карт, проектируют технологическую оснастку, разрабатывают управляющие программы (УП) для станков с ЧПУ.

Более конкретное описание технологии обработки на оборудовании с ЧПУ (в виде кадров управляющей программы) вводится в **автоматизированную систему управления производственным оборудованием (АСУПР)**, которую на Западе принято называть CAM (Computer Aided Manufacturing). Здесь Manufacturing – производство, изготовление. Техническими средствами, реализующими данную систему, могут быть системы ЧПУ станков, компьютеры, управляющие автоматизированными станочными системами.

Помимо этого различают: **систему производственного планирования и управления PPS** (Produktionsplaungs system), что соответствует отечественному термину АСУП (**автоматизированная система управления производством**), а также **систему управления качеством CAQ** (Computer Aided Quality Control). Здесь Quality – качество, Control – управление. В России используется термин АСУК (автоматизированная система управления качеством).

Самостоятельное использование систем CAD, CAM дает экономический эффект. Но он может быть существенно увеличен их интеграцией посредством CAPP. Такая **интегрированная система CAD/CAM** на информационном уровне поддерживается единой базой данных. В ней хранится информация о структуре и геометрии изделия (как результат проектирования в системе CAD), о технологии изготовления (как результат работы системы CAPP) и управляющие программы для оборудования с ЧПУ (как исходная информация для обработки в системе CAM на оборудовании с ЧПУ) – рис.4.1.

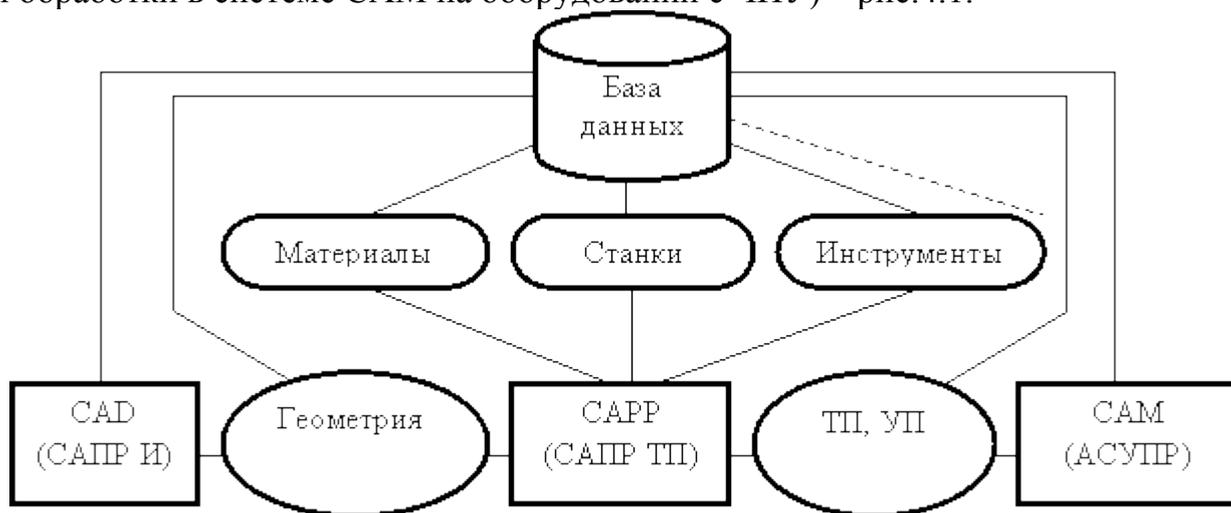


Рис. 4.1. Элементы интегрированной системы



Рис.4.2. Основные системы компьютерно – интегрированного производства

Основные системы компьютерно – интегрированного производства (КИП) показаны на рис.4.2.

Этапы создания изделий могут перекрываться во времени, т.е. частично или полностью выполняться параллельно. На рис. 4.2. показаны лишь некоторые связи этапов жизненного цикла изделий и автоматизированных систем. Так, например, автоматизированная система управления качеством взаимосвязана практически со всеми этапами жизненного цикла изделия.

В настоящее время основной тенденцией в достижении высокой конкурентоспособности западных и российских предприятий является переход от отдельных замкнутых САПР и их частичного объединения к **полной интеграции** технической и организационной сфер производства. Такая интеграция связывается с внедрением модели компьютерно – интегрированного производства (КИП) или в западной версии CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Информационная структура компьютерно – интегрированного производства показана на рис.4.3.

Информационная структура компьютерно – интегрированного производства показана на рис.4.3.

Информационная структура компьютерно – интегрированного производства показана на рис.4.3.

В структуре компьютерно – интегрированного производства выделяются три основных иерархических уровня:

1. **Верхний уровень (уровень планирования)**, включающий в себя подсистемы, выполняющие задачи планирования производства.

2. **Средний уровень (уровень проектирования)**, включающий в себя подсистемы проектирования изделий, технологических процессов, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

3. **Нижний уровень (уровень управления)** включает в себя подсистемы управления производственным оборудованием.

Построение компьютерно – интегрированного производства включает в себя решение следующих проблем:

- **информационного обеспечения** (отход от принципа централизации и переход к координированной децентрализации на каждом из рассмотренных уровней как путем сбора и накопления информации внутри отдельных подсистем, так и в центральной базе данных);

- **обработки информации** (стыковка и адаптация программного обеспечения различных подсистем);

- **физической связи подсистем** (создание интерфейсов, т.е. стыковка аппаратных средств ЭВМ, включая использование вычислительных систем).

Внедрение компьютерно – интегрированного производства значительно сокращает общее время прохождения заказов за счет:

- уменьшения времени передачи заказов с одного участка на другой и уменьшения времени простоя при ожидании заказов;

- перехода от последовательной к параллельной обработке;

- устранения или существенного ограничения повторяемых ручных операций подготовки и передачи данных (например, машинное изображение геометрических данных можно использовать во всех отделах, связанных с конструированием изделий).

## ЛЕКЦИЯ 5

### Системное проектирование и стратегии проектирования технологических процессов

#### Системное проектирование технологических процессов

Системное проектирование технологических процессов особенно с использованием ЭВМ включает в себя использование двух основных принципов:

**Принцип 1.** Применение при проектировании технологических процессов **системного подхода**, который основывается на следующем:

а) технологический процесс нужно рассматривать, с одной стороны, как просто перечень отдельных его элементов (операций, переходов и т.д.), а с другой стороны, как совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов. Т.е. необходимо говорить о структуре технологического процесса.

**Структура технологического процесса** – это множество его элементов и множество связей между ними.

Если  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  - множество элементов технологического процесса,  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  - множество связей между элементами, то  $Str = \{V, S\}$  - структура технологического процесса (рис.5.1 и 5.2);

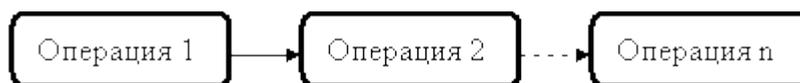


Рис. 5.2. Представление структуры технологического процесса в виде графа



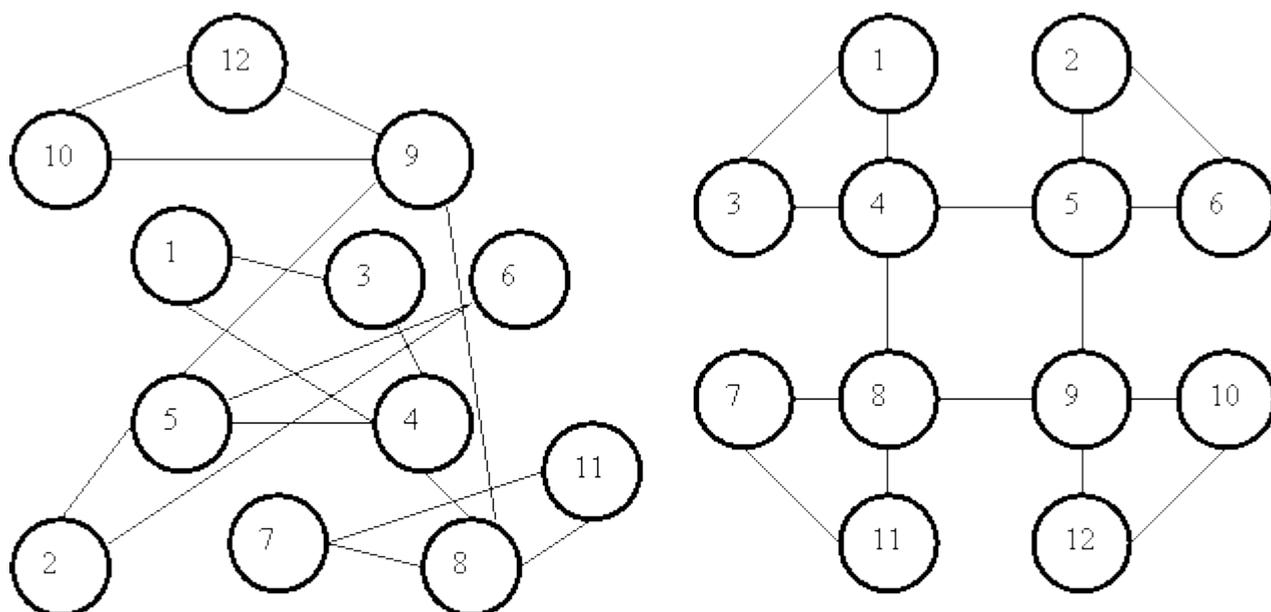
Рис. 5.1. Представление структуры технологического процесса в виде дерева

б) процесс проектирования технологического процесса – это, с одной стороны, просто перечень отдельных его этапов (выбор заготовки, определение маршрута обработки детали и т.д.), а с другой стороны, совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных этапов;

в) рациональное разбиение процесса проектирования на части. Проектирование технологического процесса – сложная задача. Общепринятый подход к решению сложных задач – разбиение их на простые задачи и их решение во взаимосвязи друг с другом. «Простые» задачи при проектировании технологического процесса: выбор типа заготовки, расчет режимов резания и т.д.;

г) принятие оптимальных решений.

**Принцип 2.** Использование при проектировании технологических процессов рационального сочетания традиционных (иногда «ручных») методов проектирования и достижений теории множеств, теории графов, теории оптимизации и других современных системных наук, ориентированных на использование ЭВМ.



а) без использования принципов системного проектирования

б) с использованием принципов системного проектирования

Рис. 5.3. Представление знаний в определенной области

Применение принципов системного проектирования позволяет систематизировать знания в любой области, «навести в ней порядок». Рис. 5.3 (а, б) показывает, чем отличается представление знаний без использования принципов системного проектирования и с использованием этих принципов.

### Стратегии проектирования технологических процессов

При «ручном» проектировании технологических процессов, а особенно при создании (использовании) САПР технологических процессов важно иметь четкое представление, с использованием какой (каких) стратегий они проектируются. Стратегия проектирования технологического процесса определяет методику его проектирования. Правильный выбор стратегии проектирования чрезвычайно важен (особенно в САПР). Это определяет эффективность САПР. Ниже приведены некоторые стратегии проектирования технологических процессов (рис.5.4 – 5.7).

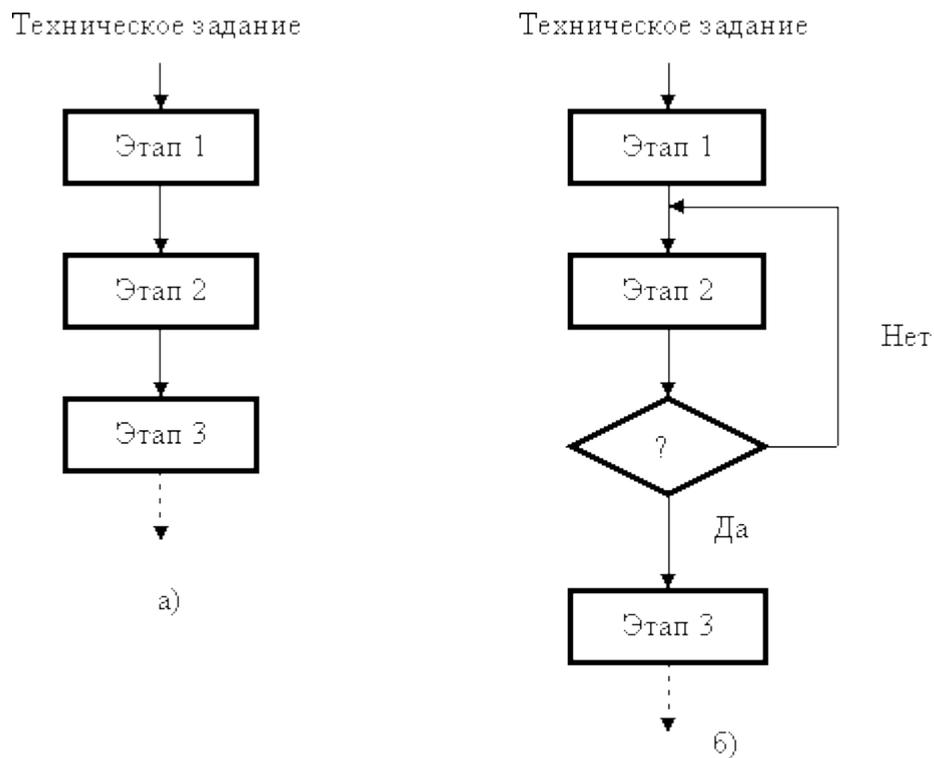


Рис. 5.4. Линейная (а) и циклическая (б) стратегии проектирования

В идеале необходимо стремиться к выбору или разработке линейной стратегии проектирования. Она является идеальной особенно при проектировании с использованием ЭВМ. Эта стратегия имеет минимальную трудоемкость, максимальную надежность.

Циклическая стратегия (схема с петлями) характерна для многих программ ЭВМ и носит название итерационного процесса. Другими словами это процесс последовательного приближения к цели путем улучшения разрабатываемых вариантов.

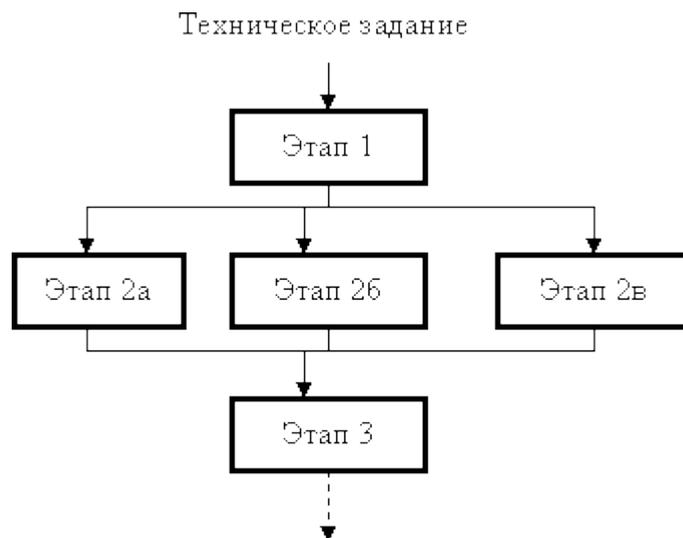


Рис. 5.5. Разветвленная стратегия проектирования

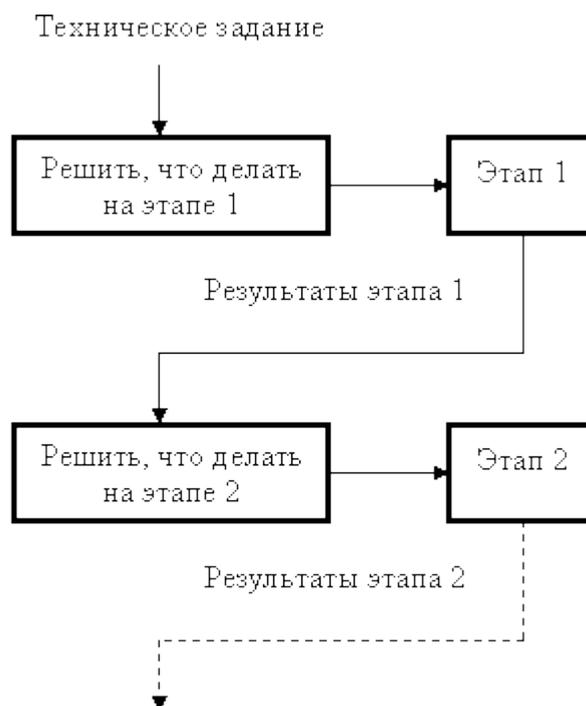


Рис.5.6. Адаптивная стратегия проектирования

Наличие параллельных этапов в разветвленной стратегии очень выгодно. Это позволяет сократить сроки проектирования.

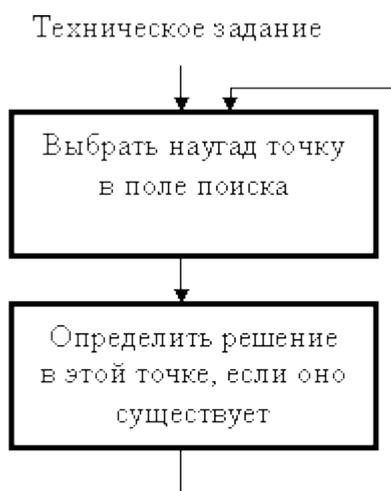


Рис.5.7. Стратегия случайного поиска

В адаптивных стратегиях проектирования с самого начала определяется только первое действие. В дальнейшем выбор каждого последующего действия зависит от результатов предыдущего. В принципе это самая разумная стратегия, т.к. схема поиска определяется на основе наиболее полной информации. Эта стратегия используется при создании систем искусственного интеллекта.

Стратегия случайного поиска отличается абсолютным отсутствием плана. Она используется в новаторском проектировании, например, при разработке новых технологических процессов.

Необходимо добиваться максимальной линеаризации процесса проектирования с включением параллельных этапов, а цикличность стараться исключать, особенно на верхних уровнях проектирования. К сожалению, из-за

недостаточной информации часто не удается задать линейную стратегию, которая особенно целесообразна в САПР.

Стратегия проектирования может детализироваться от одного уровня проектирования к другому. На определенных этапах проектирования приходится вводить методы управления стратегией (рис.5.8).

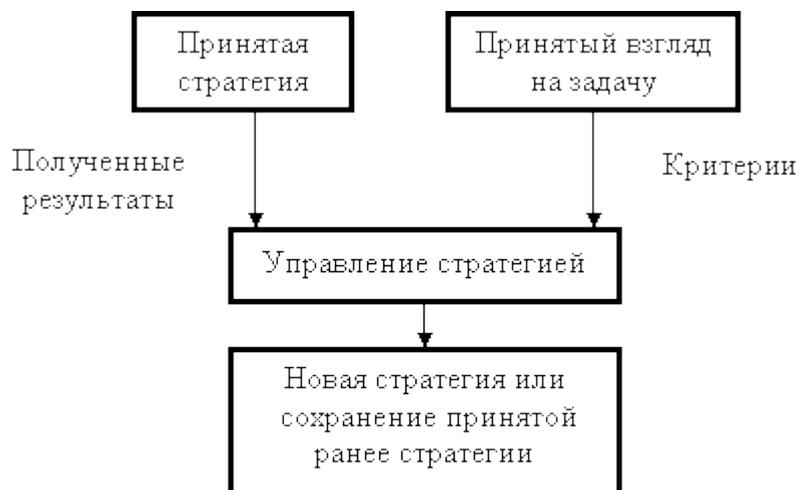


Рис.5.8. Управление стратегией проектирования

Целесообразно процесс проектирования разбивать на частные задачи. Результат выполнения каждой задачи оформляется в виде технического задания, которое дает информацию о последующем плане (стратегии) ее детализации (дальнейшего решения)

## ЛЕКЦИЯ 6

### Математическое моделирование при автоматизированном проектировании технологических процессов

Выполнение проектных процедур при автоматизированном проектировании основано на оперировании с математическими моделями.

**Математическая модель технологического процесса** – это система математических объектов (чисел, переменных, множеств, графов, матриц и т.д.) и отношений между ними, отражающая некоторые свойства технологического процесса.

В САПР технологических процессов находят применение **структурно – логические** и **функциональные** математические модели.

Структурно – логические математические модели подразделяются на табличные, сетевые и перестановочные.

#### Табличные модели

**Табличная модель** описывает **одну** конкретную структуру технологического процесса. В табличной модели каждому набору условий соответствует единственный вариант проектируемого технологического процесса. Поэтому табличные модели используют для поиска типовых проектных решений.

**Пример.** При обработке группы деталей  $d_1, d_2, d_3$  на прутковом токарном автомате последовательность обработки их поверхностей устанавливается с помощью табличных моделей. Каждая деталь (рис.6.1) имеет поверхности с определенными свойствами  $F_1, F_2, \dots, F_8$ :

$$F(d_1) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8\} = F_1';$$

$$F(d_2) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_8\} = F_2';$$

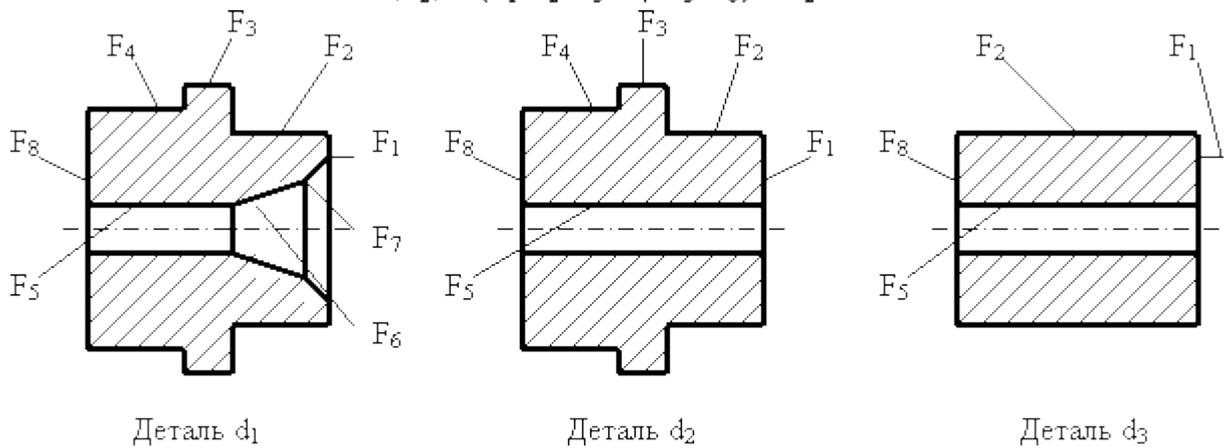


Рис.6.1. Эскизы деталей для обработки на прутковом токарном автомате

$$F(d_3) = \{F_1, F_2, F_5, F_8\} = F_3'.$$

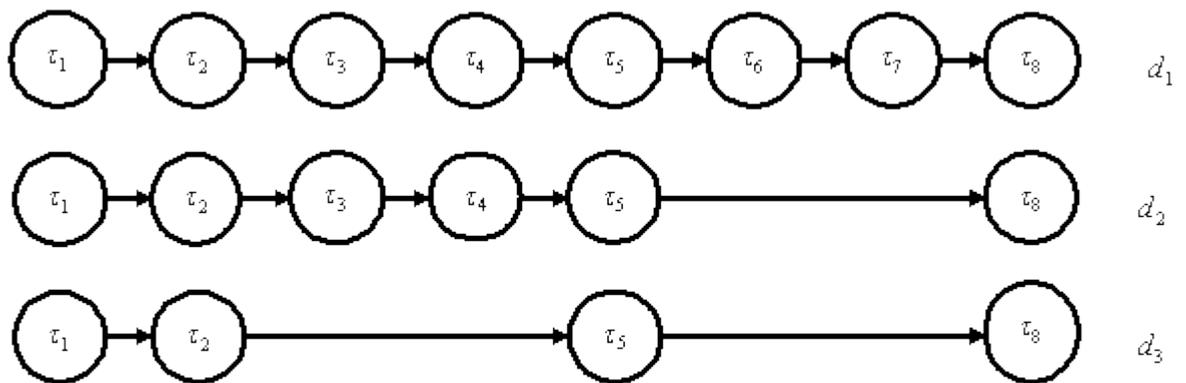


Рис.6.2. Графы взаимосвязей переходов при обработке деталей  $d_1, d_2, d_3$

На рис.6.2. представлены табличные модели в виде графов взаимосвязей переходов при обработке деталей  $d_1, d_2, d_3$  на данной операции.

На рис.6.2. приняты следующие обозначения:  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_8$  - операторы (технологические переходы):  $\tau_1$  - подрезка торца;  $\tau_2, \tau_3, \tau_4$  - точение наружной

цилиндрической поверхности;  $\tau_5$ - сверление;  $\tau_6$ - зенкерование;  $\tau_7$ - зенкование;  $\tau_8$  - отрезка.

Для представления данных об обработке деталей на данной операции на языке, понятном компьютеру, удобном для программирования, представленная выше информация может быть удобно описана в виде двух таблиц(6.1 и 6.2), которые легко превращаются в массивы.

Таблица 6.1

**Связи между свойствами поверхностей деталей и операторами(технологическими переходами)**

$\tau_i$	$F_j$							
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$
$\tau_1$	1	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	1	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	1	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	1	0	0	0	0
$\tau_5$	0	0	0	0	1	0	0	0
$\tau_6$	0	0	0	0	0	1	0	0
$\tau_7$	0	0	0	0	0	0	1	0
$\tau_8$	0	0	0	0	0	0	0	1

В этой, а также последующих таблицах данной лекции логическая единица обозначает наличие связи, а ноль – отсутствие таковой.

Таблица 6.2

**Связи между совокупностями свойств деталей и операторами (технологическими переходами)**

$\tau_i$	$F'_j$		
	$F'_1$	$F'_2$	$F'_3$
$\tau_1$	1	1	1
$\tau_2$	1	1	1
$\tau_3$	1	1	0
$\tau_4$	1	1	0
$\tau_5$	1	1	1
$\tau_6$	1	0	0
$\tau_7$	1	0	0
$\tau_8$	1	1	1

**Сетевые модели**

**Сетевая модель** описывает множество структур технологического процесса, отличающихся количеством и (или) составом элементов структуры при неизменном отношении порядка.

Структура элементов сетевой модели описывается ориентированным графом, не имеющим ориентированных циклов. В модели может содержаться несколько вариантов проектируемого технологического процесса, однако во всех вариантах порядок элементов одинаков.

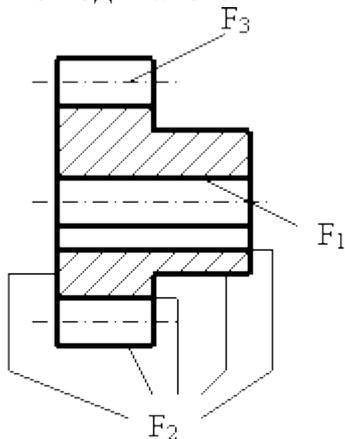
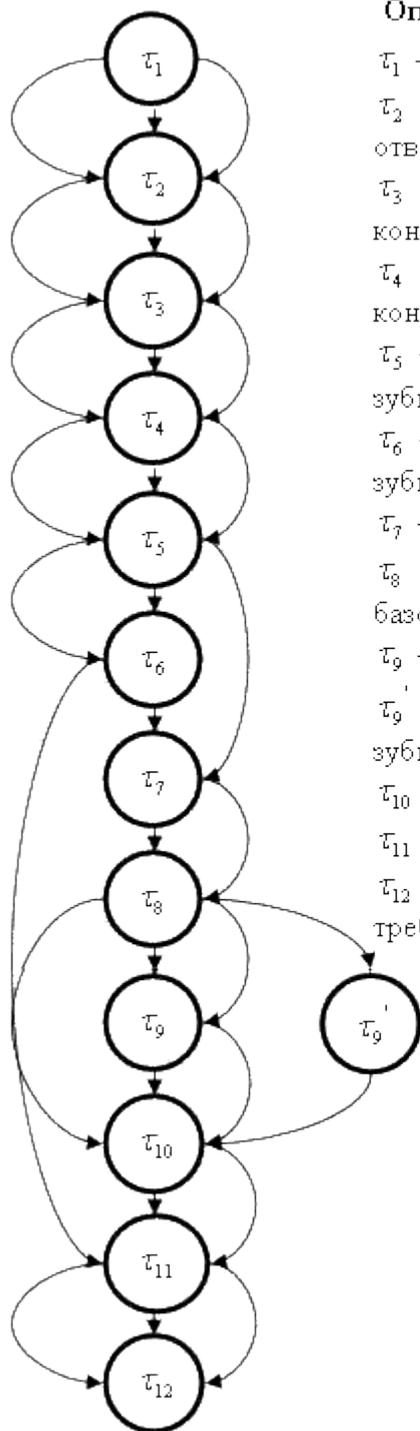


Рис.6.3. Эскиз детали «Зубчатое колесо»

**Пример.** Сетевая модель технологического проектирования маршрута обработки детали «Зубчатое колесо», эскиз которой представлен на рис.6.3.

На рис.6.4. показан граф взаимосвязи операторов (технологических операций) по возможной последовательности их выполнения.



**Операторы  $\tau_i$  (технологические операции):**

- $\tau_1$  - заготовительная;
- $\tau_2$  - протяжная (протягивание базового отверстия);
- $\tau_3$  - черновая токарная (черновое точение контура зубчатого колеса);
- $\tau_4$  - чистовая токарная (чистовое точение контура зубчатого колеса);
- $\tau_5$  - зубофрезерная черновая (черновая нарезка зубьев);
- $\tau_6$  - зубофрезерная чистовая (чистовая нарезка зубьев);
- $\tau_7$  - термическая (объемная закалка);
- $\tau_8$  - внутришлифовальная (шлифование базового отверстия);
- $\tau_9$  - зубошлифовальная (шлифование зубьев);
- $\tau_9'$  - зубошевинговальная (шевингование зубьев);
- $\tau_{10}$  - притирочная (притирка зубьев);
- $\tau_{11}$  - моечная (мойка детали);
- $\tau_{12}$  - контрольная (контроль технических требований детали)

Рис.6.4. Граф взаимосвязи операторов (технологических операций) по возможной последовательности их выполнения

Приведенный на рис.6.4 граф легко представляется в виде матрицы этого графа (здесь не приводится), которая в свою очередь может быть без труда описана в виде массива информации. А массивы являются неизменными атрибутами любого языка программирования.

Кроме данного графа сетевая модель включает в себя таблицу связей свойств поверхностей детали и операторов технологического процесса (в этом примере – технологических операций) – табл.6.3.

**Таблица 6.3**

**Связи между свойствами поверхностей детали и операторами технологического процесса**

$\tau_i$	$F_j$		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$
$\tau_1$	1	1	0
$\tau_2$	1	0	0
$\tau_3$	0	1	0
$\tau_4$	0	1	0
$\tau_5$	0	0	1
$\tau_6$	0	0	1
$\tau_7$	1	1	1
$\tau_8$	1	0	0
$\tau_9$	0	0	1
$\tau_{10}$	0	0	1
$\tau_{11}$	1	1	1
$\tau_{12}$	1	1	1

## Перестановочные модели

**Перестановочная модель** описывает множество структур технологического процесса, отличающихся количеством и (или) составом элементов структуры при изменении отношения порядка.

Отношения порядка в этих моделях задаются с помощью графа, содержащего ориентированные циклы.

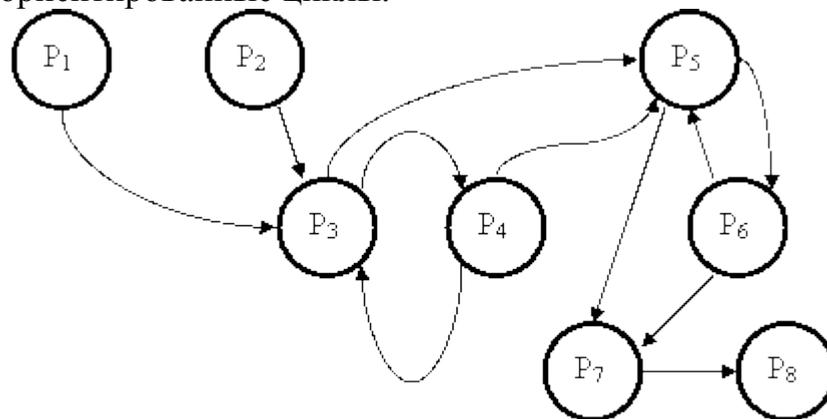


Рис. 6.5. Граф, отображающий расцеховку при изготовлении изделия

**Пример.** Расцеховка при изготовлении изделия (рис.6.5).

На рис.6.5 через  $P_1, P_2, \dots, P_8$  обозначены цеха:  $P_1$  – литейный;  $P_2$  – кузнечный;  $P_3$  – механический;  $P_4$  – термический;  $P_5$  – механосборочный;  $P_6$  - общей сборки;  $P_7$  – испытательный;  $P_8$  – упаковочный.

Сетевые и перестановочные модели используют для получения типовых, групповых и индивидуальных технологических процессов. Наличие в них вариантов позволяет производить оптимизацию технологических процессов.

Характерным примерами функциональных моделей являются математические модели, используемые при расчете и оптимизации режимов резания.

## ЛЕКЦИЯ 7

### Типовые решения в САПР технологических процессов

Главные особенности проектирования технологических процессов:

1. Многовариантность проектных решений.
2. Слабая формализация многих проектных задач.

Действительно, при проектировании технологических процессов круг задач формального расчетного характера, которые легко реализуются на ЭВМ, крайне ограничен. Среди них можно выделить следующие задачи:

- расчет припусков и межпереходных размеров;
- расчет режимов резания;
- нормирование технологического процесса.

По причине слабой формализации процесса технологического проектирования при решении задач нерасчетного характера (выбор заготовки, разработка маршрута обработки детали, выбор станков, инструментов и т.д.) решения принимают в результате выбора из известных типовых решений. Т.е.  **типовые решения – это основа формализации для решения задач неформального характера при проектировании технологических процессов с помощью ЭВМ.**

Процесс выбора решений при этом заключается в следующем: каким – либо образом описывается весь набор типовых решений, а также условий, при которых может быть применено каждое из них. Эти данные описываются заранее в виде базы данных и заранее же вводятся в ЭВМ. При разработке технологического процесса в ЭВМ вводятся некоторые исходные данные по детали. После этого проверяется соответствие исходных данных условиям применимости типовых решений. При выполнении **всех условий** комплекса условий применимости принимается соответствующее типовое решение.

**Пример.** Назначить станок на операцию зубошвингования. Пусть на предприятии имеются зубошвинговальные станки трех моделей. Они составляют множество типовых решений (МТР):  $MTP = \{5A702Г, 5703В, 5717С\}$ .

Сформулируем комплекс условий применимости выявленных типовых решений:

**1 условие.** Размещаемость детали в рабочей зоне станка. Здесь регламентируются габаритные размеры детали (диаметр зубчатого колеса  $D_d$  и его ширина  $L_d$ ), которые должны находиться в пределах, допустимых рабочей зоной станка.

**2 условие.** Диапазоны допустимого изменения модуля детали  $m_d$  и угла наклона зуба детали  $\alpha_d$ .

Комплекс условий применимости (КУП) в данной задаче может быть представлен в виде следующей системы:

$$КУП = \begin{cases} D_{\min} \leq D_d \leq D_{\max}; \\ L_{\min} \leq L_d \leq L_{\max}; \\ m_{\min} \leq m_d \leq m_{\max}; \\ a_{\min} \leq a_d \leq a_{\max}. \end{cases}$$

На основе паспортных данных станков сформированы условия их применимости, которые представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

**Условия применимости зубошевинговальных станков**

Модель станка	Допустимые интервалы параметров применимости			
	$D_d, \text{мм}$	$L_d, \text{мм}$	$m_d, \text{мм}$	$a_d, \text{град}$
5А702Г	60 – 320	до 110	1,5 – 6	$\pm 35$
5703В	125 – 500	до 80	1,75 – 8	$\pm 17$
5717С	300 – 800	до 200	2 – 8	$\pm 35$

Важно определиться, входят или нет границы интервалов, указанные в таблице в соответствующий интервал. В данном примере предполагается, что входят, т.е., например, для  $D_d = 60 \text{мм}$  можно применить станок модели 5А702Г, или для  $L_d = 200 \text{мм}$  - станок модели 5717С и т.д. Блок – схема алгоритма выбора модели зубошевинговального станка показана на рис. 7.1.

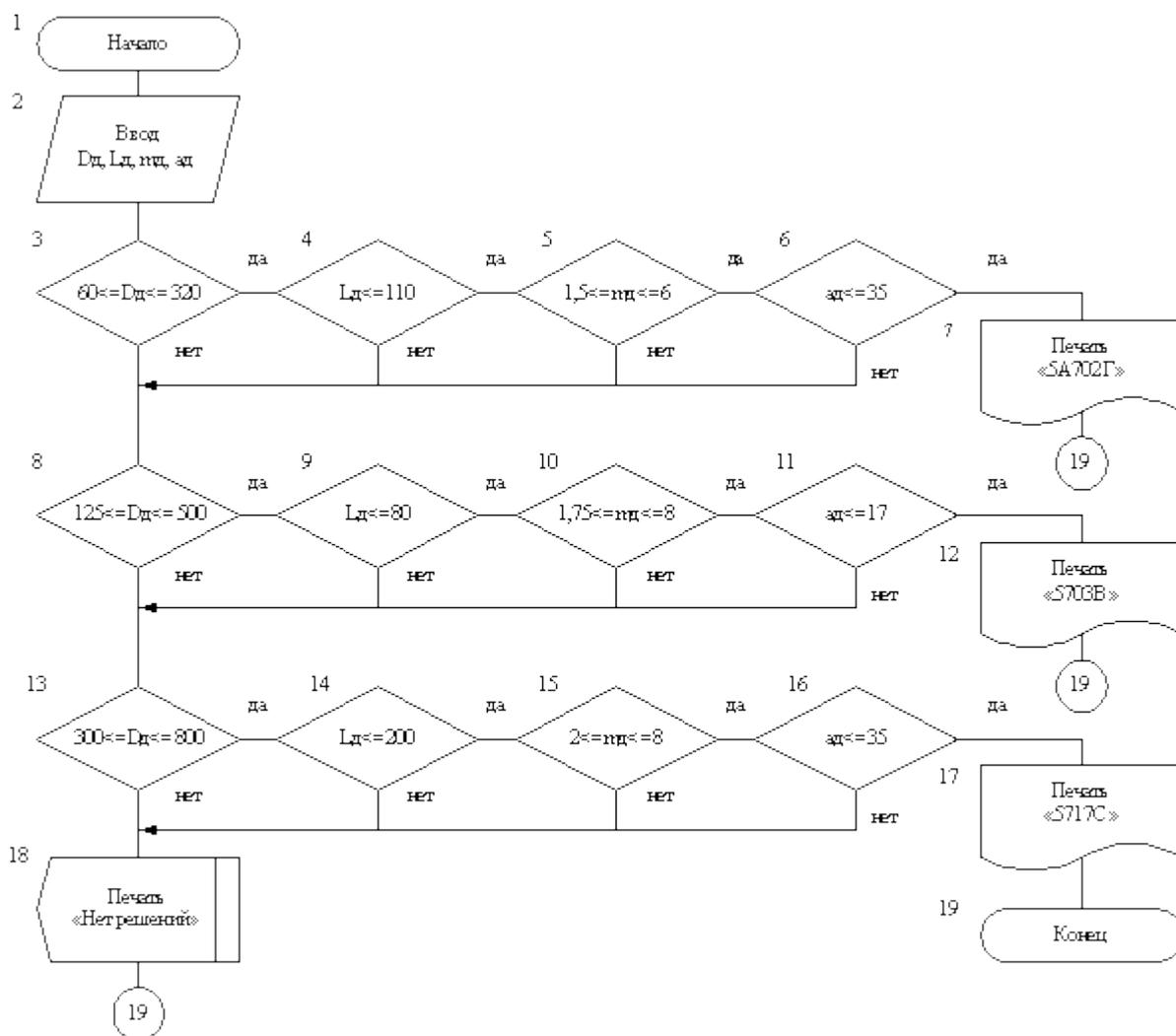


Рис.7.1. Блок - схема алгоритма выбора модели зубошвинговального станка

В данном алгоритме заложен принцип предпочтительности применения станков малых размеров. Например, при  $D_d = 300\text{мм}$ ,  $L_d = 80\text{мм}$ ,  $t_d = 2,5\text{мм}$ ,  $\alpha_d = 35\text{град}$  выбирается станок модели 5A702Г, хотя подходит и станок модели 5717С.

## Виды типовых решений

Типовые решения являются основой технологического проектирования при использовании ЭВМ. По уровню решаемых задач типовые решения подразделяют на две группы: **локальные типовые решения (ЛТР)** и **полные типовые решения (ПТР)**.

**Локальные типовые решения** относятся к частным технологическим задачам, определяющим лишь некоторую часть (элемент) проектируемого технологического процесса. Например, назначение станка на выполнение операции зубошвингования (см. выше). Типовые решения в данном случае (модели станков) являются локальными типовыми решениями. Приведем еще примеры множеств локальных типовых решений (МЛТР).

$$MLTP1 = \left\{ \begin{array}{l} LTP11 - \text{зенковать...;} \\ LTP12 - \text{точить...;} \\ LTP13 - \text{сверлить...;} \\ \dots \end{array} \right\} MLTP2 = \left\{ \begin{array}{l} LTP21 - \text{резать...;} \\ LTP22 - \text{фреза...;} \\ LTP23 - \text{сверло...;} \\ \dots \end{array} \right\}$$

Здесь  $MLTP1$  - множество технологических переходов;  $MLTP2$  - множество режущих инструментов.

**Полные типовые решения** охватывают весь (полный, логически завершённый) круг решаемых задач. Примером полного типового решения является типовой технологический процесс. Множество типовых решений этой группы может являться множеством типовых технологических процессов, где каждое типовое решение есть технологический процесс изготовления деталей определённого типа. Пример множества полных типовых решений (МПТР):

$$MPTP1 = \left\{ \begin{array}{l} PTP11: 005.Токарная.010.Токарная.015.Протяжная.020.Зубофрезерная... \\ PTP12: 005.Отрезная.010.Токарная.015.Токарная.020.Сверлильная... \end{array} \right\}$$

Здесь  $PTP11$  - типовой технологический процесс изготовления шестерни;  $PTP12$  - типовой технологический процесс изготовления втулки.

Типовые решения различают по своей структуре.  $MLTP1, MLTP2$  - это множества типовых решений с простейшей структурой (одноэлементных). Каждое типовое решение здесь является единицей проектирования, единым неизменным элементом, который может быть принят или не принят целиком. Никакие преобразования таких типовых решений не предусматриваются.

Более сложную структуру имеют полные типовые решения. Это решения многоэлементные, т.е. каждое состоит из совокупности элементов, которые в процессе проектирования могут быть рассмотрены отдельно. Элементы этих типовых решений (маршрутных технологических процессов) – технологические операции. Для каждой операции необходимо назначит станок, произвести нормирование, т.е. рассмотреть в дальнейшем элементы этого типового решения – локальные типовые решения.

При автоматизированном проектировании технологических процессов применяют типовые и групповые технологические процессы.

## Типовые технологические процессы

Типизация на уровне обработки детали в целом имеет целью изготавливать сходные по тем или иным конструктивно – технологическим признакам детали по унифицированным технологическим процессам, разработанным предварительно с учетом совершенных технологических методов.

Идея типизации впервые была высказана профессором А.А.Соколовским. Она заключается в классификации деталей по конструктивно – технологическим признакам: форме, размерам, точности и т.д. Конечная цель классификации – установление принадлежности детали к определённому типу, т.е. к совокупности деталей, имеющих в данных производственных условиях **общую структуру операций и переходов**. Детали одного типа в определённой

степени могут отличаться набором поверхностей и некоторыми параметрами. Поэтому технологический процесс обработки конкретной детали получается из типового путем исключения лишних операций и переходов обработки отсутствующих поверхностей. Доработка типового технологического процесса включает в себя также:

- уточнение технологического оснащения (оборудования, приспособлений, инструментов);
- перерасчет межпереходных размеров;
- выбор (расчет) режимов резания;
- выбор и расчет норм времени.

### **Групповые технологические процессы**

Групповой метод обработки был впервые предложен профессором С.П.Митрофановым. Он представляет собой такой способ унификации технологии, при котором для обработки группы деталей устанавливается одинаковое оборудование и оснащение при выполнении всех или отдельных операций. В основе метода лежит классификация, заканчивающаяся формированием группы, т.е. совокупности деталей, характеризующихся общностью оборудования и оснащения, необходимых для обработки детали в целом или отдельных ее поверхностей.

Технологический процесс обработки конкретной детали формируется путем уточнения общих поверхностей с комплексной деталью группы и выбора из группового технологического процесса только тех операций и переходов, которые необходимы для обработки поверхностей заданной детали.

Доработка индивидуального технологического процесса аналогична приведенной выше доработке при использовании при проектировании типовых технологических процессов

## **ЛЕКЦИЯ 8**

### **Методики автоматизированного проектирования технологических процессов**

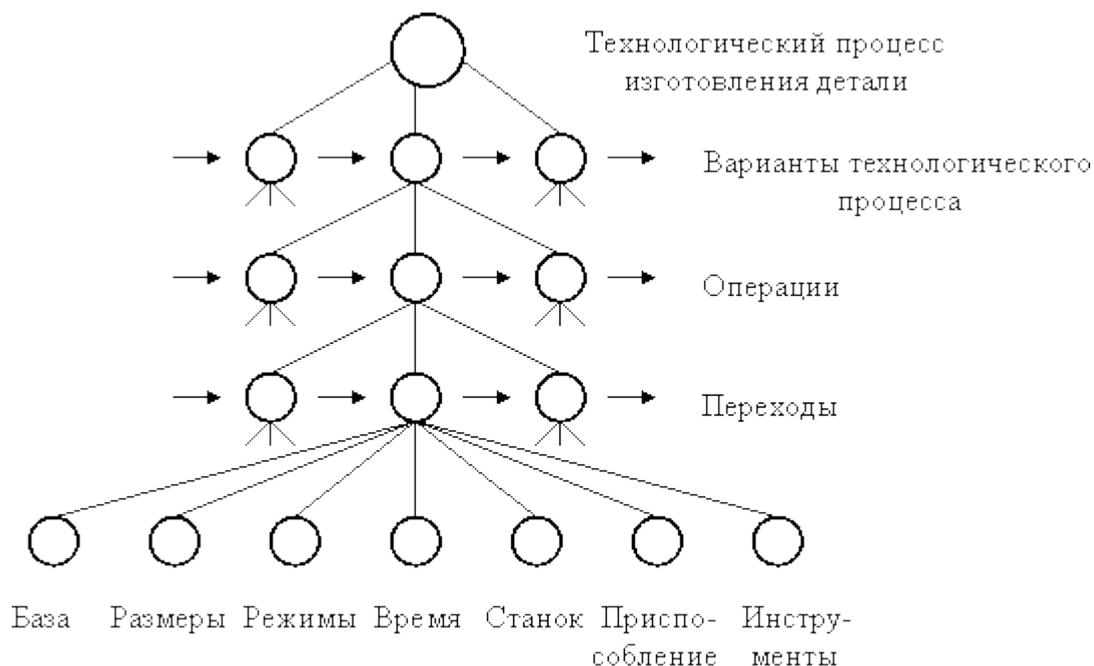


Рис.8.1. Технологический процесс как объект проектирования

Технологический процесс, как объект проектирования, можно представить в виде иерархической структуры, расчлененной на несколько взаимосвязанных уровней (рис.8.1).

В результате такой декомпозиции процесс проектирования технологического процесса сводится к решению задач различной степени детализации на взаимосвязанных уровнях: от формирования состава и структуры маршрута обработки до разработки управляющих программ и расчета режимов резания для обработки отдельных поверхностей.

Процесс формирования технологического процесса в общем случае – совокупность процедур структурного и параметрического синтеза с последующим анализом проектных решений (рис. 8.2).

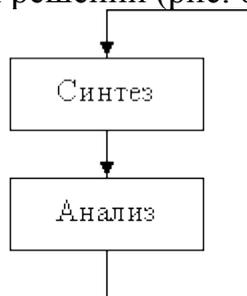


Рис.8.2. Общий принцип формирования технологического процесса

Структурный синтез реализуется на уровнях формирования операций и переходов, а параметрический – на уровне выбора базы, определения межпереходных размеров, расчета режимов резания и т.д. (см. рис. 8.1).

В зависимости от степени полноты реализации синтеза (главным образом структурного) и анализа можно выделить три основные методики автоматизированного проектирования технологического процесса:

1. Метод прямого проектирования (документированного).

2. Метод анализа (адресации, аналога).

3. Метод синтеза.

В реальной САПР технологических процессов может быть реализован один метод или любая комбинация данных методов.

### **Метод прямого проектирования**

Данный метод предполагает, что подготовка проектного документа (технологической карты) возлагается на самого пользователя, выбирающего типовые решения различного уровня из базы данных в диалоговом режиме.

Заранее создается и заполняется технологическая база данных, включающая в себя информацию об имеющихся на предприятии заготовках, станках, приспособлениях, инструментах и т.д. База данных имеет структурированный характер, т.е. четко разделена на разделы, подразделы, страницы, отдельные поля (фразы).

Пользователю представляются меню на разных уровнях проектирования для выбора заготовок, операций, станков, приспособлений, переходов, инструментов и т.д. Выбранная пользователем из базы данных информация автоматически заносится в графы и строки шаблона технологической карты. После этого в режиме редактирования информация при необходимости может редактироваться, а затем распечатываться в форме, предусмотренной соответствующим ГОСТом.

### **Метод анализа**

В его основе лежат полные типовые решения. Данный метод исходит из того, что структура индивидуального технологического процесса не создается заново. Она определяется в соответствии с составом и структурой одного из унифицированных технологических процессов, т.е. соответствующего типового или группового технологического процесса. Это осуществляется путем **анализа необходимости** каждой операции и перехода с последующим уточнением всех решений на уровнях декомпозиции «сверху – вниз». Т.о., этот метод воплощает идею «от общего к частному».

Этот метод в общем случае реализует следующую схему проектирования: ввод описания чертежа детали – определение конструктивно – технологического кода детали – поиск по коду в базе данных приемлемого унифицированного (типового или группового) технологического процесса – анализ его структуры – доработка в соответствии с описанием чертежа детали – оформление индивидуального технологического процесса.

Использование данного метода на этапе разработки и адаптации САПР ТП к условиям конкретного предприятия предполагает большую подготовительную работу. Из множества деталей заводской номенклатуры формируются группы, имеющие общие конструктивно – технологические признаки, способы обработки. Далее возможны два подхода:

1. В каждой группе выбирается деталь – представитель и для нее разрабатывается типовой технологический процесс. Все типовые технологические процессы для всех групп деталей заносятся в ЭВМ. При

разработке индивидуального технологического процесса из типового технологического процесса, как правило, исключаются лишние операции и переходы. Иногда, что гораздо реже, недостающие операции и переходы могут добавляться в режиме ручного редактирования технологического процесса. Далее уточняется оборудование, технологическая оснастка, выбираются или рассчитываются режимы резания, рассчитываются нормы времени.

2. Для каждой группы формируется обобщенная модель всех деталей – комплексная деталь. Она включает все многообразие поверхностей рассматриваемой группы. Для комплексной детали разрабатывается унифицированный (групповой) технологический процесс. Он заведомо является избыточным, т.е. содержит операции и переходы по обработке всех деталей группы. Разработка индивидуального технологического процесса заключается в анализе необходимости включения в него операций и переходов из соответствующего группового технологического процесса. Или, другими словами, из группового технологического процесса исключаются лишние операции и переходы (см. рис.8.3). Затем выполняется, как и в первом случае, так называемая параметрическая настройка: уточнение оборудования, технологической оснастки, выбор или расчет режимов резания и т.д.

Так, например, в САПР «ТехноПро» (распространяется АО «Топ Системы», г. Москва) применен метод классификации деталей, аналогичный методу групповых технологических процессов и противоположный методу типовых технологических процессов. При использовании типовых технологических процессов детали разбиваются на возможно большее количество групп, для каждой из которых разрабатывается типовой технологический процесс. В ТехноПро напротив, как можно большее количество деталей объединяются в одну группу. По мере расширения группы возрастает гарантия того, что технологические процессы изготовления новых деталей будут автоматически спроектированы ТехноПро.

Для автоматического проектирования технологических процессов на основе принципа анализа в ТехноПро необходимо создать базу данных. Для этого нужно сгруппировать детали, в основном по сходству технологии их изготовления. При этом для каждой группы создается общий технологический процесс, который содержит весь перечень операций изготовления всех деталей группы. Для создания общего технологического процесса используются технологические процессы, уже освоенные в производстве. Можно использовать «бумажные» варианты технологических процессов с последующим их «превращением» в электронный вариант или конкретные технологические процессы, созданные в ходе работы с ТехноПро в диалоговом режиме.

Создание общего технологического процесса осуществляется в следующей последовательности. Один из технологических процессов группы принимается за базовый и вводится в виде общего технологического процесса (можно скопировать один из конкретных технологических процессов, созданных в ходе работы в ТехноПро в диалоговом режиме). Затем в него добавляются

недостающие операции и переходы из других технологических процессов (конкретных технологических процессов).

При добавлении выявляются признаки, в зависимости от которых необходимо выбирать ту или иную операцию, переход или маршрут. Проверка каждого из признаков вносится в виде условий в базу ТехноПро. Примерами таких условий являются проверки: вида заготовки, марки или твердости материала детали, габаритов детали, наличия определенных элементов конструкции (поверхностей), их размеров и т.д.

После создания общего технологического процесса можно приступать к автоматическому проектированию индивидуальных технологических процессов.

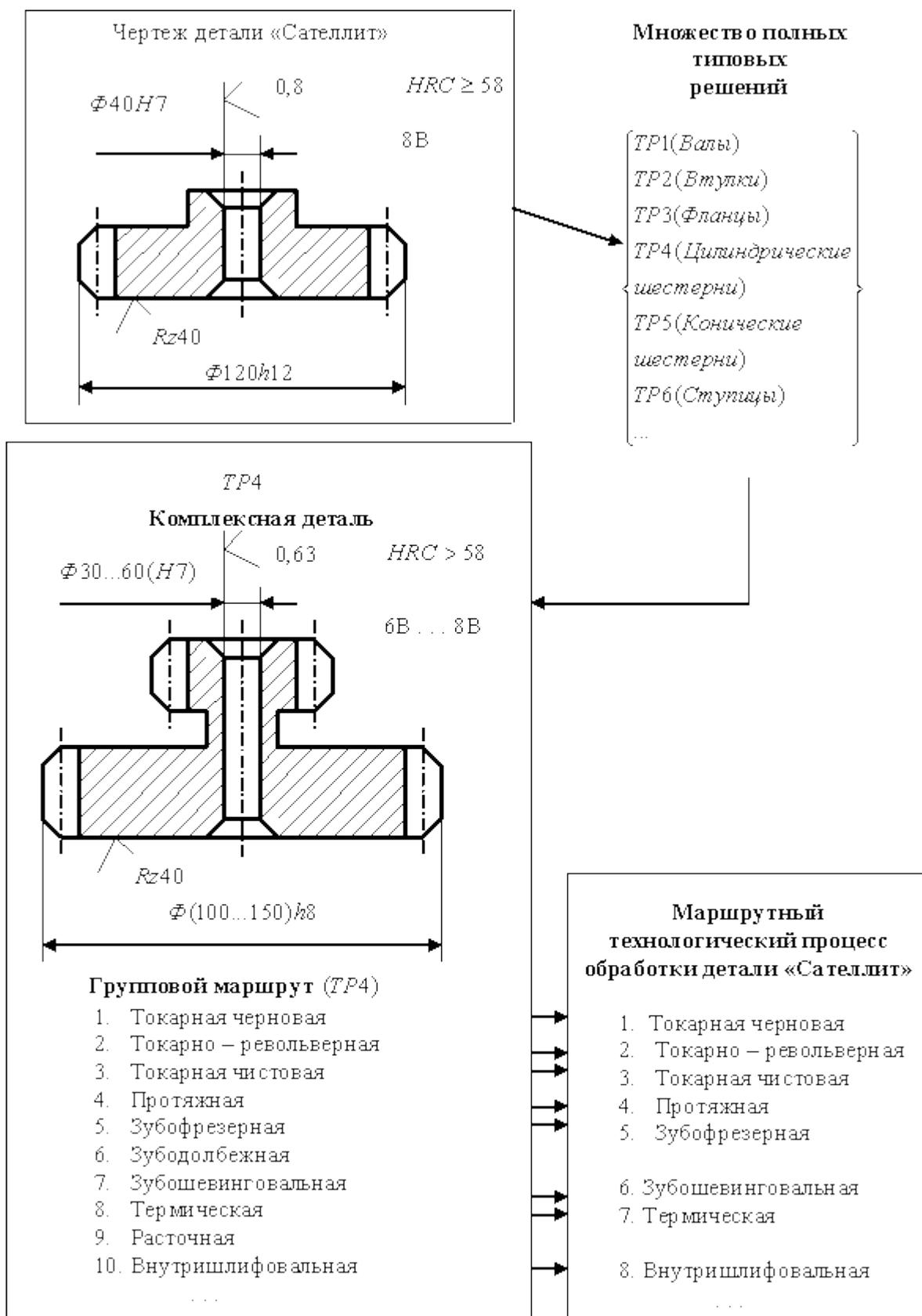


Рис. 8.3. Схема проектирования маршрута обработки на базе группового технологического процесса

Для этого достаточно создать описание конструкции детали, для которой необходимо спроектировать технологический процесс ее обработки. Описание

можно взять (считать автоматически) с электронной версии параметрического чертежа детали, созданного посредством системы геометрического моделирования T – FLEX (разработка уже упомянутой ранее фирмы «Топ Системы»). Описание чертежа детали можно создать также без использования графических средств, вводя необходимые данные с клавиатуры. Для ускорения можно скопировать подобную деталь из уже имеющихся в базе системы конкретных технологических процессов или скопировать макет общего технологического процесса.

Описание чертежа детали заключается в заполнении общих сведений о детали (данные из штампа и технические требования чертежа) и параметров элементов конструкции (поверхностей), имеющихся на чертеже детали.

После создания описания детали ей назначается общий технологический процесс соответствующей группы деталей. Затем запускается процесс автоматического формирования технологического процесса. В течение этого процесса ТехноПро выбирает из назначенного общего технологического процесса операции и переходы, необходимые для изготовления каждого элемента конструкции детали и переносит их в конкретный технологический процесс. Затем из выбранного перечня система отбрасывает операции и переходы, обеспечивающие лучшее качество изготовления поверхностей детали по сравнению с указанными требованиями на чертеже.

После этого система отбрасывает из конкретного технологического процесса операции и переходы, в которых условия их выбора не выполнены. Далее ТехноПро производит расчеты, имеющиеся в условиях оставшихся операций и переходов.

Затем система рассчитывает технологические размерные цепи с учетом значений припусков, указанных в переходах общего технологического процесса.

Далее система выполняет условия подбора технологического оснащения операций и переходов и выполняет имеющиеся в этих условиях расчеты режимов обработки и норм изготовления.

В конце процесса проектирования система формирует тексты переходов, заменяя имеющиеся в них параметры на конкретные значения. Значения параметров выбираются в зависимости от типа выполняемой обработки – предварительной или окончательной.

Создавая общие технологические процессы и условия, технолог «обучает» ТехноПро проектированию технологии конкретного (своего) производства. Однажды обучив систему, технолог может быть уверен, что ТехноПро никогда не забудет производственных нюансов проектирования технологических процессов.

Метод анализа является основным методом проектирования технологических процессов при эксплуатации гибких производственных систем. Его применение дает наибольший эффект при внедрении на производстве групповых и типовых технологических процессов. Это объясняется тем, что этот метод не нарушает существующей специализации и традиций производственных подразделений, упрощает процесс проектирования,

не требует трудноформализуемых процедур синтеза новых технологических процессов.

## ЛЕКЦИЯ 9

### Метод синтеза в САПР технологических процессов

В основе метода синтеза лежат локальные типовые решения. Алгоритмы построения САПР на основе метода синтеза существенно отличаются друг от друга. Причины этого состоят в следующем:

1. Процедуры разработки (синтеза) технологических процессов относятся к разряду трудноформализуемых.
2. Ряд САПР, построенных по методу синтеза, ориентированы на проектирование технологических процессов изготовления деталей определенного класса (например, «тел вращения»).
3. С целью исключения циклов при разработке технологии и обеспечения линейной стратегии проектирования некоторые разработчики САПР отошли от классической схемы проектирования технологических процессов «маршрут – операция – переход» и т.д.

Ниже рассмотрим один из подходов в реализации метода синтеза в САПР технологических процессов.

**Реализация линейной стратегии проектирования в САПР технологических процессов (версия кафедры «Технология машиностроения» Ярославского государственного технического университета).**

Упрощенная схема этого метода:

1. Ввод описания чертежа детали.
2. Синтез маршрутов (планов) обработки для всех поверхностей детали.
3. Синтез принципиальной схемы технологического процесса.
4. Синтез маршрута обработки детали.
5. Синтез состава и структуры операций технологического процесса.
6. Доработка технологического процесса (расчет режимов резания, нормирование).
7. Оформление документации.

Ввод описания чертежа детали и оформление документации являются общими этапами для всех методик проектирования технологических процессов в САПР. Они включены для полноты картины проектирования технологического процесса. В данной лекции первый этап не рассматривается, а седьмой – в укороченной интерпретации.

### Синтез маршрутов обработки поверхностей

Маршрут обработки поверхности (МОП) – это последовательность методов (видов, переходов одного метода) обработки, необходимых для достижения

требуемых чертежом детали параметров поверхности. Такими параметрами являются:

- геометрический тип поверхности;
- точность размера;
- шероховатость;
- вид термообработки и т.д.

Между методами обработки и параметрами поверхности существует связь, описываемая функцией

$$M_i : P_i \rightarrow P_{i+1}.$$

Т.е. поверхность с параметрами более низкого качества  $P_i$  преобразуется в поверхность с параметрами более высокого качества  $P_{i+1}$  посредством метода  $M_i$

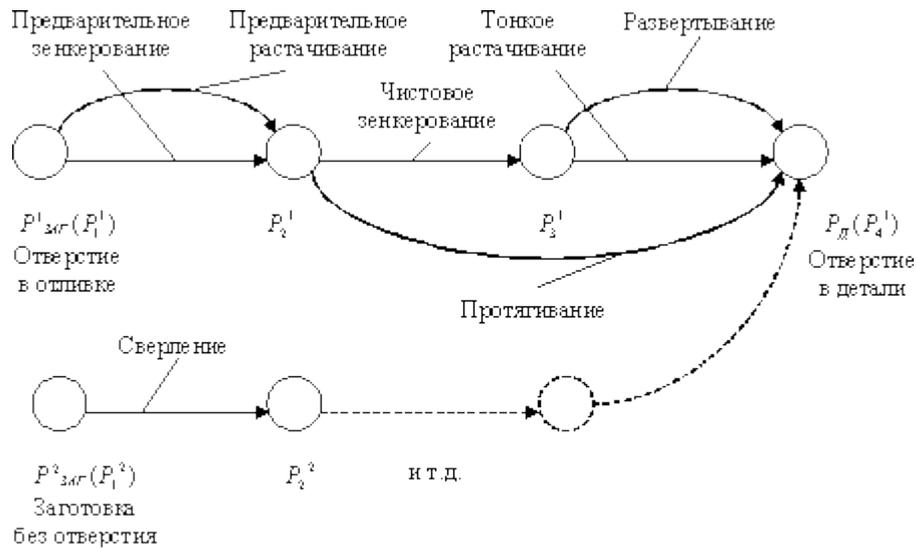


Рис.9.1. Пример представления вариантов обработки поверхности детали

Любая последовательность дуг графа, приводящая из вершины (вершин)  $P_{заг}$ , характеризующей (характеризующих) поверхность заготовки, в вершину  $P_{д}$ , соответствующую поверхности детали, представляет вариант МОП.

Количество возможных методов обработки и МОП очень велико. На конкретном предприятии оно ограничивается возможностями существующего оборудования. Это сокращает количество альтернативных МОП, но проблема (задача) выбора конкретного МОП для конкретной поверхности остается.

Большинство алгоритмов назначения **возможных МОП** в САПР технологических процессов строится на основе **таблиц соответствий**. Их структура и принципы (алгоритмы) работы с ними будут рассматриваться и далее.

Пример. Выбор возможных вариантов маршрута обработки торцевой поверхности детали типа «Тело вращения». Возможные маршруты обработки поверхности и таблица соответствий для их выбора показаны соответственно в таблицах 9.1 и 9.2.

Таблица 9.1

**Маршруты обработки поверхностей деталей типа «тел вращения»  
(фрагмент базы данных)**

Код МОП	Код метода обработки	Вид обработки	Параметры поверхности после обработки	
			Квалитет	Ra, мкм
12	100	Черновое точение	16	25
	101	Получистовое точение	14	12,5 ... 6,3
13	100	Черновое точение	16	25
	101	Получистовое точение	14	12,5 ... 6,3
	102	Чистовое точение	13 ... 11	3,2
14	100	Черновое точение	16	25
	101	Получистовое точение	14	12,5 ... 6,3
	102	Чистовое точение	13 ... 11	3,2
	103	Тонкое точение	11 ... 8	1,6
15	100	Черновое точение	16	25
	101	Получистовое точение	14	12,5 ... 6,3
	502	Получистовое шлифование	11 ... 8	3,2

Таблица 9.2

Таблица соответствий для выбора МОП (фрагмент)

Код М О П	Условия выбора МОП													
	Код типа поверхности			Точность размера, квалитет					Ra, мкм					
	Цил.	Торц.	...	16	14	13	11	...	25	12,5	3,2	1,6	...	...
						...	...			...	...	...	...	...
						11	8			6,3				
12	0	1	...	0	1	0	0	...	0	1	0	0	...	...
13	0	1	...	0	0	1	0	...	0	0	1	0	...	...
14	0	1	...	0	0	0	1	...	0	0	0	1	...	...
15	0	1	...	0	0	0	1	...	0	0	1	0	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Примечание: границы диапазонов (13 ... 11; 11 ... 8; 12,5 ... 6,3) входят в соответствующий диапазон.

**Левая часть таблицы соответствий**, обозначающая строки, представляет собой множество типовых решений (здесь множество МОП).

**Верхняя часть таблицы соответствий**, обозначающая столбцы, - условия выбора или применимости типовых решений (здесь МОП) и их числовые значения.

**Центральная часть таблицы соответствий** – булева матрица, обозначающая связи между условиями выбора типовых решений (здесь МОП) и самими типовыми решениями (1 – наличие связи, 0 – отсутствие связи).

По имеющемуся комплексу исходных данных из таблицы соответствий принимаются те решения, в строках которых булева матрица имеет единицы для всех значений факторов, входящих в условия применимости. Из таблицы соответствий может быть выбрано одно или несколько решений.

Например, требуется выбрать маршрут обработки поверхности детали со следующими параметрами:

- торцовая поверхность, 14 квалитет, Ra 12,5 – МОП с кодом «12»;
- торцовая поверхность, 11 квалитет, Ra 3,2 – МОП с кодами «13» и «15».

Если выбрано одно решение, то оно окончательное. Если выбрано несколько решений, то окончательное из них выбирается с привлечением методов оптимизации или пользователем (технологом).

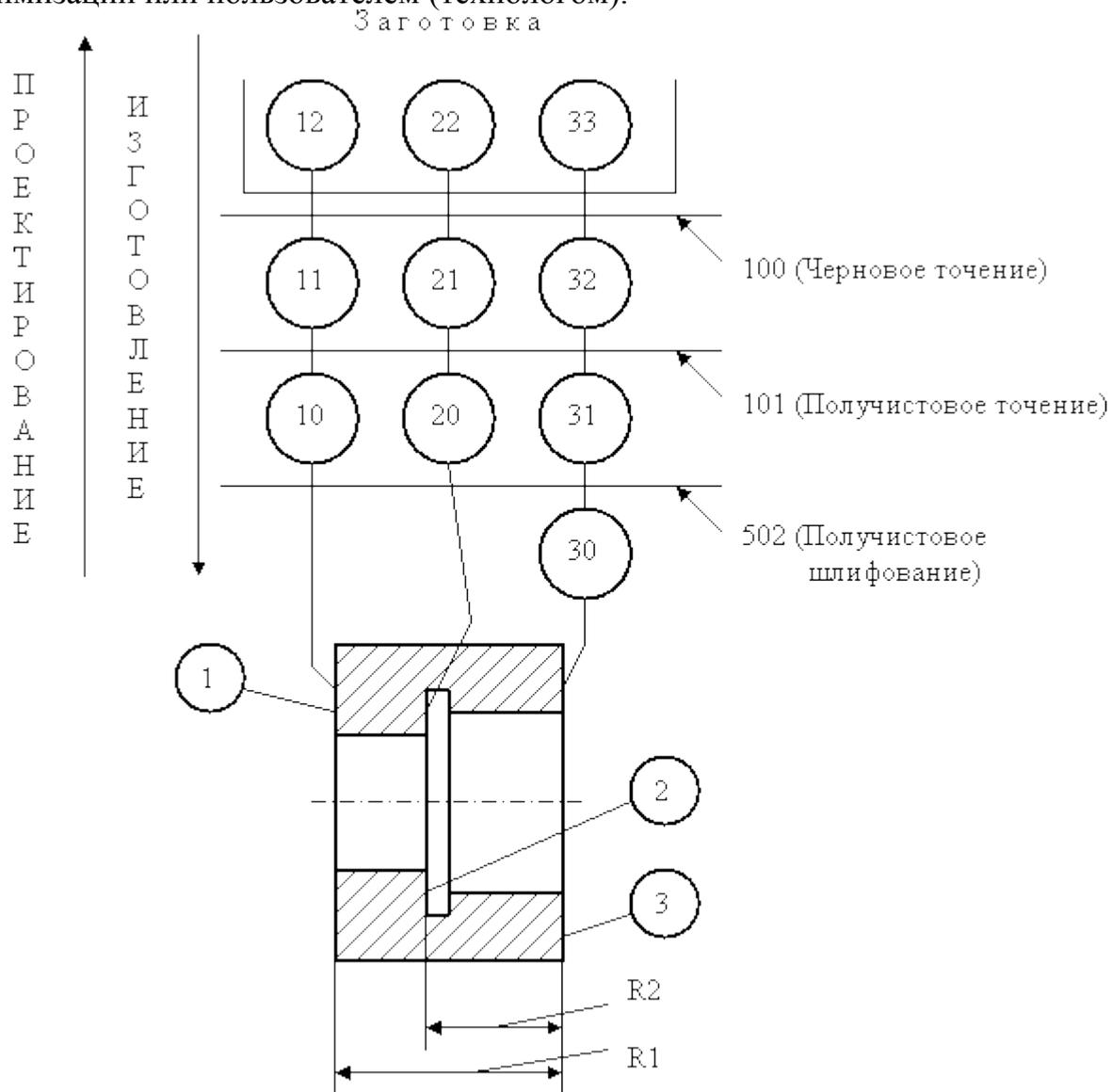


Рис.9.2. Результаты синтеза маршрутов обработки торцовых поверхностей детали «втулка»

Рассмотрим еще пример. Покажем результаты синтеза маршрутов обработки трех торцовых поверхностей детали «втулка» в виде трех линейных графов (на базе предыдущих таблиц) – рис.9.2.

На рисунке 9.2 приняты следующие обозначения: 10, 11, 12, 20, . . . , 31, 32, 33 – промежуточные состояния поверхностей детали «втулка». Например, 31 – первое промежуточное состояние третьей поверхности (по направлению «от детали»).

### Синтез принципиальной схемы технологического процесса

Дальнейшая задача заключается в том, чтобы из отдельных МОП построить допустимые варианты технологического процесса обработки детали. Один из подходов заключается в следующем. В базе данных хранится **принципиальная**

**схема**, разбивающая будущий технологический процесс на последовательность отдельных **этапов обработки**. Наличие принципиальной схемы позволяет вести проектирование технологического процесса в порядке, обратном изготовлению детали, т.е. от заключительных этапов с известных из чертежа параметров детали, к черновым этапам, заканчивая выбором размеров и формы заготовки.

Принципиальная схема технологического процесса построена на основе анализа обработки деталей различных классов с учетом возможных комбинаций термической и последующей механической обработки. Универсальная принципиальная схема, разработанная Цветковым В.Д. состоит из 13 этапов (таблица 9.3).

**Таблица 9.3**

**Универсальная принципиальная схема технологического процесса (по Цветкову В.Д.)**

Номер этапа	Наименование	Назначение и достигаемые параметры
Э1	Заготовительный	Получение заготовки и ее термообработка
Э2	Черновой	Съем лишних напусков и припусков
Э3	Термический 1	Термообработка: улучшение, старение
Э4	Получистовой 1	Точность 11...13 квалитет, Ra 2,5 мкм
Э5	Термический 2	Цементация
Э6	Получистовой 2	Съем припуска для предохранения от цементации
Э7	Термический 3	Закалка, улучшение
Э8	Чистовой 1	Точность 6, 7 квалитет, Ra 1,25 мкм
Э9	Термический 4	Азотирование, старение
Э10	Чистовой 2	Съем припуска для предохранения от азотирования
Э11	Чистовой 3	Точность 5 квалитет, Ra 0,16 мкм
Э12	Гальванический	Хромирование, никелирование и др.
Э13	Доводочный	Ra 0,04 мкм

**Этап** – часть технологического процесса обработки детали, включающая однородные по достигаемым параметрам методы обработки различных поверхностей и детали в целом.

К одному этапу относятся, например, тонкое фрезерование и тонкое (торцовое) точение, т.к. оба этих метода обеспечивают одинаковые параметры точности и шероховатости поверхности.

С помощью условий принципиальной схемы анализируется необходимость при обработке детали каждого из 13 этапов, и выявляются те переходы из выбранных ранее в каждом МОП, которые должны быть выполнены на данном этапе. Отнесение переходов МОП и самих промежуточных поверхностей к этапам принципиальной схемы технологического процесса производится путем сравнения параметров поверхности заготовки и детали, обеспечиваемых переходом МОП, с параметрами, характеризующими один из 13 этапов схемы (выбирается самый близкий этап).

В результате распределения переходов по этапам каждый этап будет содержать переходы одного или разных методов обработки с одинаковыми (или близкими) параметрами точности, шероховатости и т.д.

Распределим МОП по этапам принципиальной схемы для примера со «штулкой» с учетом закалки и последующего шлифования торца 3 (рис. 9.3).

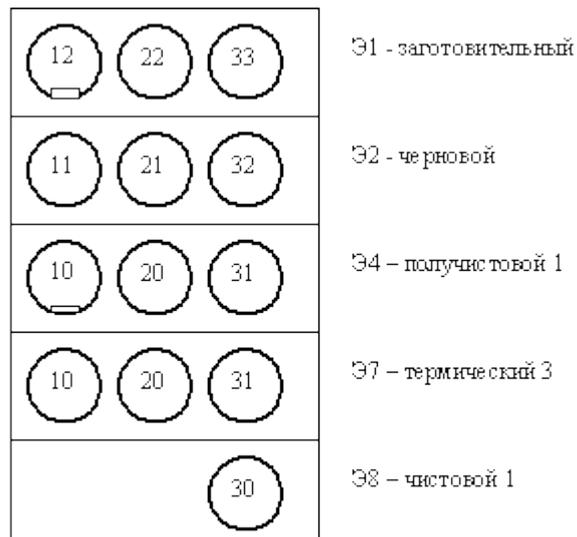


Рис.9.3. Распределение МОП по этапам принципиальной схемы для примера со «втулкой»

## Синтез маршрута обработки детали

Исходные данные для проектирования на уровне маршрута обработки детали:

1. Полученная ранее структура принципиальной схемы этапов технологического процесса.
2. Сформированный набор методов – переходов одного или разных МОП в каждом этапе.

Каждый переход записан в памяти компьютера в промежуточные массивы в виде многозначного кода. Этот код состоит из номера получаемой поверхности и кода метода обработки. Например, код 31101 означает:

- 3 – третья поверхность детали;
- 1 – первое промежуточное состояние этой (третьей поверхности) ;
- 101 – метод обработки (получистовое точение), в результате которого данное промежуточное состояние достигнуто.

Код метода обработки определяет код применяемого оборудования.

Переходы одного метода обработки, коды которых имеют одинаковый код оборудования (или метода обработки), образуют укрупненную операцию этапа. Сформируем массив кодов переходов для обработки детали «втулка» - см. рис.9.4.

12000	22000	33000	→	Операция заготовительная
11100	21100	32100	→	Операция токарная черновая
10101	20101	31101	→	Операция токарная получистовая
10999	20999	31999	→	Операция термическая
0	0	30502	→	Операция шлифовальная получистовая

Рис. 9.4. Массив кодов переходов для обработки детали «втулка»

Для укрупненных операций этапов характерна максимальная концентрация переходов, что равносильно одновременной обработке всех поверхностей. В производственных условиях такая операция не всегда может быть выполнена. Она требует разукрупнения (дифференциации) на несколько простых операций. Основой формирования простых операций является упорядочение обработки поверхностей путем выбора обоснованной последовательности установов.

Наличие нескольких укрупненных операций разных методов обработки помимо дифференциации ставит задачу определения последовательности их выполнения.

Таким образом, при формировании маршрута обработки детали решаются следующие задачи:

1. Определяется состав операций.
2. Укрупненные операции дифференцируются на простые.
3. Формируется последовательность операций на каждом этапе.
4. Выбирается тип оборудования для каждой операции.

Данные задачи решаются следующим образом:

1. Расчленение исходного набора переходов этапа на укрупненные операции выполняются программным модулем, представляющим собой процедуру сортировки кодов отобранных в этап переходов по признаку типа оборудования.

2. Дифференциация операций осуществляется путем определения их рационального состава и последовательности обработки. Алгоритмы основаны на анализе отношений между поверхностями детали:

- **наложения**, когда одна поверхность расположена на другой и поэтому не может быть обработана раньше;

- **точности взаимного расположения**, когда в первую очередь должна быть обработана базовая поверхность, и только затем поверхности, точности взаимного расположения которых заданы относительно данной базовой поверхности и т.д.

3. Формирование последовательности операций выполняется путем выявления признаков технологической совместимости и предшествования. Две операции попарно совместимы, если состояние детали на выходе одной операции может быть исходной для другой. Так фрезерованию шпоночной

канавки должна предшествовать токарная обработка цилиндрической поверхности, сверлению центрального отверстия – фрезерование торца и т.д. Источником информации для выбора оборудования являются технологические признаки кода перехода. Конкретная модель станка определяется по таблицам соответствий или обращением к базе данных с учетом габаритных размеров детали (сопоставляется с размерами рабочей зоны станка), требований точности, величины партии и других факторов.

### **Синтез состава и структуры операций**

Задача данного уровня декомпозиции проектирования состоит в том, чтобы определить оптимальную последовательность переходов, рациональную форму, окончательные и промежуточные размеры заготовки.

Для технологической операции, не говоря уже о технологическом процессе в целом, характерна **многовариантность**, которая предполагает существование **оптимального решения**. Поиск (синтез) оптимальной операции включает в себя две задачи:

1. **Структурную оптимизацию** – создание оптимальной структуры операции (элементов системы СПИД, порядка выполнения переходов).
2. **Параметрическую оптимизацию** – определение оптимальных параметров (припусков и межпереходных размеров, режимов резания).

Об оптимизации технологических процессов будем говорить далее. Здесь коротко. В основе решения задач структурной оптимизации заложен перебор конечного множества вариантов, состоящий из трех этапов:

1. Собственно синтез очередного варианта.
2. Анализ (оценка) варианта.
3. Принятие решения о замене ранее выбранного варианта на новый вариант или о прекращении синтеза новых вариантов.

Для оценки уровня создаваемых вариантов вводится целевая функция, выражающая качество варианта. Она формируется на основе критерия оптимальности, в качестве которого могут выступать:

- технологическая себестоимость детали (операции);
- производительность операции и т.д.

В связи с тем, что рассчитать значение целевой функции можно только после того, как будет полностью синтезирована структура операции и выполнена ее параметрическая оптимизация, поиск оптимального варианта структуры методом перебора требует значительных затрат машинного времени. Поэтому на каждом шаге вводятся косвенные или эвристические (основанные на предыдущем опыте проектирования) критерии. Руководствуясь ими, отбрасываются малоэффективные варианты. В итоге, на заключительном этапе (шаге) проектирования анализируются лишь несколько наиболее рациональных вариантов, среди которых и выбирается оптимальный вариант.

Содержание отдельных шагов, на которые расчленяется синтез операции, реализуется независимыми программными модулями. Взаимодействие модулей организуется в рамках итерационного алгоритма, многократно обращающегося к одним и тем же шагам в ходе улучшения первоначальной структуры. Количество вариантов структуры при использовании такого алгоритма

существенно меньше, чем при полном переборе, но нет гарантии получения наилучшего решения.

Примеры шагов такого алгоритма:

- выбор вариантов технологических баз и схемы базирования (одна из трудноформализуемых процедур, выполняется, как правило, в диалоговом режиме);
- определение последовательности обработки поверхностей и т.д.

### **Доработка технологического процесса**

На этом этапе производится определение режимов резания и нормирование технологического процесса. Определение режимов резания в САПР технологических процессов проводится одним из трех способов:

1. Выбор нормативных значений режимов резания из базы данных по известному набору исходных данных (точности, шероховатости, материала заготовки и т.д.).

2. Решение задачи параметрической оптимизации режимов резания методом линейного программирования для случая использования степенных зависимостей (в историческом плане – это один из первых примеров использования ЭВМ в технологическом проектировании).

3. Решение задачи параметрической оптимизации режимов резания методами нелинейного программирования (в случае прямого использования нелинейных зависимостей для ограничений и целевых функций).

### **Оформление документации**

Это заключительный этап проектирования технологического процесса. На нем вся рассчитанная и хранящаяся в разных промежуточных массивах технологическая информация сводится в единый документ – маршрутную или операционную технологическую карту. Шаблоны этих карт содержатся в составе постоянной информации базы данных.

Возможны и существуют и другие подходы (методы) синтеза в ходе автоматизированного проектирования технологических процессов.

## **ЛЕКЦИЯ 10**

### **Оптимизация технологических процессов в САПР ТП**

Задачи проектирования технологических процессов (ТП) являются многовариантными. К многовариантным относятся, например, задачи выбора оборудования, режущего инструмента, расчета режимов резания и т.д. В разрабатываемом ТП число возможных комбинаций переходов, схем базирования, методов обработки и компоновок операций даже для простых деталей значительно, а для более сложных возрастает чрезвычайно.

Разные варианты ТП изготовления одной и той же детали вследствие различий в структуре, применяемом оборудовании, инструменте, режимах

резания и т.д. имеют различные выходные показатели: производительность, себестоимость, расход металла, загрузку оборудования и др.

Наличие нескольких вариантов решения задачи (вариантов ТП) естественным путем приводит к задаче выбора **наилучшего варианта**. В нашем случае таковым будет вариант ТП, обеспечивающий выполнение в конкретных производственных условиях все требования чертежа детали и дающий наилучшее значение выходных показателей. Такой технологический процесс носит название **оптимального**. Таким образом, задача проектирования ТП по своей природе является оптимизационной.

## Постановка задачи проектирования оптимального ТП

Технологический процесс называется оптимальным, если он обеспечивает:

1. Выполнение системы ограничений, отражающих условия протекания ТП и требования, предъявляемые к нему и детали.
2. Экстремум целевой функции.

ТП, оптимальный по одному критерию, может быть далеко не оптимальным по другому. Например, максимум производительности операции может не соответствовать минимуму ее себестоимости. Поэтому при постановке задачи проектирования оптимального ТП весьма важным является выбор критерия оптимальности.

Известен и применяется ряд различных критериев оптимальности, используемых для оптимизации как ТП в целом, так и при решении отдельных частных технологических задач. Наиболее часто используются следующие критерии оптимальности ТП:

1. Штучное время -  $T_{шт}$  (целевая функция  $T_{шт} \rightarrow \min$ ).
2. Производительность  $Q$  (целевая функция  $Q \rightarrow \max$ ).
3. Себестоимость детали  $C$  (целевая функция  $C \rightarrow \min$ ).

В целом же для постановки задачи оптимизации ТП (как и любой другой задачи оптимизации) необходимо сформировать математическую модель процесса обработки детали (сборки изделия), которая должна включать в себя:

1. Критерий (критерии) оптимальности ТП.
2. Целевую функцию.
3. Систему ограничений.
4. Четко определенные входные, выходные и внутренние параметры.
5. Управляемый (варьируемый) параметр или управляемые (варьируемые) параметры, которые выделяются из числа внутренних параметров.

После формирования математической модели необходимо определить (выбрать, разработать) метод решения задачи оптимизации.

Различают три вида оптимизации ТП:

1. Структурную.
2. Параметрическую.
3. Структурно – параметрическую.

**Структурная оптимизация** – это определение оптимальной структуры ТП (вида заготовки, технологического маршрута, модели оборудования, типоразмера инструмента и т.д.).

**Параметрическая оптимизация** ТП заключается в расчете оптимальных припусков и межпереходных размеров, режимов резания и т.д.

**Структурно – параметрическая** оптимизация представляет собой комбинацию двух первых.

Параметрическая оптимизация ТП на примере расчета оптимальных режимов резания представлена подробно в дисциплине «Математическое моделирование процессов в машиностроении» в курсе лабораторных работ и здесь не рассматривается.

## Структурная оптимизация ТП

Принципиальное отличие структурной оптимизации от параметрической оптимизации состоит в сущности оптимизируемых параметров. При структурной оптимизации они по своей природе являются неупорядоченными переменными. В параметрической оптимизации параметры представляют собой переменные, для которых существует понятие больше или меньше и которые естественным образом могут быть размещены в координатной системе. В структурной же оптимизации эти параметры не являются по существу числовыми. Параметрами структурной оптимизации являются, например, модели станков, типы инструментов, схемы базирования, т.е. варианты типовых решений.

Структурная оптимизация рассматривает последовательно каждую задачу технологического проектирования. Таким образом, весь процесс проектирования расчленяется на несколько взаимосвязанных уровней. Процесс проектирования на каждом уровне представляет собой многовариантную процедуру. В результате проектирования на всех уровнях образуется граф допустимых вариантов ТП, отвечающих заданным ограничениям – рис.10.1.

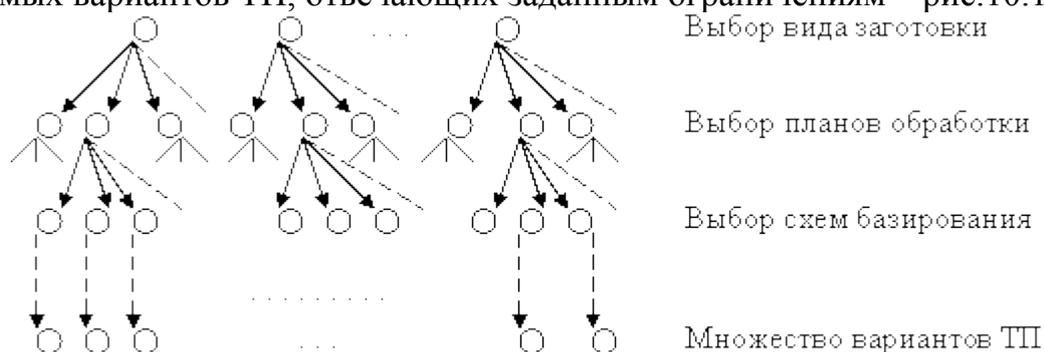


Рис.10.1. Граф допустимых вариантов ТП

**Задача структурной оптимизации** состоит в поиске ветви графа, обеспечивающей экстремум целевой функции. В силу неупорядоченности параметров основной метод структурной оптимизации состоит в последовательном переборе возможных вариантов. Чтобы выбрать один оптимальный вариант, необходимо до конца спроектировать очень большое

количество допустимых техническими и технологическими ограничениями вариантов ТП.

Для реального ТП изготовления деталей даже средней сложности таких вариантов может быть огромное множество. Перебор всех вариантов даже при помощи современных быстродействующих компьютеров занимает очень большое время. Для уменьшения времени проектирования используются следующие приемы.

**Прием 1.** Эффективность процесса проектирования можно резко повысить, если организовать отбор рациональных вариантов проектных решений на каждом уровне проектирования. Однако при этом возникает проблема формирования критериев промежуточного отбора наиболее рациональных вариантов на различных уровнях. Например, на уровне (этапе) выбора заготовки анализ вариантов можно производить по критерию «себестоимость заготовки». Данный критерий можно достоверно рассчитать на этом этапе. Но указанный критерий не является до конца объективным. «Дешевая» заготовка (например, круглый прокат для изготовления ступенчатого вала) даст «дорогую» механическую обработку. А «дорогая» заготовка (например, штамповка для изготовления такого же вала) обеспечит более «дешевую» механическую обработку. Целесообразно, поэтому, использовать в качестве критерия суммарную стоимость заготовки и механической обработки. Однако стоимость механической обработки можно рассчитать только после разработки всего ТП. Следовательно, пропадает смысл «поэтапной оптимизации».

Но, все – таки, если удачно назначить критерии на каждом уровне проектирования, такой подход имеет смысл. При его применении может оказаться несколько равнозначных вариантов ТП, но среди них уже гораздо легче выбрать оптимальный вариант. Общая модель процесса технологического проектирования с поэтапным отсечением решений на каждом уровне может быть представлена следующим образом – см. рис.10.2.



Рис.10.2. Общая модель процесса технологического проектирования с поэтапным отсечением решений на каждом уровне

**Прием 2.** «Предпроектная оптимизация». Рассмотрим этот прием на примере выбора модели круглошлифовального станка. Множество **возможных** вариантов моделей круглошлифовальных станков определяется с помощью таблиц соответствий. Фрагмент такой таблицы приведен ниже в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Фрагмент таблицы соответствий для выбора возможных моделей круглошлифовальных станков

Модели станков ( типовые решения)	Условия применимости							
	Максимальный диаметр детали D, мм			Максимальная длина детали L, мм			...	
	$\leq 200$ ( $x_{11}$ )	$\leq 280$ ( $x_{12}$ )	...	$\leq 500$ ( $x_{21}$ )	$\leq 630$ ( $x_{22}$ )	$\leq 900$ ( $x_{23}$ )	...	...
312М	0	0	...	1	0	0	...	...
3Б151	1	0	...	1	1	0	...	...
3Б161	0	0	...	1	1	1	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Левая часть таблицы, обозначающая ее строки, представляет собой множество типовых решений. Верхняя часть таблицы, обозначающая ее столбцы, - условия применимости и их числовые значения. Центральная часть таблицы – булева матрица соответствий, в которой зафиксированы связи между решениями и определяющими их применимость значениями условий. Наличие связи обозначают единицей, отсутствие – нулем. Иногда вместо единицы применяют штриховку соответствующей клетки, вместо нуля клетку оставляют незаштрихованной.

По имеющемуся комплексу исходных данных из таблицы соответствий принимаются те решения, в строках которых булева матрица имеет единицы для всех значений факторов, входящих в условия применимости.

На базе таблиц соответствий строятся алгоритмы, позволяющие выбрать **множество допустимых решений**, из которых путем последовательного перебора выбираются наилучшие решения согласно тому или иному критерию оптимальности.

Но и при локализованной структурной оптимизации перебор и анализ всех допустимых решений, выбираемых из таблиц соответствий, занимает большое время. Для сокращения времени счета при структурной оптимизации с использованием таблиц соответствий производят так называемую **предпроектную оптимизацию** на стадии разработки информационного обеспечения. Для этого используют **графики соответствий**.

Построим график соответствий для одного из условий применимости, например, для первого – см. табл. 10.1. Критерий оптимизации – себестоимость  $C$ , соответственно, целевая функция  $C \rightarrow \min$ . Примем  $\mathcal{J}_i$ - типовые решения (здесь – модели станков),  $x_j$ - диапазоны условий применимости. Пусть количество типовых решений (моделей станков) равняется не трем, а семи, количество диапазонов в первом условии применимости – пять.

График соответствий показан на рис. 10.3.

Соединяя линией решения, имеющие минимальную себестоимость, получаем линию минимальной себестоимости. Решения, лежащие на этой линии, называют предпочтительными.

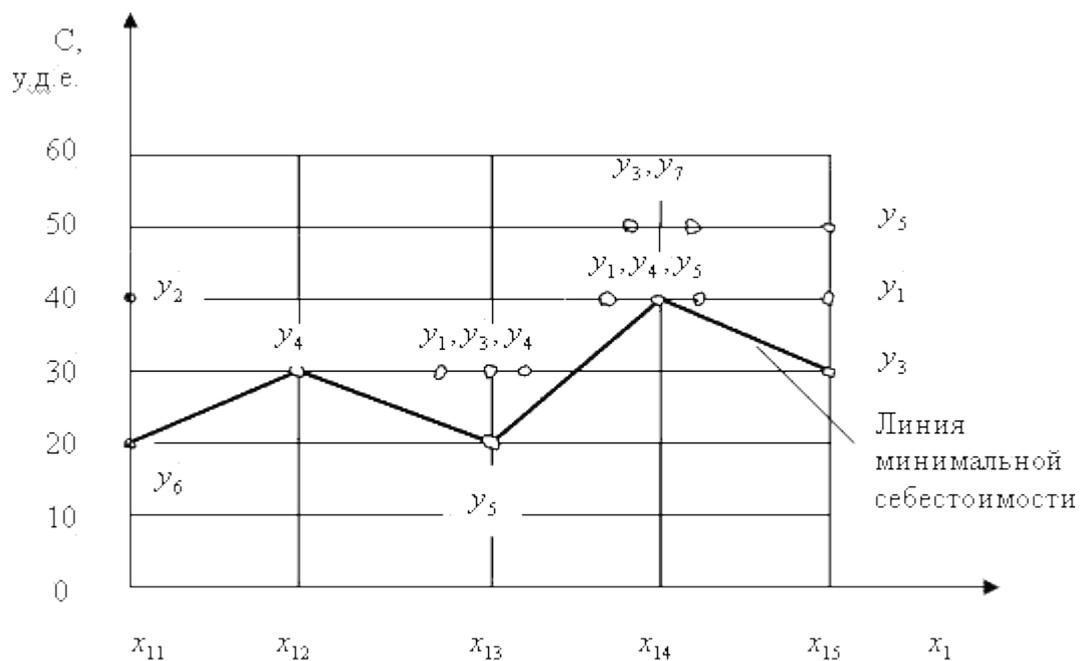


Рис. 10.3. График соответствий и линия минимальной себестоимости

Построим теперь таблицу соответствий, в которой единицы заменены штриховкой и предпочтительные решения выделены звездочками – см. табл. 10.2.

Таблица 10.2

Таблица соответствий для первого условия применимости

$y_i$	Диапазоны условия применимости $x_1$				
	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$
$y_1$			//////	*****	//////
$y_2$	//////				
$y_3$			//////	//////	*****
$y_4$		*****	//////	*****	
$y_5$			*****	*****	//////
$y_6$	*****				
$y_7$				//////	

Другими словами в таблице штриховкой показаны технически возможные решения, звездочками – экономически эффективные решения.

Поиск решений в таблице соответствий сначала осуществляется по предпочтительным решениям. В случае отсутствия подходящего предпочтительного решения поиск производится по оставшимся допустимым.

Такой подход эффективен для случаев наличия экстремума целевой функции. Но в ряде случаев решение получается неопределенным. Так, например, в нашем случае для диапазона условия применимости  $x_{14}$  имеется несколько эффективных решений.

**Прием 3.** Следующим шагом в развитии предпроектной оптимизации является переход от булевых матриц соответствий к оценочным матрицам. В

этом случае в соответствующих клетках матрицы соответствий проставляются значения себестоимости с графика соответствий – см. табл.10.3.

Таблица 10.3

Оценочная матрица					
$y_i$	Диапазоны условия применимости $x_j$				
	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$
$y_1$	$\infty$	$\infty$	30	40	40
$y_2$	40	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$y_3$	$\infty$	$\infty$	30	50	30
$y_4$	$\infty$	30	30	40	$\infty$
$y_5$	$\infty$	$\infty$	20	40	50
$y_6$	20	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$y_7$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	50	$\infty$

Подобные матрицы заполняются для всех условий применимости.

Алгоритм поиска оптимального решения по оценочной матрице состоит в поиске одноименной строки в оценочных матрицах для всех диапазонов условий применимости, обеспечивающей наименьшую сумму затрат для данного условия задачи.

Рассмотренная процедура повторяется для каждого уровня проектирования, приводя в конечном итоге к варианту с оптимальной структурой.

## ЛЕКЦИЯ 11

### Информационный фонд и его организация на ЭВМ

При автоматизированном проектировании для удовлетворения потребности прикладных программ и подсистем САПР, а также запросов пользователей в диалоговом режиме возникает необходимость в машинном представлении данных.

**Информационный фонд САПР** – это совокупность всех необходимых для функционирования САПР данных.

**Информационное обеспечение САПР** – это совокупность информационного фонда и средств его ведения, т.е. средств создания, реорганизации данных и обеспечения доступа к ним с использованием ЭВМ.

В состав информационного фонда входят:

- нормативно – справочная информация (сведения о заготовках, типовых маршрутах обработки, станках, инструментах и т.д.);
- записываемые временно данные, которые являются результатом функционирования одной подсистемы САПР и которые затем вводятся в другую подсистему;
- программные модули отдельных подсистем, подпрограммы для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ;
- чертежи инструментов и приспособлений, операционные эскизы;

- шаблоны для ввода информации и оформления документов, например, технологических карт и т.п.

## Ведение информационного фонда на ЭВМ

Известны три подхода к организации информационного фонда:

Размещение данных непосредственно в теле программы – см. рис. 11.1.

11.1.

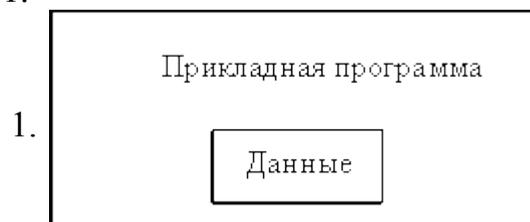


Рис.11.1. Организация информационного фонда с размещением данных в теле программы

Запись данных в файлы – см. рис. 11.2.

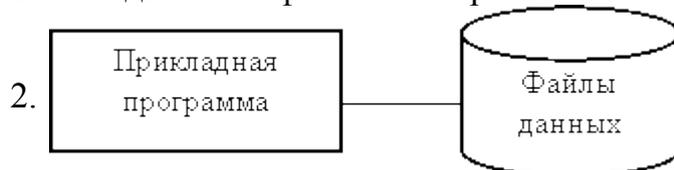
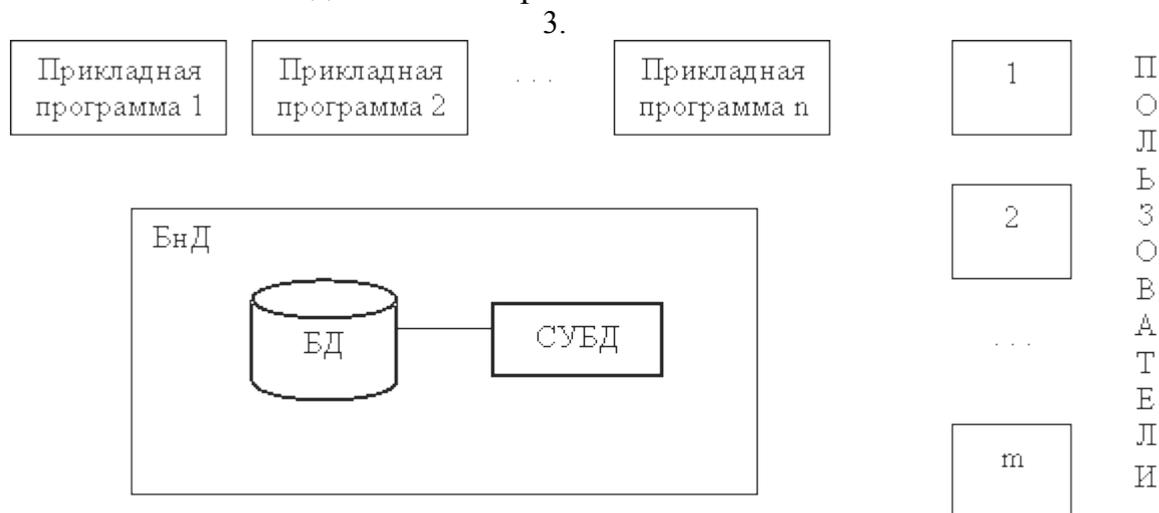


Рис.11.2. Организация информационного фонда с записью данных в файлы

Использование баз данных – см. рис. 11.3.



БнД – банк данных; БД – база данных; СУБД – система управления базой данных

Рис.11.3. Организация информационного фонда с использованием базы данных

В принципе все три подхода имеют право на существование при обоснованном и квалифицированном их использовании в каждом конкретном случае.

**Первый подход** на примере выбора модели зубошвинговального станка был рассмотрен в лекции 7. В случае, если данные необходимо будет модифицировать (например, станок демонтирован и данные о нем нужно

удалить), то данный подход имеет существенный недостаток: **неизбежность модификации программы** для обновления или реорганизации данных.

**Второй подход.** При файловой организации информация записывается на винчестер отдельно от прикладной программы. Это обеспечивает относительную независимость прикладной программы от данных, т.е. исключает изменение программы в случае обновления данных. Если данные используются только конкретной прикладной программой, то такой подход вполне приемлем. Если нет, то очевиден следующий недостаток такого подхода. Часто одни и те же данные используются различными прикладными программами, в которых они имеют различную структуру и представлены по – разному. Это приводит к их необоснованному дублированию (избыточности) на диске.

Имеется еще один недостаток, который относится в целом ко второму подходу. К данным, рассредоточенным по десяткам файлов и организованным так, чтобы удовлетворять только запросам конкретных прикладных программ, нельзя обращаться пользователю, например, в диалоговом режиме.

При организации информационного фонда с использованием записи данных в файлы известны следующие формы и методы организации и поиска данных:

1. Односторонние таблицы (матрицы) решений.
2. Двухсторонние таблицы (матрицы) решений.
3. Алгоритмические таблицы решений.
4. Таблицы (матрицы) соответствий.
5. Логические таблицы (матрицы) соответствий.

### Односторонние таблицы (матрицы) решений

Рассмотрим суть этого метода к организации и поиску данных на примере выбора модели зубошевинговального станка. Данный пример рассматривался ранее в лекции 7. Но там задача решалась с использованием первого подхода к организации информационного фонда с размещением данных в теле программы. Недостатки такого подхода указаны выше. Здесь данная задача будет решена с разработкой в конце универсального алгоритма выбора решений, при котором данные будут отделены от будущей программы и организованы в виде массивов (файлов). Исходные данные для решения задачи приведены в лекции 7, здесь напомним лишь условия применимости зубошевинговальных станков – табл. 11.1.

Таблица 11.1

Условия применимости зубошевинговальных станков

Модель станка	Допустимые интервалы параметров применимости			
	$D_d, мм$	$L_d, мм$	$m_d, мм$	$\alpha_d, град$
5A702Г(P <sub>1</sub> )	60 – 320	до 110	1,5 – 6	± 35
5703В(P <sub>2</sub> )	125 – 500	до 80	1,75 – 8	± 17
5717С(P <sub>3</sub> )	300 – 800	до 200	2 - 8	± 35

В таблице дополнительно приняты следующие обозначения:  $P_1$  – первое решение,  $P_2$  – второе решение,  $P_3$  – третье решение.

Таблицы (матрицы решений) строятся в следующей последовательности. Сначала разрабатываются графические схемы выбора решений – рис. 11.4.

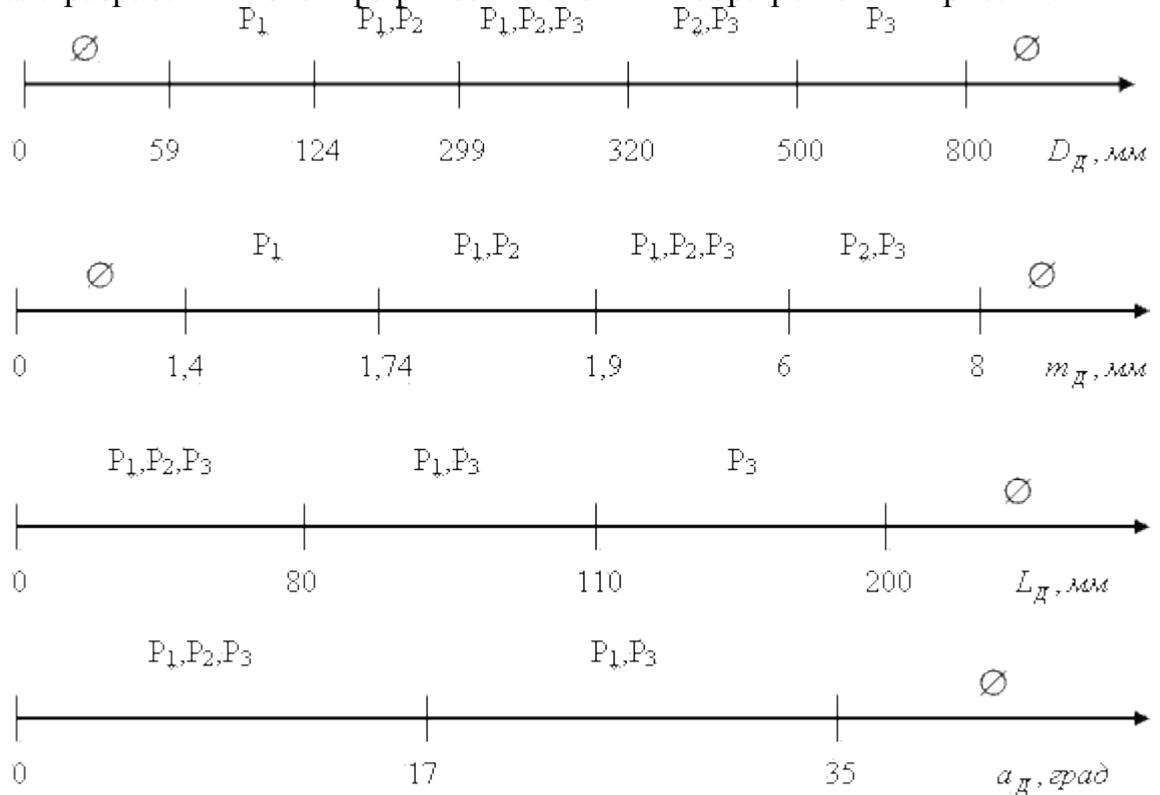


Рис.11.4. Графические схемы выбора решений

Каждая графическая схема представляет собой ряд интервалов, границами которых являются характеристические значения параметров применимости. Следует обратить внимание, что для левых границ параметров применимости берутся не сами значения, представленные в таблице, а близкие, но меньшие числа. Если брать числа равные значениям левых границ, то при работе алгоритма часть решений будет потеряна. Каждый интервал графических схем допускает свой набор решений.

С использованием графических схем заполняется следующая таблица – см. табл.11.2.

Таблица 11.2  
Фрагмент односторонней таблицы решений для выбора модели зубошвинговального станка

$D_d, \text{мм}$	59	124		299							...	
$m_d, \text{мм}$	8	1,4	6	1,4	1,74	1,9		6			...	
$L_d, \text{мм}$	200	200	110	200	110	80		110	80	110	...	
$a_d, \text{град}$	35	35	35	35	35	17	35	35	17	35	35	...
ТР	-	-	1	-	1	1,2	1	1	1,2	1	1	...
						1			2			

В таблице «ТР» обозначает «техническое решение», цифры «1,2,3» - номера решений, т.е. «первый, второй, третий (в порядке следования в исходной

таблице)» станок. В случаях, когда для сочетания интервалов параметров применимости может быть выбрано более одного решения, исходя из технических (технологических) соображений принимают одно решение. В данном случае в исходной таблице станки расположены по мере возрастания их габаритных размеров и, следовательно, жесткости. Чем больше модуль зуба обрабатываемого зубчатого колеса, тем более жесткий должен применяться станок.

Для уменьшения размеров таблицу 11.2 можно минимизировать, объединяя несколько столбцов в один столбец – см. табл. 11.3.

Таблица 11.3

Фрагмент минимизированной односторонней таблицы решений для выбора модели зубошеввинговального станка

$D_d, мм$	59	124		299				...
$m_d, мм$	8	1,4	6	1,4	1,9	6		...
$L_d, мм$	200	200	110	200	110	80	110	...
$\alpha_d, град$	35	35	35	35	35	17	35	...
TP	-	-	1	-	1	2	1	...

Преобразуем таблицу 11.3 в матрицу решений, удобную для обработки ее на ЭВМ – см. табл. 11.4.

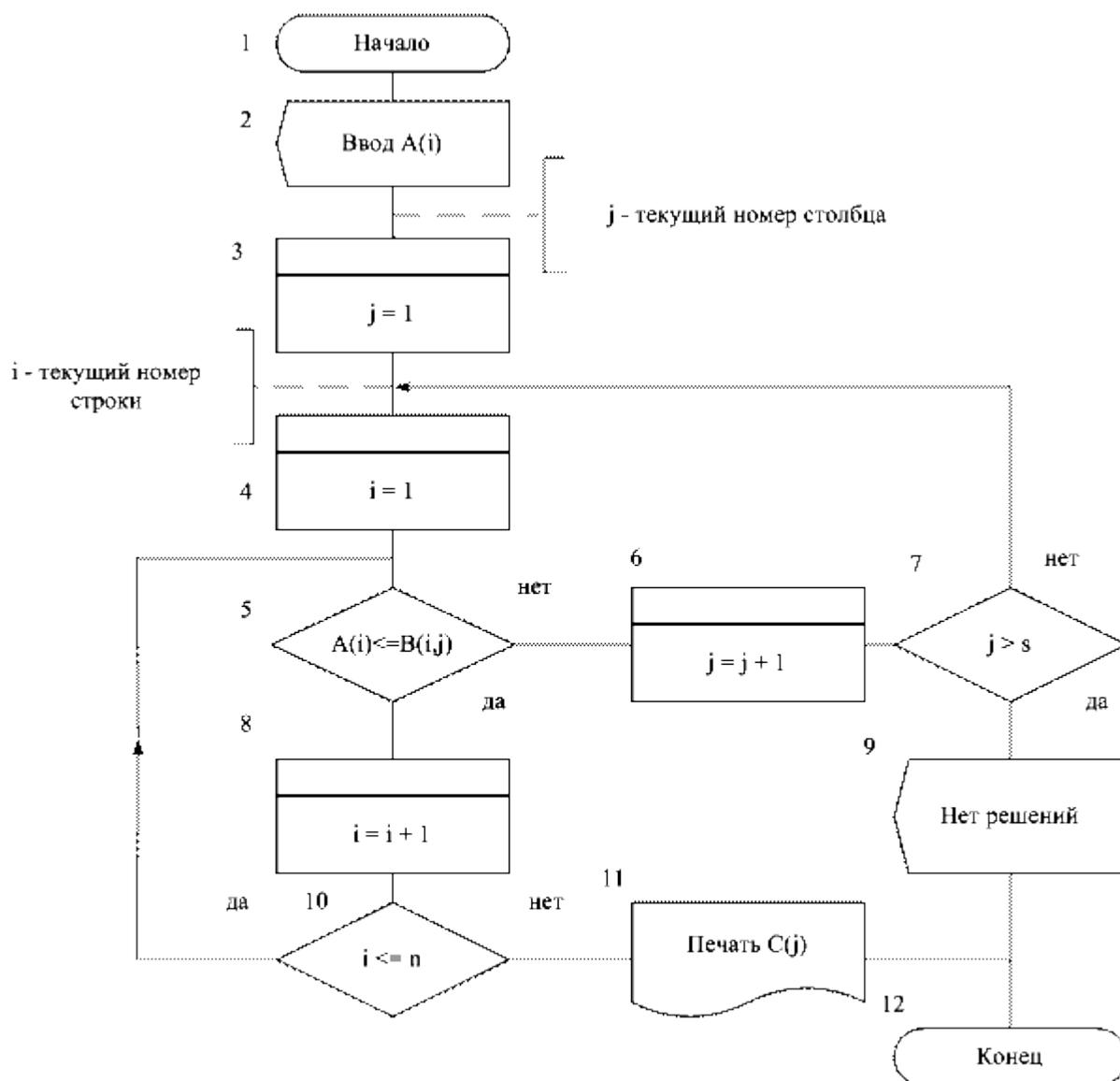
Таблица 11.4

$D_d, мм$	<b>59</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>299</b>	<b>299</b>	<b>299</b>	<b>299</b>	..
$m_d, мм$	8	1,4	6	1,4	1,9	6	6	..
$L_d, мм$	200	200	110	200	110	80	110	..
$\alpha_d, град$	35	35	35	35	35	17	35	..

10121.. TP

Фрагмент формализованной таблицы (матрицы) решений 00								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Для поиска решений разработан универсальный алгоритм, блок – схема которого показана на рис. 11.5.



$n$  - количество параметров применимости;  $s$  - количество столбцов в матрице

Рис.11.5. Блок - схема универсального алгоритма чтения односторонней таблицы решений

Возможная структура массивов информации, построенных на основе односторонней таблицы решений и заполненных данными рассматриваемого примера, приведена на рис. 11.6. Пусть  $D_d = 200\text{мм}$ ,  $m_d = 5\text{мм}$ ,  $L_d = 100\text{мм}$ ,  $\alpha_d = 35\text{град}$ , т.е.  $A(i) = (200, 5, 100, 35)$ . В соответствии с алгоритмом поиск решения в этом случае будет осуществляться:

$A(1) \rightarrow B(1,1) \rightarrow B(1,2) \rightarrow B(1,3) \rightarrow B(1,4) \rightarrow A(2) \rightarrow B(2,4) \rightarrow A(1) \rightarrow B(1,5) \rightarrow A(2) \rightarrow B(2,5) \rightarrow A(1) \rightarrow B(1,6) \rightarrow A(2) \rightarrow B(2,6) \rightarrow A(3) \rightarrow B(3,6) \rightarrow A(1) \rightarrow B(1,7) \rightarrow A(2) \rightarrow B(2,7) \rightarrow A(3) \rightarrow B(3,7) \rightarrow A(4) \rightarrow B(4,7) \rightarrow C(7) = 1.$

Т.е. решением в данном случае будет станок модели 5A702Г.

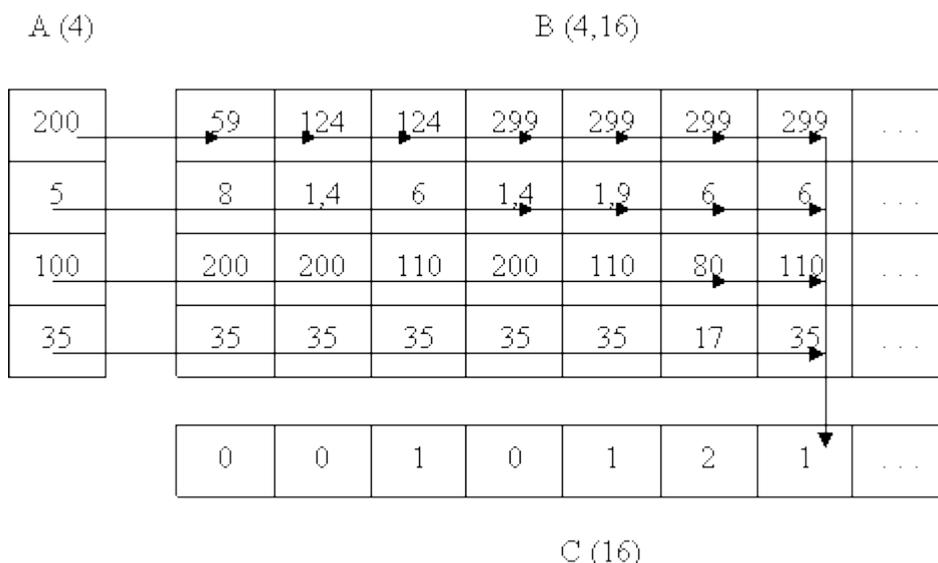


Рис.11.6. Структура массивов информации, построенных на основе односторонней таблицы решений (фрагмент)

### Двухсторонние таблицы (матрицы) решений

Преобразуем одностороннюю таблицу решений для выбора зубошевинговального станка в двухстороннюю таблицу – см. табл. 11.5.

Таблица 11.5.

Фрагмент минимизированной двухсторонней таблицы решений для выбора модели зубошевинговального станка

$L_d, мм$	$a_d, град$	$m_d, мм$ при $D_d, мм$						
		59	124	124	299	299	299	...
		8	1,4	6	1,4	1,9	6	...
80	17	-	-	-	-	-	2	...
	35	-	-	-	-	-	-	...
110	17	-	-	-	-	-	-	...
	35	-	-	1	-	1	1	...
200	17	-	-	-	-	-	-	...
	35	-	-	-	-	-	-	...

После упрощения таблицы путем исключения «лишних» строк, содержащих только «прочерки», и преобразования ее в форму, удобную для обработки на ЭВМ, получим таблицу 11.6.

Таблица 11.6

Фрагмент формализованной двухсторонней таблицы (матрицы решений)

$L_d, мм$	$a_d, град$	$m_d, мм$ при $D_d, мм$						
		59	124	124	299	299	299	...
		8	1,4	6	1,4	1,9	6	...
80	17	0	0	0	0	0	2	...
110	35	0	0	1	0	1	1	...
200	35	0	0	0	0	0	0	...

Примечание: при упрощении таблицы не исключена последняя ее строка, т.к. в полной таблице (не во фрагменте) она содержит «ненулевые» клетки.

На рис. 11.7 показана возможная структура массивов информации, построенных на основе двухсторонней таблицы решений и заполненных данными рассматриваемого примера.

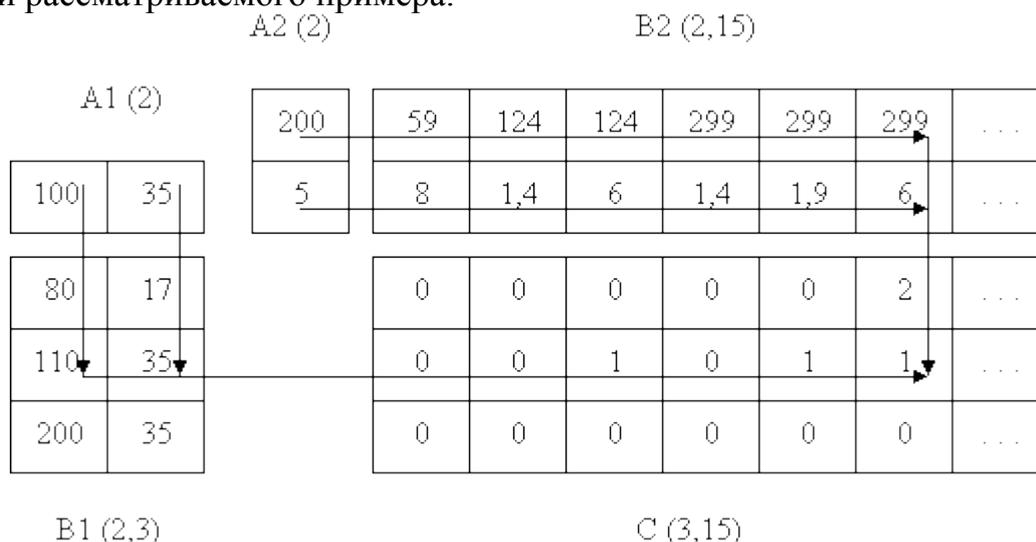


Рис.11.7. Структура массивов информации, построенных на основе двухсторонней таблицы решений (фрагмент)

Примечание: в отличие от рис. 11.6 на рис. 11.7 показана упрощенная схема поиска решения.

Для поиска решений представленный в виде блок - схемы на рис.11.5 алгоритм здесь используется дважды: первый раз для нахождения нужной строки, второй раз – нужного столбца (или наоборот) в массиве «С». Как и при использовании односторонней таблицы искомым решением для рассматриваемого примера будет станок модели 5А702Г.

## ЛЕКЦИЯ 12

### Организация информационного фонда на ЭВМ с использованием алгоритмических таблиц решений, таблиц соответствий и логических таблиц соответствий

В данной лекции рассмотрим принципы организации информационного фонда на ЭВМ в САПР ТП при расположении данных в файлах с использованием алгоритмических таблиц решений, таблиц соответствий и логических таблиц соответствий.

#### Алгоритмические таблицы решений

При технологическом проектировании встречаются задачи, число решений которых невелико, а логические зависимости их выбора сложны. В этом случае могут быть использованы алгоритмические таблицы решений, принципы построения и использования которых рассмотрим на следующем примере.

**Пример.** Выбор модели токарного автомата.

Исходные данные

Параметр применимости	Допустимые интервалы параметров применимости, мм, для станка		
	1Б112	1Б118	1А124
Диаметр круглой заготовки ( $DZ$ )	$\leq 12$	$\leq 18$	$\leq 24$
Размер под ключ шестигранной заготовки ( $DZ$ )	$\leq 9$	$\leq 14$	$\leq 20$
Размер под ключ четырехгранной заготовки ( $DZ$ )	$\leq 7$	$\leq 10$	$\leq 17$
Диаметр наружной резьбы для заготовок из стали ( $DR$ )	$\leq 8$	$\leq 10$	$\leq 18$
Диаметр наружной резьбы для заготовок из других материалов ( $DR$ )	$\leq 10$	$\leq 12$	$\leq 22$
Длина обрабатываемой заготовки ( $LZ$ )	$\leq 60$	$\leq 60$	$\leq 90$

Комплекс условий применимости (КУП) для выбора станка:

$$КУП = \left\{ \begin{array}{l} M = \{сталь, др. материалы\} \\ \Phi П = \{круг, шестигранник, квадрат\} \\ DZ \leq DZ_{MAX}(\Phi П) \\ DR \leq DR_{MAX}(M) \\ LZ \leq LZ_{MAX} \end{array} \right\}$$

В КУП приняты следующие обозначения: М – материал обрабатываемой заготовки (детали); ФП – форма прутка, применяемого в качестве заготовки.

Для решения поставленной задачи можно использовать таблицу решений. Но она будет громоздкой, т.к. условия применимости здесь взаимосвязаны, и объем таблицы решений будет в данном примере в 6 раз больше, чем таблица исходных характеристик станков. Уменьшение объемов и повторов информации при сложной логике достигают при использовании алгоритмических таблиц решений. Для рассматриваемого примера алгоритмическая таблица решений представлена ниже.

Таблица 12.2

Алгоритмическая таблица решений для выбора модели токарного автомата

№ строки	ФП (1)	DZ (2)	М (3)	DR (4)	LZ (5)	Решение $F_i(6)$
1	=0(4.1)	$\leq 12$ .	=0(4.4)	$\leq 8$ .	$\leq 60(3.5)$	1Б112
2	=0(4.1)	$\leq 18$ .	=0(5.4)	$\leq 10$ .	$\leq 60(3.5)$	1Б118
3	=0(4.1)	$\leq 24(10)$	=0(6.4)	$\leq 18(10)$	$\leq 90(10)$	1А124
4	=6(7.1)	$\leq 9$ .	=1(1.4)	$\leq 10$ .	$\leq 60(6.5)$	1Б112
5	=6(7.1)	$\leq 14$ .	=1(2.4)	$\leq 12$ .	$\leq 60(6.5)$	1Б118
6	=6(7.1)	$\leq 20(10)$	=1(3.4)	$\leq 22(10)$	$\leq 90(10)$	1А124
7	=4(10)	$\leq 7$ .	=0(4.4)	$\leq 8$ .	$\leq 60(9.5)$	1Б112
8	=4(10)	$\leq 10$ .	=0(5.4)	$\leq 10$ .	$\leq 60(9.5)$	1Б118
9	=4(10)	$\leq 17(10)$	=0(6.4)	$\leq 18(10)$	$\leq 90(10)$	1А124

--	--	--	--	--	--	--	--

В таблице приняты следующие обозначения по ФП: 0 – круглый, 4 – четырехгранный, 6 – шестигранный; по М: 0 – сталь, 1 – другие материалы. Цифрой «10» условно обозначен номер следующей подпрограммы, к которой осуществляется переход после решения задачи по выбору модели станка.

Каждый элемент таблицы записывается следующим образом:  $r_{ij}x_{ij}(a_{ij})$ , где  $r_{ij}$  - тип условия ( $=, \neq, <, >, \leq, \geq$ );  $x_{ij}$  - характеристическое значение параметра применимости;  $(a_{ij})$  - адрес (метка) перехода. Имеется три вида переходов:

1. Стандартный – к следующей строке таблицы  $(i+1)$  данного столбца  $j$  (обозначается точкой).
2. Переход к строке  $i_c$  и столбцу  $j_c$  данной таблицы, где  $i_c$  - номер строки (целая часть  $a_{ij}$ );  $j_c$  - номер столбца (дробная часть  $a_{ij}$ ).
3. Переход к другой подпрограмме, при этом  $a_{ij}$  - целое число (номер подпрограммы).

Пусть  $u_j$  - одно из исходных данных. Если условие  $u_j r_{ij} x_{ij}$  выполняется, то осуществляется переход к следующему столбцу  $(j+1)$  данной строки  $i$ , т.е. к условию

$u_{j+1} r_{ij+1} x_{ij+1}$ . Если условие  $u_j r_{ij} x_{ij}$  не выполняется, то осуществляется переход по метке  $a_{ij}$ . Процедура заканчивается принятием решения  $P_i$  или выходом из таблицы на какую – либо подпрограмму по метке  $a_{ij}$ .

**Пример поиска.** Выбрать токарный автомат на операцию обработки детали из **шестигранного стального** прутка с размером под ключ **14 мм**, у детали имеется резьба **M10**, длина детали равна **40 мм**.

Множество исходных данных запишется следующим образом:  $U = \{\text{ФП, DZ, M, DR, LZ}\} = \{6, 14, 0, 10, 40\}$ . Обозначим через  $a_{ij}$  элемент таблицы. Тогда схема поиска:

$$a_{11} \rightarrow a_{41} \rightarrow a_{42} \rightarrow a_{52} \rightarrow a_{53} \rightarrow a_{24} \rightarrow a_{25} \rightarrow a_{26} \rightarrow (1E118) = P_2.$$

### Таблицы (матрицы) соответствий

Таблицы решений используют, когда необходимо найти одно решение. Если же нужно найти все допустимые решения, то применяют таблицы соответствий.

Пример. Выбор возможных моделей зубошвинговальных станков (см. ранее). Таблица соответствий представлена в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Таблица соответствий для выбора модели зубошеввинговального станка

$P_i$	$D_{дет}, мм$						$m_{дет}, мм$					$L_{дет}, мм$			$a_{дет}, град$	
	59	124	299	320	500	800	1,4	1,74	1,9	6	8	80	110	200	17	35
1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1
2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

В левой части таблицы соответствий – множество решений  $\{P_i\}$ . В верхней части таблицы – комплекс параметров применимости и их характеристические значения. Центральная часть таблицы – матрица соответствий, в которой зафиксированы связи между решениями и значениями параметров, определяющими их применимость: 1 – наличие связи; 0 – отсутствие связи.

Пусть  $U = \{D, m, L, a\} = \{310, 5, 100, 30\}$ . Задача решается нахождением соответствующих столбцов (для примера они выделены) и логическим умножением их содержимого. Если результатом логического умножения является «единица», то решение принимается, если «нуль», то не принимается. Для нашего примера возможными (допустимыми) решениями являются:  $P_1 = 5A702G$  и  $P_3 = 5717C$ .

### Логические таблицы (матрицы) соответствий

Таблицы решений применяют тогда, когда параметры применимости взаимно независимы. Но условия выбора решений могут быть сложнее.

**Пример.** Выбор абразивного материала шлифовального круга.

Блок – схема алгоритма выбора абразивного материала шлифовального круга представлена на рис.12.1.

Пусть  $Ra > 1,25$  мкм,  $V \leq 35$  м/с. При  $HRC \leq 50$  ед. решением будет абразивный материал марки 14А, при  $HRC > 50$  ед. решением будет абразивные материалы марок 33А, 43А, 91А. Пусть теперь  $Ra > 1,25$  мкм,  $V > 35$  м/с. При  $HRC \leq 50$  ед. решением будет абразивный материал марки 23А, при  $HRC > 50$  ед. решением будет абразивные материалы марок 24А, 33А, 91А.

Если здесь применить таблицу соответствий, то часть решений либо «пропадет», либо будет неверной. При выборе возможных (допустимых) моделей зубошеввинговальных станков с помощью таблиц соответствий параметры применимости  $D, m, L, a$  были независимыми. Здесь же параметры (условия)  $Ra, V, HRC$  являются зависимыми, и выбор решений зависит не только от их значений, но и от их сочетаний.

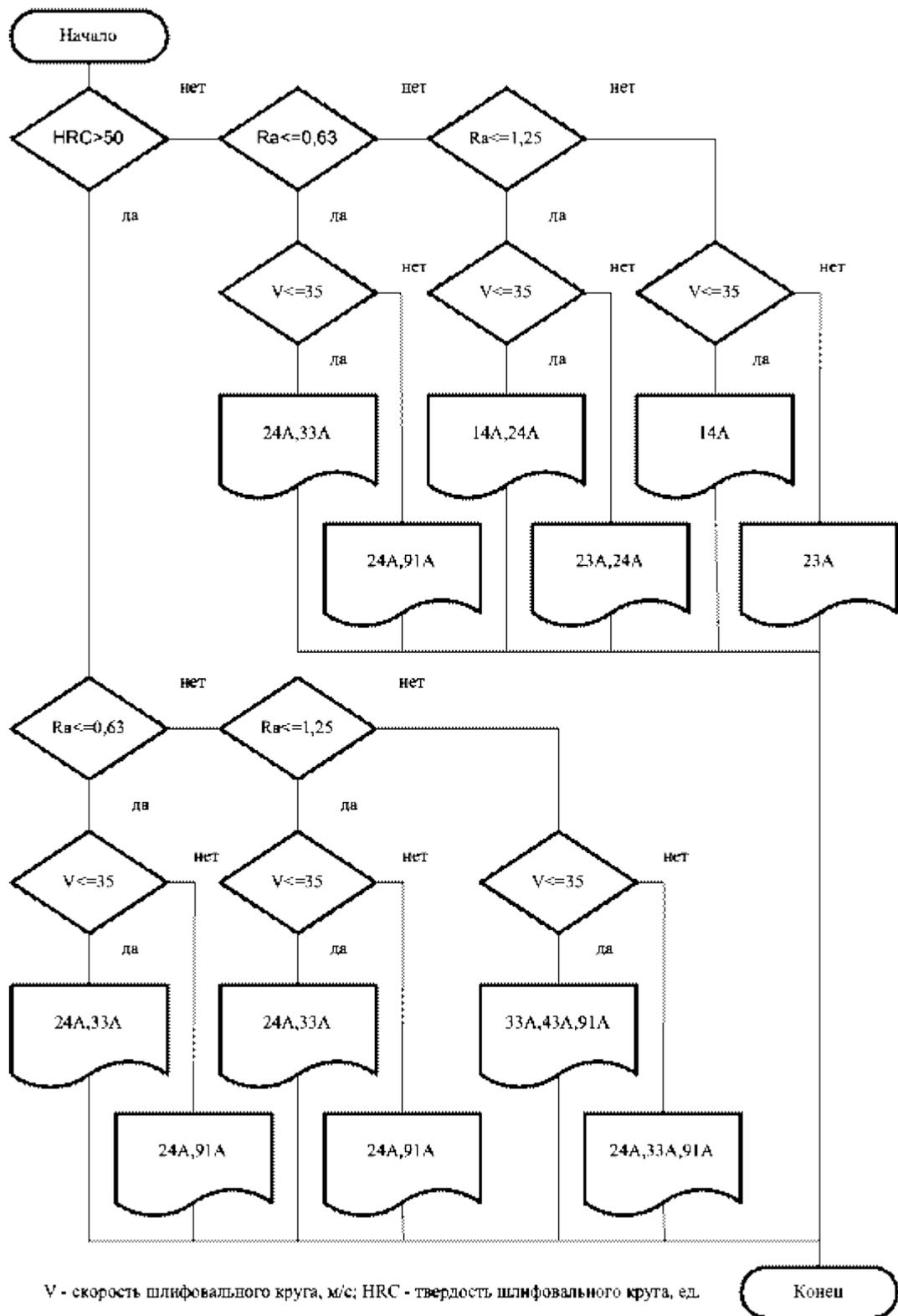


Рис.12.1. Блок - схема алгоритма выбора абразивного материала шлифовального круга

Построим логическую таблицу соответствий для рассматриваемого примера – см. табл. 12.4.

Таблица 12.4

Логическая таблица соответствий для выбора абразивного материала шлифовального круга

Параметры применимости	Интервалы характеристических значений	Сочетания параметров (условий) применимости											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HRC, ед.	$\leq 50$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	$> 50$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Ra, мкм	$\leq 0,63$	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	$> 0,63$ и $\leq 1,25$	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
	$> 1,25$	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
V, м/с	$\leq 35$	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	$> 35$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Типовое решение	14A	Номер сочетания											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	23A	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24A	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	24A	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	33A	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
	43A	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	91A	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1

В логическую таблицу соответствий заложены две матрицы:

1. Матрица условий – верхняя правая часть.
2. Матрица решений – нижняя правая часть.

Элементами этих матриц являются булевы переменные, принимающие два значения: 1 – да, 0 – нет.

По матрице условий определяют нужный столбец, для которого в матрице решений выбирают все допустимые решения. Например,  $HRC \leq 50$  ед.;  $0,63 < Ra \leq 1,25$ ;  $V > 35$  м/с. Этим исходным данным соответствует 4 столбец, решения – 23A, 24A.

## ЛЕКЦИЯ 12

### Организация информационного фонда на ЭВМ с использованием алгоритмических таблиц решений, таблиц соответствий и логических таблиц соответствий

В данной лекции рассмотрим принципы организации информационного фонда на ЭВМ в САПР ТП при расположении данных в файлах с использованием алгоритмических таблиц решений, таблиц соответствий и логических таблиц соответствий.

#### Алгоритмические таблицы решений

При технологическом проектировании встречаются задачи, число решений которых невелико, а логические зависимости их выбора сложны. В этом случае могут быть использованы алгоритмические таблицы решений, принципы построения и использования которых рассмотрим на следующем примере.

**Пример.** Выбор модели токарного автомата.

Таблица 12.1

Параметр применимости	Исходные данные		
	Допустимые интервалы параметров применимости, мм, для станка		
	1Б112	1Б118	1А124
Диаметр круглой заготовки ( $DZ$ )	$\leq 12$	$\leq 18$	$\leq 24$
Размер под ключ шестигранной заготовки ( $DZ$ )	$\leq 9$	$\leq 14$	$\leq 20$
Размер под ключ четырехгранной заготовки ( $DZ$ )	$\leq 7$	$\leq 10$	$\leq 17$
Диаметр наружной резьбы для заготовок из стали ( $DR$ )	$\leq 8$	$\leq 10$	$\leq 18$
Диаметр наружной резьбы для заготовок из других материалов ( $DR$ )	$\leq 10$	$\leq 12$	$\leq 22$
Длина обрабатываемой заготовки ( $LZ$ )	$\leq 60$	$\leq 60$	$\leq 90$

Комплекс условий применимости (КУП) для выбора станка:

$$КУП = \left\{ \begin{array}{l} M = \{сталь, др. материалы\} \\ \Phi П = \{круг, шестигранник, квадрат\} \\ DZ \leq DZ_{MAX}(\Phi П) \\ DR \leq DR_{MAX}(M) \\ LZ \leq LZ_{MAX} \end{array} \right\}$$

В КУП приняты следующие обозначения: М – материал обрабатываемой заготовки (детали); ФП – форма прутка, применяемого в качестве заготовки.

Для решения поставленной задачи можно использовать таблицу решений. Но она будет громоздкой, т.к. условия применимости здесь взаимосвязаны, и объем таблицы решений будет в данном примере в 6 раз больше, чем таблица исходных характеристик станков. Уменьшение объемов и повторов информации при сложной логике достигают при использовании алгоритмических таблиц решений. Для рассматриваемого примера алгоритмическая таблица решений представлена ниже.

Таблица 12.2

Алгоритмическая таблица решений для выбора модели токарного автомата

№ строки	ФП (1)	DZ (2)	M (3)	DR (4)	LZ (5)	Решение $P_i$ (6)
1	=0(4.1)	$\leq 12$ .	=0(4.4)	$\leq 8$ .	$\leq 60$ (3.5)	1Б112
2	=0(4.1)	$\leq 18$ .	=0(5.4)	$\leq 10$ .	$\leq 60$ (3.5)	1Б118
3	=0(4.1)	$\leq 24$ (10)	=0(6.4)	$\leq 18$ (10)	$\leq 90$ (10)	1А124
4	=6(7.1)	$\leq 9$ .	=1(1.4)	$\leq 10$ .	$\leq 60$ (6.5)	1Б112
5	=6(7.1)	$\leq 14$ .	=1(2.4)	$\leq 12$ .	$\leq 60$ (6.5)	1Б118
6	=6(7.1)	$\leq 20$ (10)	=1(3.4)	$\leq 22$ (10)	$\leq 90$ (10)	1А124
7	=4(10)	$\leq 7$ .	=0(4.4)	$\leq 8$ .	$\leq 60$ (9.5)	1Б112
8	=4(10)	$\leq 10$ .	=0(5.4)	$\leq 10$ .	$\leq 60$ (9.5)	1Б118

9	=4(10)	≤17(10)	=0(6.4)	≤18(10)	≤90(10)	1A124
---	--------	---------	---------	---------	---------	-------

В таблице приняты следующие обозначения по ФП: 0 – круглый, 4 – четырехгранный, 6 – шестигранный; по М: 0 – сталь, 1 – другие материалы. Цифрой «10» условно обозначен номер следующей подпрограммы, к которой осуществляется переход после решения задачи по выбору модели станка.

Каждый элемент таблицы записывается следующим образом:  $r_{\psi}x_{\psi}(a_{\psi})$ , где  $r_{\psi}$  - тип условия ( $=, \neq, <, >, \leq, \geq$ );  $x_{\psi}$  - характеристическое значение параметра применимости;  $(a_{\psi})$  - адрес (метка) перехода. Имеется три вида переходов:

1. Стандартный – к следующей строке таблицы  $(i+1)$  данного столбца  $j$  (обозначается точкой).
2. Переход к строке  $i_c$  и столбцу  $j_c$  данной таблицы, где  $i_c$  - номер строки (целая часть  $a_{\psi}$ );  $j_c$  - номер столбца (дробная часть  $a_{\psi}$ ).
3. Переход к другой подпрограмме, при этом  $a_{\psi}$  - целое число (номер подпрограммы).

Пусть  $u_j$  - одно из исходных данных. Если условие  $u_j r_{\psi} x_{\psi}$  выполняется, то осуществляется переход к следующему столбцу  $(j+1)$  данной строки  $i$ , т.е. к условию

$u_{j+1} r_{\psi+1} x_{\psi+1}$ . Если условие  $u_j r_{\psi} x_{\psi}$  не выполняется, то осуществляется переход по метке  $a_{\psi}$ . Процедура заканчивается принятием решения  $P_i$  или выходом из таблицы на какую – либо подпрограмму по метке  $a_{\psi}$ .

**Пример поиска.** Выбрать токарный автомат на операцию обработки детали из **шестигранного стального** прутка с размером под ключ **14 мм**, у детали имеется резьба **M10**, длина детали равна **40 мм**.

Множество исходных данных запишется следующим образом:  $U = \{\text{ФП, DZ, M, DR, LZ}\} = \{6, 14, 0, 10, 40\}$ . Обозначим через  $a_{\psi}$  элемент таблицы. Тогда схема поиска:

$$a_{11} \rightarrow a_{41} \rightarrow a_{42} \rightarrow a_{52} \rightarrow a_{53} \rightarrow a_{24} \rightarrow a_{25} \rightarrow a_{26} \rightarrow (1E118) = P_2.$$

### Таблицы (матрицы) соответствий

Таблицы решений используют, когда необходимо найти одно решение. Если же нужно найти все допустимые решения, то применяют таблицы соответствий.

Пример. Выбор возможных моделей зубошвинговальных станков (см. ранее). Таблица соответствий представлена в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Таблица соответствий для выбора модели зубошеввинговального станка

$P_i$	$D_{дет}, мм$						$m_{дет}, мм$					$L_{дет}, мм$			$a_{дет}, град$	
	59	124	299	320	500	800	1,4	1,74	1,9	6	8	80	110	200	17	35
1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1
2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

В левой части таблицы соответствий – множество решений  $\{P_i\}$ . В верхней части таблицы – комплекс параметров применимости и их характеристические значения. Центральная часть таблицы – матрица соответствий, в которой зафиксированы связи между решениями и значениями параметров, определяющими их применимость: 1 – наличие связи; 0 – отсутствие связи.

Пусть  $U = \{D, m, L, a\} = \{310,5,100,30\}$ . Задача решается нахождением соответствующих столбцов (для примера они выделены) и логическим умножением их содержимого. Если результатом логического умножения является «единица», то решение принимается, если «нуль», то не принимается. Для нашего примера возможными (допустимыми) решениями являются:  $P_1 = 5A702G$  и  $P_3 = 5717C$ .

### Логические таблицы (матрицы) соответствий

Таблицы решений применяют тогда, когда параметры применимости взаимно независимы. Но условия выбора решений могут быть сложнее.

**Пример.** Выбор абразивного материала шлифовального круга.

Блок – схема алгоритма выбора абразивного материала шлифовального круга представлена на рис.12.1.

Пусть  $Ra > 1,25$  мкм,  $V \leq 35$  м/с. При  $HRC \leq 50$  ед. решением будет абразивный материал марки 14А, при  $HRC > 50$  ед. решением будет абразивные материалы марок 33А, 43А, 91А. Пусть теперь  $Ra > 1,25$  мкм,  $V > 35$  м/с. При  $HRC \leq 50$  ед. решением будет абразивный материал марки 23А, при  $HRC > 50$  ед. решением будет абразивные материалы марок 24А, 33А, 91А.

Если здесь применить таблицу соответствий, то часть решений либо «пропадет», либо будет неверной. При выборе возможных (допустимых) моделей зубошеввинговальных станков с помощью таблиц соответствий параметры применимости  $D, m, L, a$  были независимыми. Здесь же параметры (условия)  $Ra, V, HRC$  являются зависимыми, и выбор решений зависит не только от их значений, но и от их сочетаний.

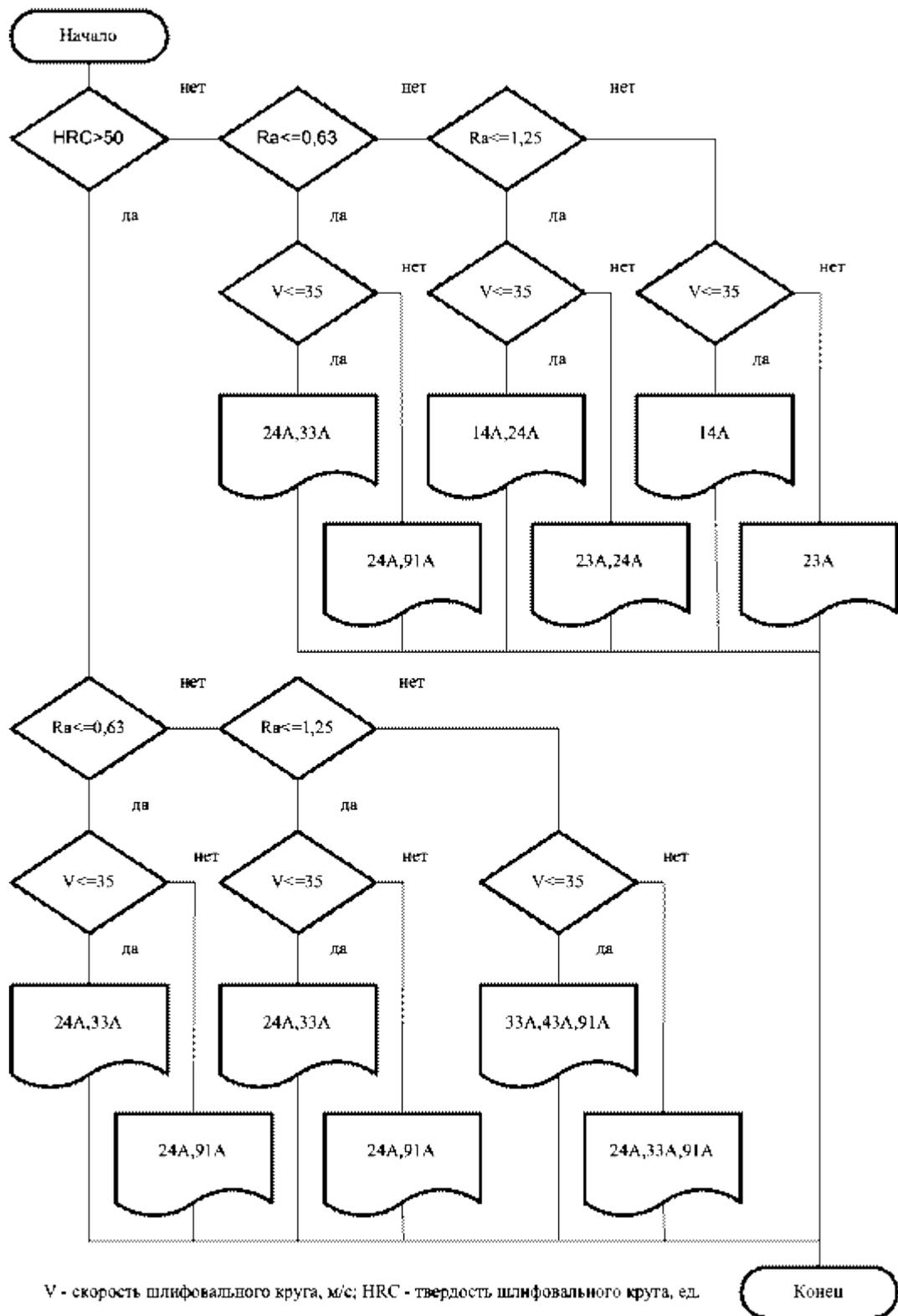


Рис.12.1. Блок - схема алгоритма выбора абразивного материала шлифовального круга

Построим логическую таблицу соответствий для рассматриваемого примера – см. табл. 12.4.

Таблица 12.4

Логическая таблица соответствий для выбора абразивного материала шлифовального круга

Параметры применимости	Интервалы характеристических значений	Сочетания параметров (условий) применимости											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HRC, ед.	$\leq 50$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	$> 50$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Ra, мкм	$\leq 0,63$	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	$> 0,63$ и $\leq 1,25$	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
	$> 1,25$	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
V, м/с	$\leq 35$	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	$> 35$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Типовое решение	14A	Номер сочетания											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	23A	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24A	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	24A	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	33A	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
	43A	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	91A	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1

В логическую таблицу соответствий заложены две матрицы:

1. Матрица условий – верхняя правая часть.
2. Матрица решений – нижняя правая часть.

Элементами этих матриц являются булевы переменные, принимающие два значения: 1 – да, 0 – нет.

По матрице условий определяют нужный столбец, для которого в матрице решений выбирают все допустимые решения. Например,  $HRC \leq 50$  ед.;  $0,63 < Ra \leq 1,25$ ;  $V > 35$  м/с. Этим исходным данным соответствует 4 столбец, решения – 23A, 24A.

## ЛЕКЦИЯ 13

### Организация информационного фонда на ЭВМ с использованием баз данных

Организация информационного фонда на ЭВМ с использованием баз данных (БД) применяется во многих современных САПР ТП.

**База данных** – совокупность структурированных данных, используемых многими прикладными программами и хранящихся с минимальной избыточностью.

**Система управления базой данных (СУБД)** – программный комплекс, обеспечивающий создание структуры, ввод, модификацию, удаление и поиск данных.

Иногда используется понятие **банка данных (БнД)**, под которым понимается совокупность БД и СУБД.

Самой распространенной в настоящее время является СУБД Microsoft Access 2002, которая является одним из продуктов пакета Microsoft Office XP.

## **Основные требования, предъявляемые к базам данных**

К базам данных предъявляется ряд требований, среди которых можно выделить следующие основные требования:

1. **Минимальная избыточность.** Каждый элемент данных вводится в БД один раз и хранится в единственном экземпляре. При вводе данных СУБД выполняет проверку на дублирование. Этим достигается экономия внешней памяти и надежность информации.

2. **Независимость.** Модификация данных и изменения, вносимые в их структуру в связи с появлением новых пользователей и новых запросов, не должны отражаться на программах пользователей.

3. **Целостность данных:**

- **логическая** (СУБД должна защищать БД от некорректных действий пользователей путем восстановления состояния БД на момент, предшествующий ошибочной операции);

- **физическая** (защита носителей информации – дисков – от сбоев путем дублирования, например, двумя параллельно работающими зеркальными дисками).

4. **Секретность.** Пользователи должны работать только с теми данными (фрагментами данных), к которым им разрешен доступ.

## **Основные понятия и основы проектирования баз данных**

Начнем с определения понятия «данные». Итак, **данные** – это информация, представленная в определенной форме, пригодной для хранения и обработки на ЭВМ. Можно дать и другое определение: **данные** – это представленные в цифровом виде сведения о некоторых объектах окружающего нас мира (об объектах интересующей нас предметной области).

При создании любой БД разрабатывается **модель данных**. При этом интересующая пользователей БД информация существует в двух представлениях:

1. Логическое представление данных.

2. Физическое представление данных на носителе информации (диске).

Логическое представление отражает структуру данных. Модель не содержит конкретных значений. Она только описывает их структуру. В дальнейшем структура остается неизменной, а данные могут меняться при вводе и редактировании информации в БД.

Для определения модели используются следующие понятия:

- объект;
- атрибут;
- экземпляр;
- ключ.

В дальнейшем мы укажем на соответствующие этим понятиям понятия, используемые при описании физического представления данных и понятия, принятые в СУБД Microsoft Access.

**Объект** представляет собой то, о чем накапливается информация в БД, например «сверло», «зенкер», «резец» и т.д.

**Атрибуты** – это интересующие пользователя характеристики объекта. Например, для объекта «сверло» - это «обозначение», «диаметр», «длина общая» и т.д.

**Экземпляр** объекта – совокупность значений атрибутов, описывающих конкретную его реализацию. В нашем случае это строка таблицы.

**Ключ** – это атрибут, значение которого однозначно определяет экземпляр. Так в БД по сверлам (см. ниже) ключом может служить атрибут «обозначение», т.к. значение этого атрибута не дублируется ни в одной строке (экземпляре). Другие атрибуты не могут быть ключом, потому что могут принимать одинаковые значения для разных экземпляров. Например, вполне возможны два сверла с одинаковой длиной, хотя и разного исполнения.

При описании физического представления данных, а также в терминологии СУБД Microsoft Access понятию «атрибут» соответствует понятие «поле» (столбец таблицы). Понятию «экземпляр» соответствует понятие «запись» (строка таблицы). Объекту соответствует фрагмент файла данных или файл данных целиком.

База данных, состоящая из набора связанных между собой двумерных (плоских) таблиц, называется **реляционной базой данных**. Данные в этих таблицах организованы таким образом, чтобы обеспечить объединение разнородной информации, исключить ее дублирование, а также предоставить оперативный доступ к имеющимся сведениям и эффективное сопровождение базы данных в целом.

Реляционные СУБД используют реляционную модель данных, предложенную в 1970 году Э.Ф.Коддом. Если говорить упрощенно, то Кодд показал, что набор двумерных таблиц при соблюдении определенных ограничений может быть использован для хранения данных об объектах реального мира и моделирования связей между ними. В терминологии Кодда такие таблицы называются **отношениями** (англ. **relation**), вот почему подобная база данных называется реляционной.

В реляционной базе данных, в частности, реализованной в СУБД Microsoft Access, для однозначного распознавания экземпляра объекта подобно приведенному выше понятию «ключ» вводится уникальный идентификатор – **первичный ключ**. Первичный ключ – это уникальная характеристика для каждой записи в пределах таблицы. Первичный ключ таблицы помимо однозначной идентификации записей позволяет реализовать и связи между таблицами. Благодаря связям информация из одной таблицы становится доступной для другой. Связи устанавливаются за счет того, что в разных таблицах присутствуют поля с одинаковыми значениями.

Покажем на примере преимущества реляционных моделей данных перед моделями данных, построенными на основе сплошных таблиц.

**Пример.** Разработка фрагмента модели данных «Сотрудники – проекты». Пусть речь идет о технологической службе предприятия, сотрудники которой, занимаясь технологической подготовкой производства, естественным образом участвуют в разработке проектов некоторых изделий. Исходные данные по сотрудникам представлены в так называемой сплошной таблице – см. табл. 13.1.

Таблица 13.1

Исходная сплошная таблица «Сотрудники – проекты»

Номер сотрудника	Номер проекта	Номер задания	Фамилия	Должность	Оклад	Отдел	Телефон
1010	AB-115	1.1	Петров	Инженер-технолог	5500	115	6-15
1010	KN-20	1.3	Петров	Инженер-технолог	5500	115	6-15
1015	ZT-14	5.2	Васильев	Инженер-технолог	5500	115	6-15
1036	ZT-14	5.4	Куликов	Техник	3000	110	5-46
2122	AK-177	1.2	Зорин	Начальник отдела	6500	105	6-88
2122	BC-18	3.6	Зорин	Начальник отдела	6500	105	6-88

В данной таблице имеются следующие недостатки в представлении данных:

1. Дублируется информация о сотрудниках, т.к. сотрудник может участвовать в нескольких проектах.

2. В таблицу нельзя вписать тех сотрудников, которые не заняты в проектах именно сейчас, а также сотрудников, которые вообще не работают над проектами, иначе таблица не будет сплошной.

3. Если сотрудник увольняется, запись о нем удаляется из таблицы, а вместе с ней – и проект, хотя работа над ним должна продолжаться.

Данный пример является классическим, поскольку отмеченные выше проблемы характерны для всех сплошных файлов.

Снять указанные ограничения и позволяют реляционные базы данных. В них при проектировании таблиц и определении связей следуют формализованной процедуре, которая называется **нормализацией** и опирается на аппарат теории множеств и реляционной алгебры. Нормализация – это пошаговый процесс замены одной таблицы другими, имеющими более простую структуру. На каждом шаге (этапе) нормализации таблицы приводятся к некоторому определенному виду, который называется **нормальной формой**.

Чтобы устранить указанные выше недостатки, разобьем исходную таблицу на две: «Проекты» и «Сотрудники» - табл. 13.2 и 13.3.

Таблица 13.2

Проекты

Номер сотрудника	Номер проекта	Номер задания
------------------	---------------	---------------

1010	AB-115	1.1
1010	KN-20	1.3
1015	ZT-14	5.2
1036	ZT-14	5.4
2122	AK-177	1.2
2122	BC-18	3.6

Таблица 13.3

Сотрудники

Номер сотрудника	Фамилия	Должность	Оклад	Отдел	Телефон
1010	Петров	Инженер-технолог	5500	115	6-15
1015	Васильев	Инженер-технолог	5500	115	6-15
1036	Куликов	Техник	3000	110	5-46
2122	Зорин	Начальник отдела	6500	105	6-88

Продолжим анализ и посмотрим на таблицу «Сотрудники». Несложно заметить следующие особенности:

1. Дублируется информация о телефонах для сотрудников одного отдела.
2. Если изменяется телефон отдела, необходимо изменять его у всех сотрудников отдела. Аналогичная ситуация будет наблюдаться при изменении размера окладов.
3. Нельзя включить данные о новом отделе, пока не будут набраны его сотрудники.
4. При увольнении все сотрудников не сохраняются данные о самом отделе.

Поэтому, следуя правилам нормализации, необходимо выполнить декомпозицию таблицы «Сотрудники» и разбить ее на три таблицы: «Сотрудники», «Должности», «Отделы» - табл.13.4, 13.5, 13.6.

Таблица 13.4

Сотрудники (окончательная таблица)

Номер сотрудника	Фамилия	Должность	Отдел
1010	Петров	Инженер-технолог	115
1015	Васильев	Инженер-технолог	115
1036	Куликов	Техник	110
2122	Зорин	Начальник отдела	105

Таблица 13.5

Должности

Должность	Оклад
-----------	-------

Инженер-технолог	5500
Техник	3000
Начальник отдела	6500

Таблица 13.6

Отделы

Отдел	Телефон
115	6-15
110	5-46
105	6-88

Т.е окончательно сформированы четыре связанные между собой таблицы: «Проекты», «Сотрудники», «Должности» и «Отделы».

Покажем теперь логику представления фрагмента данных в БД «Режущие инструменты», а более подробно в ее разделе «Сверла». Информация о сверлах берется из справочника – см. табл.13.7.

Таблица 13.7

Справочная информация о сверлах

Обозначение	Диаметр, мм	Длина общая, мм	Длина режущей части, мм	Код хвостовика	Материал	ГОСТ
...	...	...	...	...	...	...
65	19,00	238	135	Морзе 2	P6M5	10903
66	19,25	238	140	Морзе 2	P6M5	10903
...	...	...	...	...	...	...

Общая структура данных показана на рис. 13.1.



Рис.13.1. Общая структура данных БД «Режущие инструменты»

После определения типа данных (здесь применяется два типа данных: «текстовый» - обозначен ниже буквами «С» и «числовой» - буквами «N») и длины полей получается логическая модель данных – рис. 13.2.

Поля записи

DB	D	L	LR	КХ	КМ	GOST
CCC	NN.NN	NNN	NNN	CCCCCCC	CCCC	CCCCC
...	...	...	...	...	...	...
065	19.00	238	135	Морзе 2	Р6М5	10903 ← запись i
066	19.25	238	140	Морзе 2	Р6М5	10903 ← запись i+1
...	...	...	...	...	...	...

Рис.13.2. Логическая модель данных в БД «Режущие инструменты» в разделе «Сверла»

Ввиду того, что львиная доля работы по проектированию технологических процессов приходится на работу с данными и при этом перерабатывается очень большое количество информации, ряд САПР ТП построено на основе имеющихся СУБД. Это значительно облегчает создание прикладного программного обеспечения САПР. Так, например, САПР ТП «Техно/Про» построена на базе уже упоминавшейся СУБД Microsoft Access. Информация об этом мощном приложении изложена в специальной литературе и требует отдельного изучения, что не входит в рамки данной дисциплины. Отметим только, что физическое представление данных на диске в данной СУБД организуется в виде одного общего файла, **файла базы данных**, который имеет расширение .mdb.

Рис.13.1. Общая структура данных БД «Режущие инструменты»

После определения типа данных (здесь применяется два типа данных: «текстовый» - обозначен ниже буквами «С» и «числовой» - буквами «N») и длины полей получается логическая модель данных – рис. 13.2.

Поля записи

DB	D	L	LR	КХ	КМ	GOST
CCC	NN.NN	NNN	NNN	CCCCCCC	CCCC	CCCCC
...	...	...	...	...	...	...
065	19.00	238	135	Морзе 2	Р6М5	10903 ← запись i
066	19.25	238	140	Морзе 2	Р6М5	10903 ← запись i+1
...	...	...	...	...	...	...

Рис.13.2. Логическая модель данных в БД «Режущие инструменты» в разделе «Сверла»

Ввиду того, что львиная доля работы по проектированию технологических процессов приходится на работу с данными и при этом перерабатывается очень большое количество информации, ряд САПР ТП построено на основе имеющихся СУБД. Это значительно облегчает создание прикладного программного обеспечения САПР. Так, например, САПР ТП «Техно/Про»

построена на базе уже упоминавшейся СУБД Microsoft Access. Информация об этом мощном приложении изложена в специальной литературе и требует отдельного изучения, что не входит в рамки данной дисциплины. Отметим только, что физическое представление данных на диске в данной СУБД организуется в виде одного общего файла, **файла базы данных**, который имеет расширение .mdb.

м

## ЛЕКЦИЯ 14

### Лингвистическое обеспечение САПР технологических процессов

**Лингвистическое обеспечение** – совокупность языков, используемых в процессе разработки и эксплуатации САПР.

Под «языком» понимается любое средство общения, любая система символов и знаков для представления и обмена информацией.

Лингвистическое обеспечение образуется следующими языками:

- программирования;
- управления;
- проектирования.

**Языки программирования** необходимы для создания программного обеспечения при разработке САПР. В принципе языки программирования относят и к программному обеспечению САПР. Здесь мы их подробно рассматривать не будем, информация о них приведена в специальной литературе. Напомним лишь, что к наиболее распространенным языкам программирования относятся Pascal, Fortran, Basic, Си (различных версий). В настоящее время на их базе разработаны и повсеместно используются среды программирования такие, как, соответственно, Delphi, Visual Fortran, Visual Basic, Visual Си (также различных версий).

**Языки управления** служат для управления ЭВМ, периферийными устройствами. Это операционная система Windows, драйверы принтеров и т.д. Эти языки также относят и к программному обеспечению САПР. Они в требуемом в данном курсе объеме были описаны ранее.

**Языки проектирования** ориентированы на пользователей – проектировщиков и предназначены для эксплуатации САПР, в том числе и САПР технологических процессов (САПР ТП). На них мы и остановимся более подробно. Эта группа языков делится на:

- входные;
- внутренние;
- выходные.

**Входные языки** являются средством взаимодействия конечного пользователя с САПР, например, в ходе подготовки и ввода исходных данных или формирования проблемы.

**Внутренние языки** обычно скрыты от рядового пользователя и служат для представления информации, передаваемой между различными подсистемами САПР и ЭВМ.

**Выходные языки** обеспечивают оформление результатов проектирования в текстовом или графическом виде.

Такое деление языков проектирования можно назвать классическим. В различных САПР ТП они могут применяться с различной степенью развернутости и в различном исполнении. В одних САПР ТП, реализующих, например, принцип синтеза технологических процессов, информация о детали для автоматического проектирования варианта ТП вводится единовременно. В других подобных системах применяется диалоговое проектирование (диалоговый синтез) ТП, и в них информация о детали вводится постепенно по ходу проектирования технологического процесса.

Так или иначе место языков проектирования на различных этапах переработки информации в САПР ТП (один из вариантов) показано на рис. 14.1.

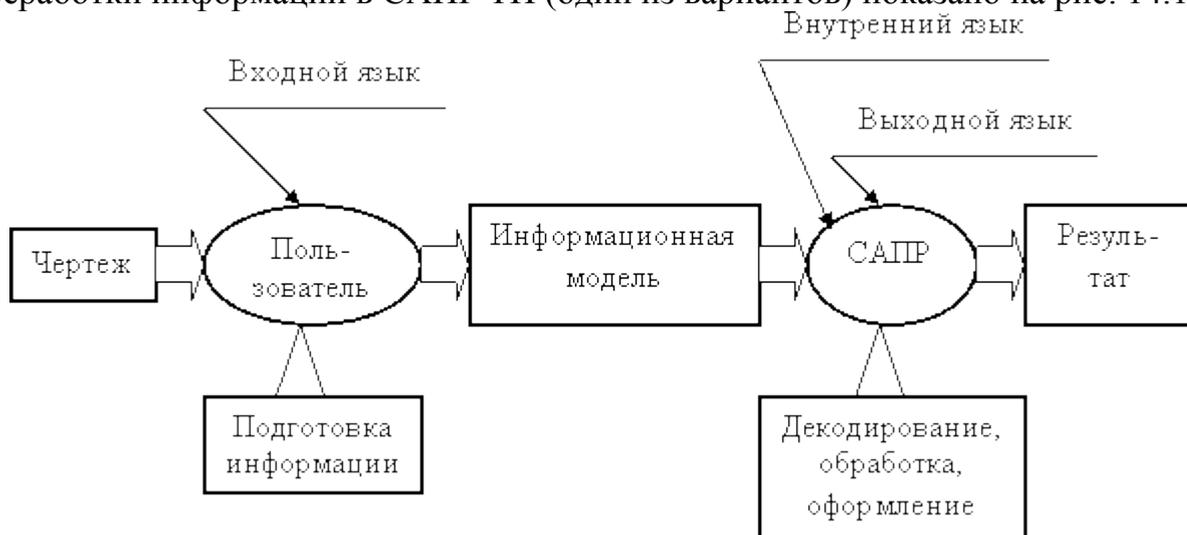


Рис. 14.1. Преобразование информации в САПР

### Языки проектирования, построенные на базе классификации

Эти языки применяются для укрупненного описания детали с целью поиска в базе данных ее аналога и типового (группового) технологического процесса. Эти языки разного исполнения, но построены, как правило, на базе известных классификаторов:

1. «Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции (ОКП)»;
2. «Технологического классификатора деталей машиностроения и приборостроения».

Процесс кодирования сведений о детали заключается в присвоении ей цифрового кода по ОКП и дополнения его кодами основных технологических признаков. Схема (структура) конструкторско – технологического кода детали показана в таблице 14.1.

Таблица 14.1

Схема конструкторско - технологического кода детали

Но позиции в коде	Классификационный признак
1	Индекс предприятия
2	

3	
4	
5	Класс
6	
7	Подкласс
8	Группа
9	Подгруппа
10	Вид
11	Регистрационный номер
12	
13	
14	
15	Размерная характеристика
16	
17	
18	Группа материалов
19	
20	Вид детали по технологическому процессу
21	Вид исходной заготовки
22	
23	Точность
24	
25	Параметр шероховатости
26	Характеристика элементов зубчатого зацепления
27	Характеристика термической обработки
28	Масса

Позиции с1 по 14 представляют собой конструкторский код детали, с 15 по 28 – технологический код детали. Позиции с 5 по 14 – код конструктивных признаков детали,

с 15 по 20 – основной технологический код, с 21 по 28 – дополнительный технологический код.

Конструктивное кодирование основано на разбиении всего множества деталей сначала на классы (тела вращения, корпусные детали и т.д.), затем каждого класса - на подклассы (для тел вращения – осей, валов и т.д.) и т.д. и присвоении каждому классу, подклассу и т.д. цифрового кода (номера).

Фрагмент технологического кодификатора показан ниже в табл. 14.2 и 14.3.

Таблица 14.2

Кодификатор размерной характеристики (фрагмент)

Наибольший наружный диаметр или ширина, мм	Код	Длина, мм	Код	Толщина или диаметр трубы, мм	Код
До 5	0	До 20	0	До 0,2	0
5 . . . 10	1	20 . . .	1	0,2 . . . 0,5	1

		32			
10 ... 16	2	32 ... 45	2	0,5 ... 0,8	2
16 ... 28	3	45 ... 75	3	0,8 ... 1,6	3
...	...	...	...	...	...

Таблица 14.2

Кодификатор группы материалов (фрагмент)

Материал	Код
Стали конструкционные	00
Стали конструкционные с содержанием углерода, %	01
до 0,25	02
0,25 ... 0,6	03
более 0,6	...
...	...

Кроме определения конструкторско – технологического кода в некоторых языках дополнительно запрашивается другая информация о детали. Она бывает необходимой для автоматического назначения оборудования, нормирования технологического процесса и т.д.

### Языки для диалогового проектирования технологических процессов

Исполнения таких языков разные. Это зависит от их разработки конкретными авторами или группами разработчиков. Кратко рассмотрим такой язык, применяемый для диалогового проектирования технологических процессов в рамках САПР ТП «ТехноПро»

(автор – Лихачев Андрей Андреевич, распространяется АО «Топ системы»).

Сразу следует отметить, что данная САПР ТП построена на основе СУБД Microsoft Access и поэтому многие сценарии работы естественным образом повторяют действия по работе с данной средой.

При проектировании технологического процесса в системе «ТехноПро» технолог общается с ЭВМ на языке, максимально приближенном к его предметной области. Он оперирует со знакомыми ему понятиями: деталь, операция, переход, карта, эскиз и т.д. Сведения о детали можно вводить с клавиатуры или считывать с введенного заранее в системе T-FLEX электронного чертежа – см. рис. 14.2.

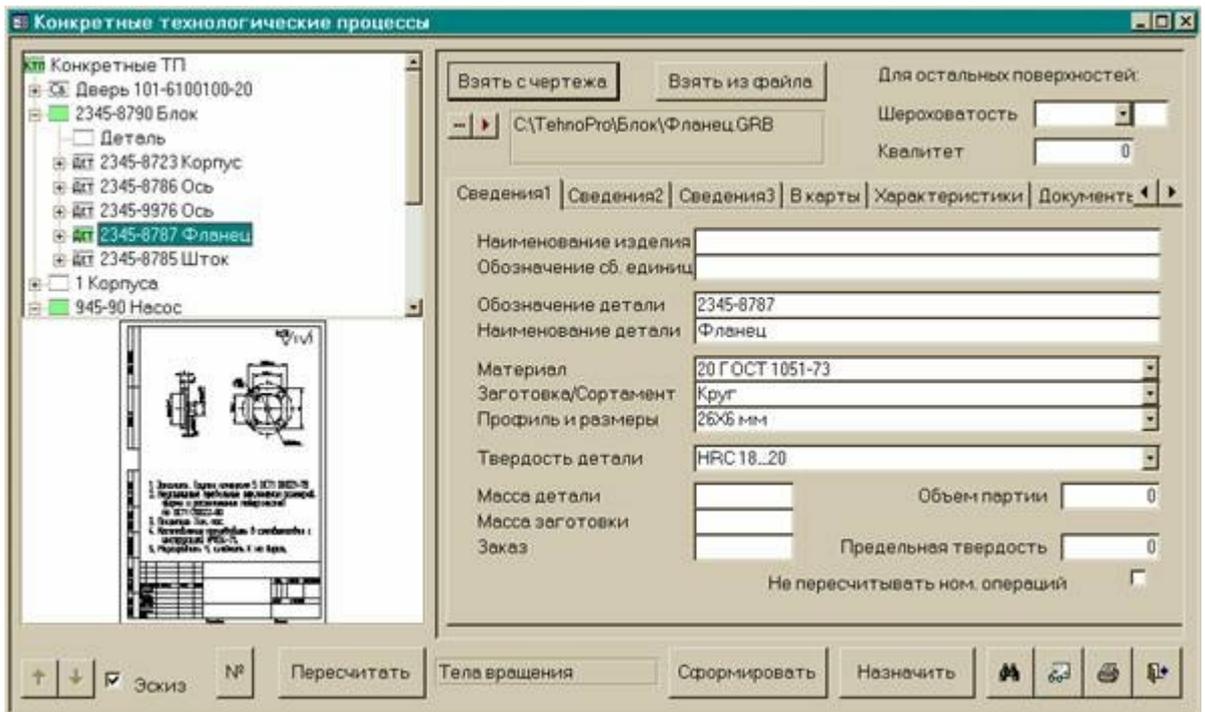


Рис. 14.2. Ввод общих сведений о детали в САПР ТП «ТехноПро»

Форма для ввода информации, представленная на рисунке содержит привычные для Access и для Windows кнопки, поля, закладки и др. элементы.

На рис. 14.3 и 14.4 показаны формы для заполнения содержания операций и переходов соответственно. Маршрут операций и переходов представлены в виде «дерева», что упрощает формирование технологического процесса. Порядок следования операций или переходов можно изменять нажатием кнопок со стрелками вверх или вниз, при этом номера операций или переходов пересчитываются автоматически.

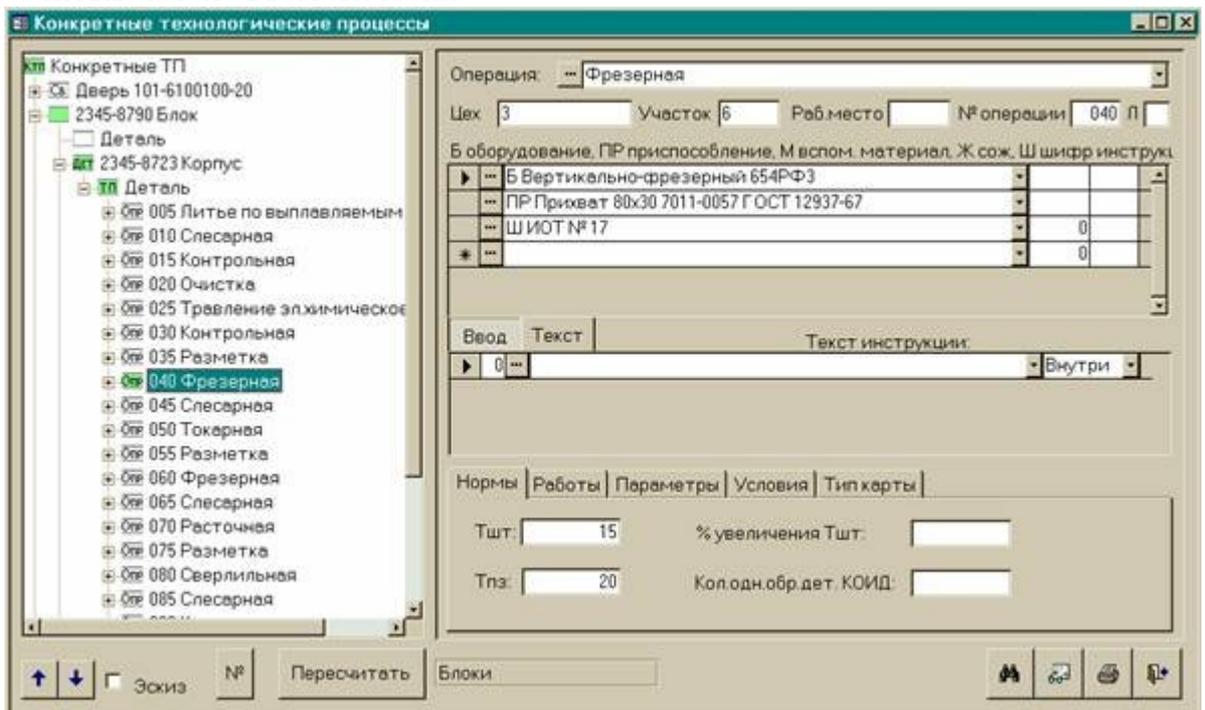


Рис. 14.3. Заполнение содержания операции в САПР ТП «ТехноПро»

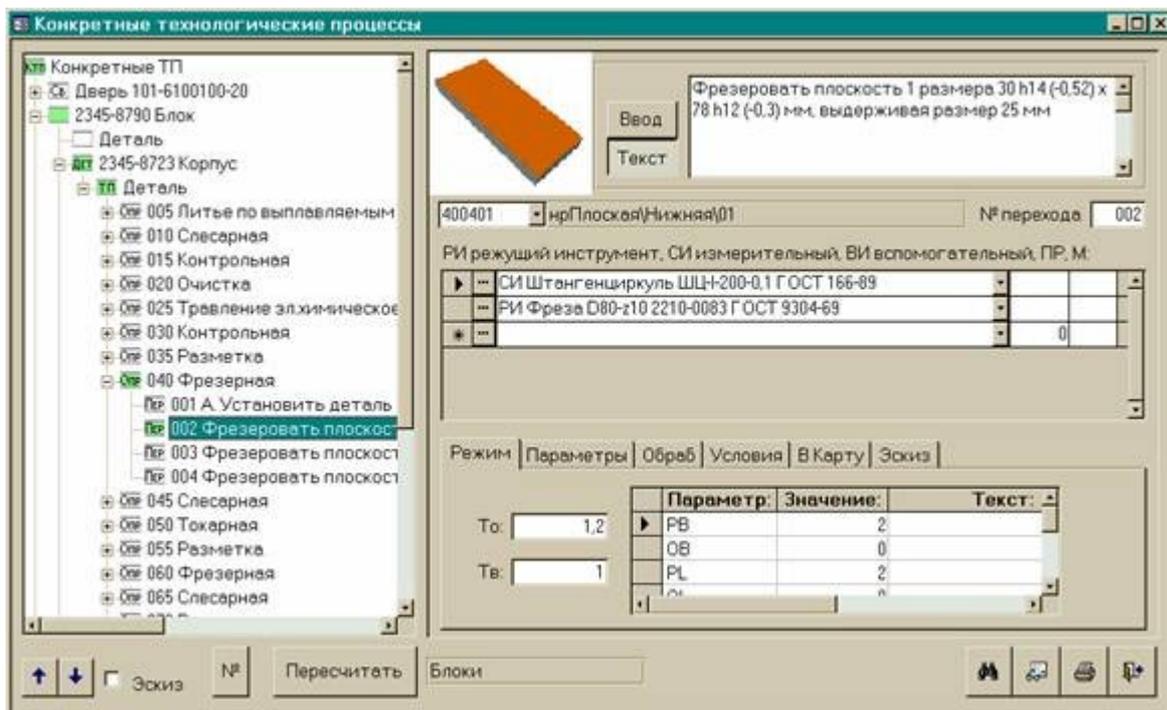


Рис. 14.4. Заполнение содержания перехода в САПР ТП «ТехноПро»

## Выходные языки

Выходные языки, напомним, предназначены для оформления результатов проектирования. В САПР ТП результатом проектирования являются технологические карты: маршрутная, маршрутно – операционная, операционная, эскизов и др. документы. Поэтому любая современная САПР ТП формирует эти документы и предоставляет пользователю возможность при необходимости их скорректировать и распечатать.

В частности в САПР ТП «ТехноПро» выходные документы формируются в среде текстового редактора Microsoft Word, в который передаются выходные данные из системы – рис. 14.5.

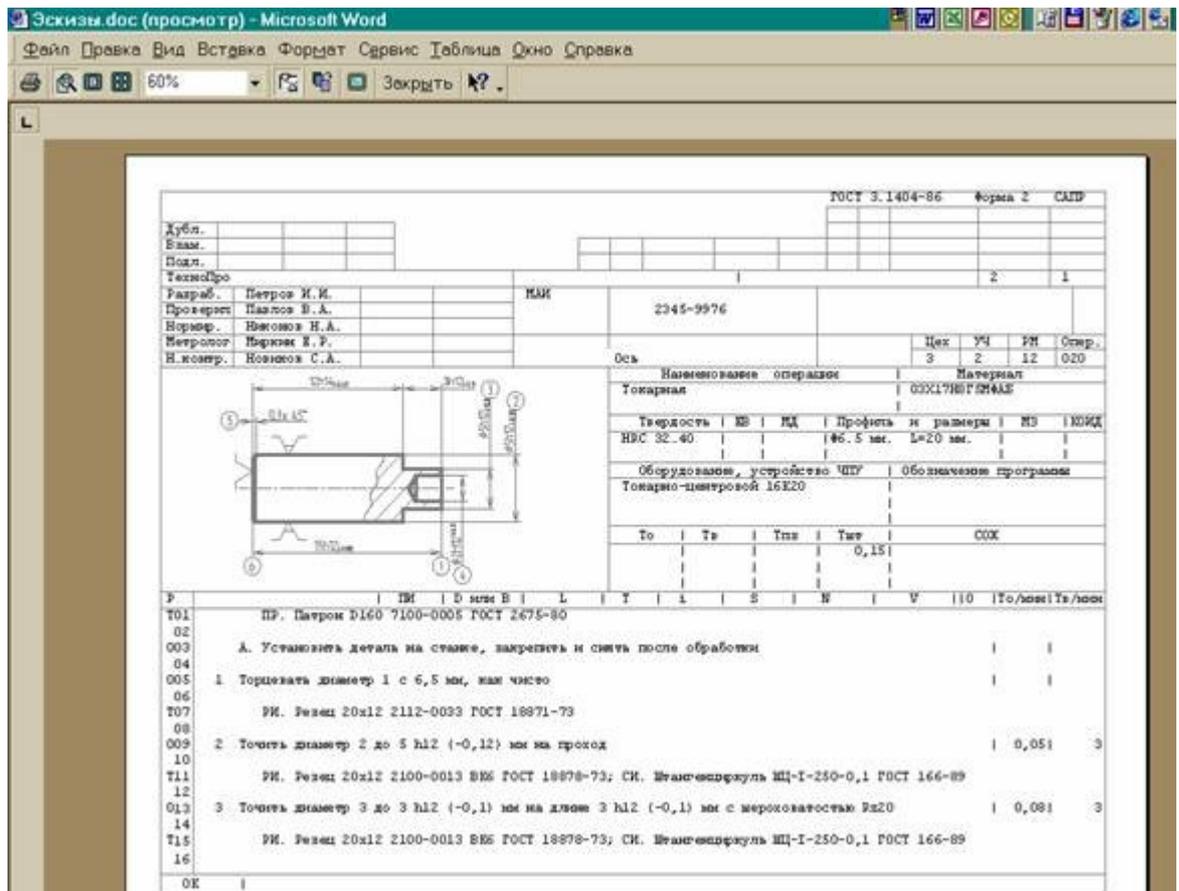


Рис. 14.5.. Пример сформированной карты технологического процесса

Такой подход представляется весьма удобным как с точки зрения разработчиков САПР ТП, так и ее пользователей. Разработчикам не нужно создавать собственный текстовый редактор, что непросто, трудоемко, да и бессмысленно. Пользователи же (представляется, что большинство из них) владеют хотя бы основными навыками работы в современном и самом распространенном текстовом редакторе Microsoft Word и им не нужно затрачивать время на освоения другого текстового редактора.

М

## ЛЕКЦИЯ 15

### Система автоматизированного проектирования технологических процессов «ТехноПро»

Система «ТехноПро» является программным продуктом, разработанным в фирме «Вектор» (автор – Лихачев Андрей Андреевич), и распространяется АО «Топ Системы». Фирма «Топ Системы» находится в г. Москва.

Система «ТехноПро» предназначена для проектирования маршрутных, маршрутно – операционных и операционных технологических процессов (ТП). Проектирование это возможно в диалоговом, полуавтоматическом и автоматическом режиме. Система позволяет использовать сочетание данных методов. Можно, например, одни технологические процессы проектировать в диалоговом режиме, другие – в полуавтоматическом, а третьи – в автоматическом режиме. Система может применяться для проектирования не

только технологии механической обработки, но и технологии сборки, сварки, термообработки и др.

Информационный фонд системы разделен на четыре взаимосвязанные базы данных: базу конкретных ТП, базу общих ТП, базу условий и расчетов и информационную базу.

Входная информация для проектирования ТП может вводиться вручную в диалоговом режиме, а также, что выгодно отличает данную САПР ТП от других, может быть получена из заранее выполненных электронных чертежей.

Выходная информация может быть представлена в виде различных технологических документов: технологических карт, карт эскизов, карт контроля и т.д. Эти документы изначально формируются самой системой, а затем при необходимости могут быть скорректированы пользователем в диалоговом режиме (см. лекцию 15).

Система разработана на основе реляционной базы данных Microsoft Access и может функционировать под управлением операционных систем семейства Microsoft Windows. Она может быть установлена на отдельное рабочее место, а также в локальной вычислительной сети.

### **Диалоговое проектирование технологических процессов**

При создании ТП в диалоговом режиме пользователь имеет возможность работать с информационной базой системы и базой конкретных технологических процессов (КТП). Каждый спроектированный ТП остается в базе данных и на его основе может быть создан другой технологический процесс. При создании нового КТП можно использовать созданные ранее ТП целиком, их отдельные операции и переходы.

Для автоматизации расчетов в диалоговом режиме используются условия из базы условий и расчетов. Если расчет требует того, отдельные условия могут быть сведены в сценарии. Примерами применения условий и сценариев являются расчеты режимов резания, припусков и межпереходных размеров, норм времени.

Каждое наименование операции, оборудования, инструмента, текст перехода, вводимое пользователем в ходе диалогового проектирования ТП, запоминается системой в информационной базе и может быть в дальнейшем использовано при проектировании следующих технологических процессов. Тем самым в системе реализован принцип постепенного автоматического формирования информационной базы. Чем больше информации в информационной базе, тем легче и быстрее разрабатывать ТП.

На рис. 15.1. представлены основные виды информации, которыми пользователь может оперировать при диалоговом проектировании ТП.



Рис. 15.1. Информация, используемая пользователем при диалоговом проектировании технологических процессов

Итак, добавление и редактирование технологических операций и переходов, технологического оснащения возможно как вводом с клавиатуры, так и выбором из информационной базы. Имеется возможность копирования и редактирования операций и переходов из ранее созданных КТП, возможен также импорт/экспорт КТП. В КТП имеется возможность копирования, удаления, перемещения и редактирования операций и переходов. Разработанный КТП может быть распечатан в виде технологических карт различных форм.

### Автоматическое проектирование технологических процессов

По мере эксплуатации системы ТехноПро в ее базах накапливается большое количество технологических процессов. При изготовлении различных деталей структура части операций, переходов и ТП в целом повторяется. Поэтому можно создать базу автоматического проектирования технологических процессов. Для этого необходимо сгруппировать детали по сходству технологий их изготовления.

Следует отметить, что в системе ТехноПро реализуется метод анализа при автоматическом проектировании ТП, основанный на групповых технологических процессах. В ТехноПро в группу объединяются как можно больше деталей. По мере расширения группы возрастает гарантия того, что технология изготовления новых деталей, поступивших в производство, будет автоматически спроектирована ТехноПро. Для каждой группы создается общий технологический процесс (ОТП), содержащий весь перечень операций изготовления всех деталей группы. Для наполнения ОТП используются технологические процессы, уже освоенные в производстве.

Создание ОТП производится в следующей последовательности: один из технологических процессов группы принимается за базовый и вводится в виде ОТП в диалоговом режиме (можно скопировать один из КТП), затем в него

добавляются недостающие операции и переходы из других ТП (КТП). При добавлении выявляются признаки, в зависимости от которых необходимо выбирать ту или иную операцию, переход или маршрут. Проверка каждого из признаков вносится в виде условий в базу ТехноПро. Примерами таких условий являются проверки: вида заготовки, марки или твердости материала детали, габаритов детали и других параметров.

Создание ОТП следует проводить, руководствуясь схемой, изображенной на рис. 15.2.

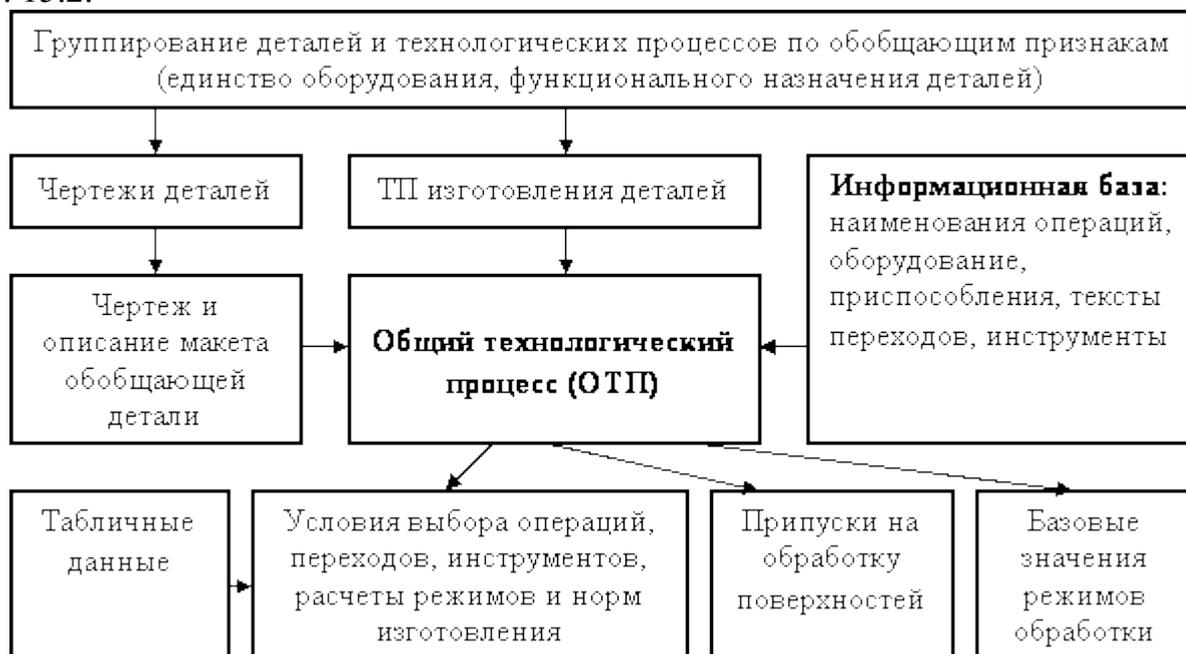


Рис. 15.2. Схема последовательности создания ОТП

После создания ОТП можно переходить к автоматическому проектированию технологических процессов. Для этого достаточно создать описание конструкции конкретной детали с использованием графических средств или ввести необходимые данные с клавиатуры. Для ускорения работы можно скопировать подобную деталь из уже имеющихся в базе КТП или скопировать макет ОТП.

Описание чертежа детали заключается в описании общих сведений о детали (данные из штампа и технических требований на чертеже) и параметров элементов конструкции (поверхностей), имеющих на чертеже детали.

После создания описания детали ей назначается ОТП соответствующей группы деталей. После этого запускается процесс автоматического формирования ТП.

По ходу этого процесса система выбирает из назначенного ОТП операции и переходы, необходимые для изготовления каждого элемента конструкции детали и переносит их в КТП. Затем из выбранного перечня система отбрасывает операции и переходы, обеспечивающие лучшее качество изготовления по сравнению с указанным на чертеже.

После этого ТехноПро отбрасывает из КТП операции и переходы, в которых условия их выбора не выполнены. Далее система производит расчеты, имеющиеся в условиях оставшихся операций и переходов.

Затем система рассчитывает технологические размерные цепи с учетом значений припусков, указанных в переходах КТП. Далее система выполняет

условия подбора оснащения операций и переходов и выполняет имеющиеся в этих условиях расчеты режимов обработки норм времени изготовления.

В конце процесса проектирования система формирует тексты переходов, заменяя имеющиеся в них параметры на рассчитанные их значения. Значения параметров выбираются в зависимости от типа выполняемой обработки – предварительной или окончательной.

Создавая ОТП и условия, технолог «обучает» систему проектированию технологии своего конкретного производства. Все нюансы в последующем проектировании ТП будут учтены.

Автоматически сформированный КТП по своей сути ничем не отличается от КТП, сформированного в диалоговом режиме. Поэтому после автоматического проектирования КТП можно в диалоговом режиме просмотреть, отредактировать и распечатать.

### **Полуавтоматическое проектирование технологических процессов**

Система ТехноПро обеспечивает наполнение проектируемого ТП операциями и переходами не только с использованием информационной базы, но и с помощью заранее подготовленных операций и переходов из базы ОТП.

Если необходимо добавить в КТП операцию или переход из ОТП, то требуется лишь выбрать пункт «Копировать из ОТП» соответствующего меню. При этом курсор мыши должен стоять на нужной операции или переходе. Выбранные переходы вставляются в конце ТП. Операции из ОТП переносятся со всеми имеющимися в них переходами. Можно изменять положение операции в ТП или перехода в операции, используя кнопки вверх/вниз.

При добавлении из ОТП операции с несколькими переходами система по очереди запрашивает коды элементов для каждого переносимого перехода. Коды можно оставить без изменения или ввести заново.

После задания всех элементов детали и их параметров выбор кнопки «Пересчитать» вызывает не только формирование текстов переходов, но и расчет технологических размерных цепей и подбор инструментов.

Такой метод проектирования ТП в ТехноПро называется «Полуавтоматическим».

### **База условий и расчетов**

База условий и расчетов в САПР ТП «ТехноПро» позволяет учитывать опыт проектирования технологических процессов на конкретном производстве. Эту базу можно отнести к разряду «баз знаний». Возможность ее создания и использования несомненно можно отнести к достоинству системы ТехноПро.

Для создания базы условий и расчетов ТехноПро в системе предусмотрен специальный интерфейс. Каждая строка описания условия содержит **левую часть «Условие»**, которая включает в себя **оператор условия и проверяемое выражение**, и **правую часть «Действие»**, которая включает в себя **оператор действия и выполняемое выражение**.

Операторами условия могут быть: «Если», «ЕслиУсл», «Иначе», «ИначеЕсли» или пустой оператор «---». Проверяемое выражение содержит собственно проверяемое условие. Операторами действия могут быть: «Выбрать», «Вычислить», «Подобрать», «ВыполнитьУсл», или «СоздатьЭлем». Выполняемое выражение содержит собственно выражение, которое должно быть выполнено при удовлетворении соответствующего условия.

Пример 1.

В этом и последующих примерах оператор условия, проверяемое выражение, оператор действия и выполняемое выражение будут отделены друг от друга знаком «!». В системе они вводятся в отдельные поля.

Если ! [D]>50 ! Вычислить ! [t;Режим]=[t;режим]+0,5.

Это означает: если диаметр поверхности превышает 50 мм, то глубина резания увеличивается на 0,5 мм.

Пример 2.

Если ! [Свойство]= «С пластинами из твердого сплава» ! Вычислить ! [S;Режим]= 0.5

Иначе !! Вычислить ! [S;Режим]= 0.1

КонецЕсли !!!

Это означает: если резец выполнен с пластиной из твердого сплава, то величина подачи – 0,5 мм/об, если в другом исполнении (подразумевается, что резец из быстрорежущей стали), то величина подачи – 0,1 мм/об.

Пример 3.

Если ! [D;Обраб]<=150 ! Выбрать !!

- - - ! ! Подобрать ! [Штангели;D<sub>min</sub>]<=[D;Обраб] И [Штангели;D<sub>max</sub>]>=[D;Обраб]

КонецЕсли !!!

Это означает: если расчетный диаметр обрабатываемой поверхности с учетом припуска меньше или равен 150 мм, подбирается штангенциркуль, для которого выполняется условие, когда расчетный диаметр обрабатываемой поверхности с учетом припуска больше или равен минимальному диаметру и меньше или равен максимальному диаметру, измеряемому штангенциркулем.

Приведенное описание базы условий и расчетов, а также приведенные примеры – это лишь очень маленькая часть возможностей разработанной авторами ТехноПро базы знаний.

В САПР ТП «ТехноПро» реализованы все известные методы построения систем автоматизированного проектирования технологических процессов: прямого проектирования (документирования), анализа и синтеза. Она предоставляет пользователям широкие возможности технологического проектирования и требует специального ее изучения и практического применения.

## ЛЕКЦИЯ 15

## **Система автоматизированного проектирования технологических процессов «ТехноПро»**

Система «ТехноПро» является программным продуктом, разработанным в фирме «Вектор» (автор – Лихачев Андрей Андреевич), и распространяется АО «Топ Системы». Фирма «Топ Системы» находится в г. Москва.

Система «ТехноПро» предназначена для проектирования маршрутных, маршрутно – операционных и операционных технологических процессов (ТП). Проектирование это возможно в диалоговом, полуавтоматическом и автоматическом режиме. Система позволяет использовать сочетание данных методов. Можно, например, одни технологические процессы проектировать в диалоговом режиме, другие – в полуавтоматическом, а третьи – в автоматическом режиме. Система может применяться для проектирования не только технологии механической обработки, но и технологии сборки, сварки, термообработки и др.

Информационный фонд системы разделен на четыре взаимосвязанные базы данных: базу конкретных ТП, базу общих ТП, базу условий и расчетов и информационную базу.

Входная информация для проектирования ТП может вводиться вручную в диалоговом режиме, а также, что выгодно отличает данную САПР ТП от других, может быть получена из заранее выполненных электронных чертежей.

Выходная информация может быть представлена в виде различных технологических документов: технологических карт, карт эскизов, карт контроля и т.д. Эти документы изначально формируются самой системой, а затем при необходимости могут быть скорректированы пользователем в диалоговом режиме (см. лекцию 15).

Система разработана на основе реляционной базы данных Microsoft Access и может функционировать под управлением операционных систем семейства Microsoft Windows. Она может быть установлена на отдельное рабочее место, а также в локальной вычислительной сети.

### **Диалоговое проектирование технологических процессов**

При создании ТП в диалоговом режиме пользователь имеет возможность работать с информационной базой системы и базой конкретных технологических процессов (КТП). Каждый спроектированный ТП остается в базе данных и на его основе может быть создан другой технологический процесс. При создании нового КТП можно использовать созданные ранее ТП целиком, их отдельные операции и переходы.

Для автоматизации расчетов в диалоговом режиме используются условия из базы условий и расчетов. Если расчет требует того, отдельные условия могут быть сведены в сценарии. Примерами применения условий и сценариев являются расчеты режимов резания, припусков и межпереходных размеров, норм времени.

Каждое наименование операции, оборудования, инструмента, текст перехода, вводимое пользователем в ходе диалогового проектирования ТП, запоминается системой в информационной базе и может быть в дальнейшем

использовано при проектировании следующих технологических процессов. Тем самым в системе реализован принцип постепенного автоматического формирования информационной базы. Чем больше информации в информационной базе, тем легче и быстрее разрабатывать ТП.

На рис. 15.1. представлены основные виды информации, которыми пользователь может оперировать при диалоговом проектировании ТП.



Рис. 15.1. Информация, используемая пользователем при диалоговом проектировании технологических процессов

Итак, добавление и редактирование технологических операций и переходов, технологического оснащения возможно как вводом с клавиатуры, так и выбором из информационной базы. Имеется возможность копирования и редактирования операций и переходов из ранее созданных КТП, возможен также импорт/экспорт КТП. В КТП имеется возможность копирования, удаления, перемещения и редактирования операций и переходов. Разработанный КТП может быть распечатан в виде технологических карт различных форм.

### Автоматическое проектирование технологических процессов

По мере эксплуатации системы ТехноПро в ее базах накапливается большое количество технологических процессов. При изготовлении различных деталей структура части операций, переходов и ТП в целом повторяется. Поэтому можно создать базу автоматического проектирования технологических процессов. Для этого необходимо сгруппировать детали по сходству технологий их изготовления.

Следует отметить, что в системе ТехноПро реализуется метод анализа при автоматическом проектировании ТП, основанный на групповых технологических процессах. В ТехноПро в группу объединяются как можно больше деталей. По мере расширения группы возрастает гарантия того, что технология изготовления новых деталей, поступивших в производство, будет автоматически спроектирована ТехноПро. Для каждой группы создается общий

технологический процесс (ОТП), содержащий весь перечень операций изготовления всех деталей группы. Для наполнения ОТП используются технологические процессы, уже освоенные в производстве.

Создание ОТП производится в следующей последовательности: один из технологических процессов группы принимается за базовый и вводится в виде ОТП в диалоговом режиме (можно скопировать один из КТП), затем в него добавляются недостающие операции и переходы из других ТП (КТП). При добавлении выявляются признаки, в зависимости от которых необходимо выбирать ту или иную операцию, переход или маршрут. Проверка каждого из признаков вносится в виде условий в базу ТехноПро. Примерами таких условий являются проверки: вида заготовки, марки или твердости материала детали, габаритов детали и других параметров.

Создание ОТП следует проводить, руководствуясь схемой, изображенной на рис. 15.2.

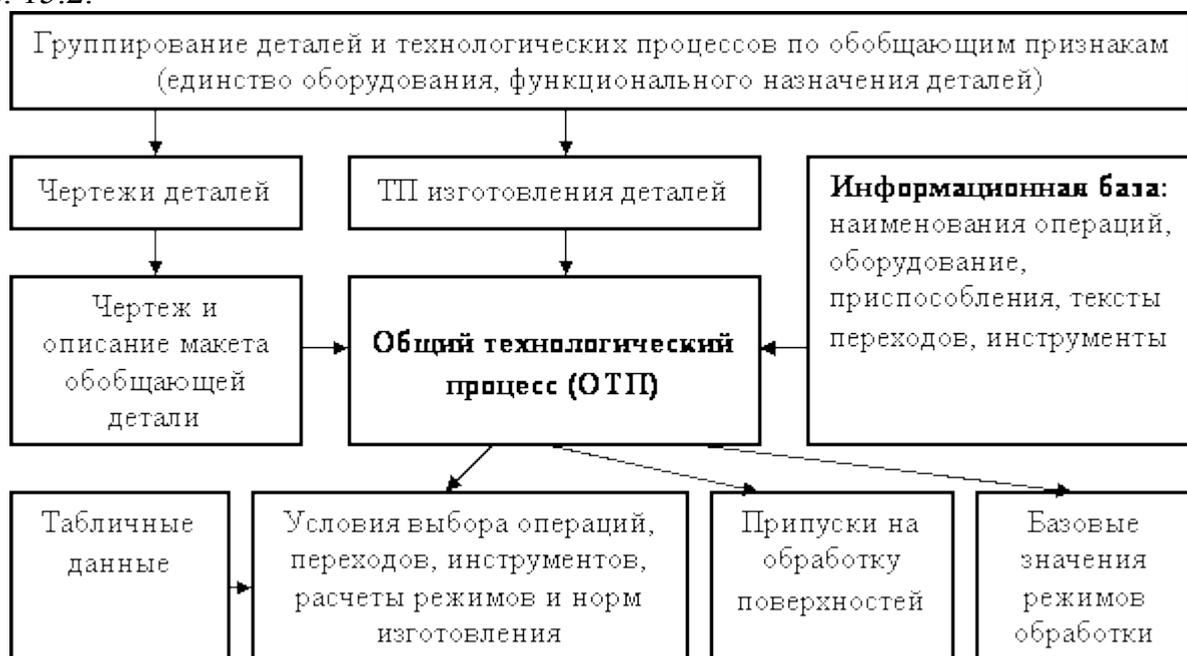


Рис.15.2. Схема последовательности создания ОТП

После создания ОТП можно переходить к автоматическому проектированию технологических процессов. Для этого достаточно создать описание конструкции конкретной детали с использованием графических средств или ввести необходимые данные с клавиатуры. Для ускорения работы можно скопировать подобную деталь из уже имеющихся в базе КТП или скопировать макет ОТП.

Описание чертежа детали заключается в описании общих сведений о детали (данные из штампа и технических требований на чертеже) и параметров элементов конструкции (поверхностей), имеющих на чертеже детали.

После создания описания детали ей назначается ОТП соответствующей группы деталей. После этого запускается процесс автоматического формирования ТП.

По ходу этого процесса система выбирает из назначенного ОТП операции и переходы, необходимые для изготовления каждого элемента конструкции детали и переносит их в КТП. Затем из выбранного перечня система

отбрасывает операции и переходы, обеспечивающие лучшее качество изготовления по сравнению с указанным на чертеже.

После этого ТехноПро отбрасывает из КТП операции и переходы, в которых условия их выбора не выполнены. Далее система производит расчеты, имеющиеся в условиях оставшихся операций и переходов.

Затем система рассчитывает технологические размерные цепи с учетом значений припусков, указанных в переходах КТП. Далее система выполняет условия подбора оснащения операций и переходов и выполняет имеющиеся в этих условиях расчеты режимов обработки норм времени изготовления.

В конце процесса проектирования система формирует тексты переходов, заменяя имеющиеся в них параметры на рассчитанные их значения. Значения параметров выбираются в зависимости от типа выполняемой обработки – предварительной или окончательной.

Создавая ОТП и условия, технолог «обучает» систему проектированию технологии своего конкретного производства. Все нюансы в последующем проектировании ТП будут учтены.

Автоматически сформированный КТП по своей сути ничем не отличается от КТП, сформированного в диалоговом режиме. Поэтому после автоматического проектирования КТП можно в диалоговом режиме просмотреть, отредактировать и распечатать.

## **Полуавтоматическое проектирование технологических процессов**

Система ТехноПро обеспечивает наполнение проектируемого ТП операциями и переходами не только с использованием информационной базы, но и с помощью заранее подготовленных операций и переходов из базы ОТП.

Если необходимо добавить в КТП операцию или переход из ОТП, то требуется лишь выбрать пункт «Копировать из ОТП» соответствующего меню. При этом курсор мыши должен стоять на нужной операции или переходе. Выбранные переходы вставляются в конце ТП. Операции из ОТП переносятся со всеми имеющимися в них переходами. Можно изменять положение операции в ТП или перехода в операции, используя кнопки вверх/вниз.

При добавлении из ОТП операции с несколькими переходами система по очереди запрашивает коды элементов для каждого переносимого перехода. Коды можно оставить без изменения или ввести заново.

После задания всех элементов детали и их параметров выбор кнопки «Пересчитать» вызывает не только формирование текстов переходов, но и расчет технологических размерных цепей и подбор инструментов.

Такой метод проектирования ТП в ТехноПро называется «Полуавтоматическим».

## **База условий и расчетов**

База условий и расчетов в САПР ТП «ТехноПро» позволяет учитывать опыт проектирования технологических процессов на конкретном производстве. Эту

базу можно отнести к разряду «баз знаний». Возможность ее создания и использования несомненно можно отнести к достоинству системы ТехноПро.

Для создания базы условий и расчетов ТехноПро в системе предусмотрен специальный интерфейс. Каждая строка описания условия содержит **левую часть «Условие»**, которая включает в себя **оператор условия** и **проверяемое выражение**, и **правую часть «Действие»**, которая включает в себя **оператор действия** и **выполняемое выражение**.

Операторами условия могут быть: «Если», «ЕслиУсл», «Иначе», «ИначеЕсли» или пустой оператор «---». Проверяемое выражение содержит собственно проверяемое условие. Операторами действия могут быть: «Выбрать», «Вычислить», «Подобрать», «ВыполнитьУсл», или «СоздатьЭлем». Выполняемое выражение содержит собственно выражение, которое должно быть выполнено при удовлетворении соответствующего условия.

Пример 1.

В этом и последующих примерах оператор условия, проверяемое выражение, оператор действия и выполняемое выражение будут отделены друг от друга знаком «!». В системе они вводятся в отдельные поля.

Если ! [D]>50 ! Вычислить ! [t;Режим]=[t;режим]+0,5.

Это означает: если диаметр поверхности превышает 50 мм, то глубина резания увеличивается на 0,5 мм.

Пример 2.

Если ! [Свойство]= «С пластинами из твердого сплава» ! Вычислить ! [S;Режим]= 0.5

Иначе !! Вычислить ! [S;Режим]= 0.1

КонецЕсли !!!

Это означает: если резец выполнен с пластиной из твердого сплава, то величина подачи – 0,5 мм/об, если в другом исполнении (подразумевается, что резец из быстрорежущей стали), то величина подачи – 0,1 мм/об.

Пример 3.

Если ! [D;Обраб]<=150 ! Выбрать !!

- - - ! ! Подобрать ! [Штангели;D<sub>min</sub>]<=[D;Обраб] И [Штангели;D<sub>max</sub>]>=[D;Обраб]

КонецЕсли !!!

Это означает: если расчетный диаметр обрабатываемой поверхности с учетом припуска меньше или равен 150 мм, подбирается штангенциркуль, для которого выполняется условие, когда расчетный диаметр обрабатываемой поверхности с учетом припуска больше или равен минимальному диаметру и меньше или равен максимальному диаметру, измеряемому штангенциркулем.

Приведенное описание базы условий и расчетов, а также приведенные примеры – это лишь очень маленькая часть возможностей разработанной авторами ТехноПро базы знаний.

В САПР ТП «ТехноПро» реализованы все известные методы построения систем автоматизированного проектирования технологических процессов:

прямого проектирования (документирования), анализа и синтеза. Она предоставляет пользователям широкие возможности технологического проектирования и требует специального ее изучения и практического применения.

## ЛЕКЦИЯ 16

### Система автоматизированного проектирования технологических процессов «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ»

Данная система является разработкой компании «Аскон» (г. Санкт - Петербург). В данной лекции приводятся данные по САПР ТП «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ» версии 5. Она представляет собой интегрированный комплекс, который **включает в себя следующие подсистемы проектирования технологий:**

- механической обработки;
- штамповки;
- сборки;
- сварки;
- термообработки;
- покрытий;
- гальваники;
- литья;
- расчета норм расхода материалов;
- расчета режимов обработки;
- нормирования трудоемкости технологических операций;
- анализа технологических процессов (ТП), позволяющие рассчитать суммарную трудоемкость изготовления деталей и узлов, определять материалоемкость и себестоимость изделия.

В основу работы САПР ТП «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ» положен принцип заимствования ранее принятых технологических решений. В процессе эксплуатации системы накапливаются типовые, групповые, единичные технологии, унифицированные операции, планы обработки конструктивных элементов и поверхностей. При формировании технологического процесса пользователю предоставляется доступ к архивам и библиотекам, хранящим накопленные решения.

Разработка технологических процессов осуществляется в следующих режимах:

- проектирование на основе технологического процесса – аналога (автоматический выбор соответствующего ТП из базы данных с последующей его доработкой в диалоговом режиме);
- формирование ТП из отдельных блоков, хранящихся в библиотеке типовых технологических операций и переходов;
- объединение отдельных операций архивных технологий;

- автоматическая доработка типовой технологии на основе данных, переданных с параметризованного чертежа КОМПАС – ГРАФИК (чертежно – конструкторского редактора);
- разработка ТП в режиме прямого документирования в диалоговом режиме с помощью специальных процедур к справочным базам данных.

В системе реализована процедура, позволяющая проектировать сквозные технологии, включающие одновременно операции механообработки, штамповки, термообработки, сборки, сварки и т.д.

В комплект разрабатываемой документации входят: титульный лист, карта эскизов, маршрутная, маршрутно – операционная, операционная карты ТП, ведомость оснастки, материалов и другие документы в соответствии с ГОСТ. В базовую поставку системы включены более 60 видов технологических карт. Они выполнены в среде MS Excel. Распечатывать их можно как в горизонтальном, так и вертикальном исполнении. При необходимости пользователь может разрабатывать новые карты, а также вносить изменения в существующие образцы. Эскизы и графическая часть технологических карт выполняются в среде КОМПАС – ГРАФИК и вставляются в листы MS Excel как OLE – объекты.

Для разработки документов произвольной формы используется специальный генератор отчетов, также формирующий технологические карты в среде MS Excel.

Технологические процессы, разработанные в КОМПАС – АВТОПРОЕКТ, помещаются в архив системы в сжатом виде. Оглавление такого архива доступно для ручного просмотра и корректировки. Автоматический поиск ТП в архиве производится либо по коду геометрической формы детали, либо по отдельным характеристикам: тип детали, принадлежность к изделию, вид заготовки, габаритные размеры и т.д. По заданным критериям поиска система находит несколько ТП, оставляя окончательный выбор за технологом.

Оглавлением архива разработанных технологических процессов служит база данных конструкторско – технологических спецификаций (КТС), включающих в себя уровни изделий, узлов и деталей. Система обеспечивает свободное перемещение от одного уровня к другому, позволяя при этом просматривать и редактировать состав изделий, узлов и деталей. Каждый уровень имеет подчиненную таблицу «Документы», записи которой содержат ссылки на документы, созданные в различных приложениях: графические, текстовые файлы, архивные технологи и т.д.

Выбор ТП осуществляется процедурой разархивации, которая извлекает технологический процесс из архива и помещает его в рабочее поле КОМПАС – АВТОПРОЕКТ, доступное для внесения изменений. Информация о текущем технологическом процессе распределяется по уровням: деталь – операция – переход.

Пользователю предоставлена возможность перемещаться по уровням, отслеживать состав переходов по каждой технологической операции, осуществлять необходимую корректировку. При этом технологический процесс, находящийся в архиве, не меняется. Модифицированная технология может быть помещена обратно в архив под прежним или новым именем.

Процедуры обработки КТС позволяют производить выборку деталей по принадлежности к изделиям, сборочным единицам, цехам изготовления и т.д. На их основе формируются сводные нормы, заявки на материал, комплектующие карты и другие технологические документы.

В системе реализованы процедуры, позволяющие глобально корректировать любую информацию в архиве технологических процессов (например, замена устаревших ГОСТов технологической оснастки), рассчитывать суммарную трудоемкость изготовления деталей и сборочных единиц, определять материалоемкость и себестоимость изделия в целом.

Система обеспечивает удобную организацию баз данных и быстрый доступ к требуемой информации. Она обладает хорошо организованным диалоговым интерфейсом, обеспечивающим легкое и наглядное перемещение по всем базам данных. Приемы работы с базами данных идентичны, что упрощает их сопровождение. Программа поддерживает диалоговый доступ к сведениям об оборудовании, инструментах, материалах и т.д. В любой момент эти данные могут быть выведены на экран, скорректированы или пополнены. В информационном пространстве КОМПАС – АВТОПРОЕКТ можно создавать новые информационные массивы, корректировать состав и размерность их полей. Взаимодействие между таблицами данных в КОМПАС – АВТОПРОЕКТ построено на динамически формируемых SQL – запросах. Операторы SQL генерируются либо автоматически, либо по шаблону, заданному пользователем. В базовую поставку системы входит около 3000 реляционных таблиц различной структуры и подчиненности.

Работа с базами данных организована в архитектуре клиент – сервер, что исключает дублирование и обеспечивает защиту информации. В качестве SQL – серверов в КОМПАС – АВТОПРОЕКТ могут быть использованы InterBase, MS SQL, Oracle. Данные могут располагаться как на локальной станции, так и на выделенном сервере. Имеющиеся у пользователя информационные массивы легко включаются в состав баз данных системы КОМПАС – АВТОПРОЕКТ.

Одним из основных преимуществ КОМПАС – АВТОПРОЕКТ является возможность модернизации системы без участия разработчика самими пользователями. Корректируются состав и структура всех баз данных, настраиваются формы технологических документов, подключаются новые программные модули.

Гибкость программного и информационного обеспечения позволяет быстро адаптировать систему к любым производственным условиям. Инструментальные средства системы позволяют разрабатывать на ее основе пользовательские приложения.

САПР ТП КОМПАС – АВТОПРОЕКТ состоит из ядра и окружения прикладных задач. Основные функциональные режимы системы делятся на две группы: функции подсистемы проектирования и функции подсистемы управления базами данных (СУБД).

#### **Функции подсистемы проектирования:**

- автоматизированное проектирование технологических процессов;
- интеграция с КОМПАС – ГРАФИК и КОМПАС – МЕНЕДЖЕР;
- материальное и трудовое нормирование;

- автоматическое формирование комплекта технологической документации(горизонтальное и вертикальное исполнение);
- каталогизация разработанных ТП в архиве технологий;
- возможность глобального анализа архивных технологий с передачей результатов в автоматизированную систему управления производством;
- возможность разработки сквозного ТП и подключения новых технологических переделов;
- оперативный просмотр графики: чертежей деталей, инструментов , эскизов операций и т.д.;
- возможность настройки образцов технологических документов;
- архивация текущего комплекта технологических документов в архиве карт;
- ведение конструкторско – технологических спецификаций;
- автоматический поиск технологий по коду или текстовому описанию детали в базе данных конструкторско – технологических спецификаций;
- автоматизированное формирование кода детали в соответствии с ЕСКД и ТКД;
- архивация текущего состава спецификаций в архиве изделий;
- расчетные процедуры.

#### **Функции СУБД:**

- организация иерархическо – реляционной связи информационных массивов;
- возможность структурной модификации любой базы данных;
- возможность подключения новых информационных массивов;
- возможность подключения к любому табличному полю справочного массива;
- многостраничный режим доступа одновременно к нескольким базам данных;
- отображения данных: таблица – слайд, таблица – дерево, таблица – комментарий;
- процедура поиска по критериям в любой базе данных;
- экспорт данных из любой базы данных в текстовый документ или в формат файлов Excel;
- блокировка несанкционированного доступа к защищенной базе данных;
- возможность установки различных степеней защиты данных от изменений;
- копирование, удаление, вставка записей по одной или блоками;
- сортировка, замена, просмотр, распечатка содержимого любого набора данных;
- возможность настройки содержимого блоков основного меню системы;
- возможность подключения к системе новых программ, разработанных пользователем;

- встроенный генератор отчетов;
- настройка параметров системы с помощью файла конфигурации (\*.ini).

Функциональные возможности САПР ТП КОМПАС – АВТОПРОЕКТ довольно широки и позволяют решить широкий спектр технологических задач машиностроительных предприятий.

### **САПР технологических процессов литья**

Данная система представляет собой специализированный модуль САПР ТП КОМПАС – АВТОПРОЕКТ. Он ориентирован на разработку технологических процессов различных видов литья:

- литье в песчано – глинистые формы;
- литье в кокиль;
- литье по выплавляемым моделям;
- центробежное литье;
- литье под давлением;
- литье в оболочковые формы и т.д.

САПР технологических процессов литья используют основную концепцию КОМПАС – АВТОПРОЕКТ, все ее возможности ввода и корректировки данных, подключения справочников, а также традиционную методику работы технолога с программой.

Особенностью модуля САПР ТП литья является программа печати, которая позволяет сформировать комплект документации на литье для любого вида технологических процессов с учетом всех особенностей технологических карт.

### **Система программирования объемной обработки на станках с ЧПУ ГЕММА – 3D**

Главной задачей, на решение которой ориентирована данная система, является получение программ обработки на станках с ЧПУ наиболее сложных деталей, входящих в состав изделий машиностроения, изготавливаемых фрезерованием, сверлением, электроэрозионной резкой. ГЕММА может применяться совместно с пакетом КОМПАС – 3D, в котором выполняется конструирование деталей с последующей передачей информации в ГЕММУ для подготовки управляющих программ.

Задание плоских контуров и поверхностей может также выполняться с помощью встроенных геометрических 2D и 3D – редакторов. В качестве элементов контура могут использоваться отрезок, дуга, окружность, участок эллипса, архимедовой спирали или эвольвенты, кривая второго порядка и сплайн. Сервисные средства 2D – редактора позволяют осуществлять вспомогательные построения, выполнять команды сдвига, поворота, масштабирования, зеркального отображения, автоматически строить скругления, эквидистантные контура и траекторию движения инструмента при выборе колодца или кармана.

Средства геометрического 3D – редактора обеспечивают построение пространственных кривых и поверхностей. Класс поверхностей системы

ГЕММА – 3D включает в себя линейчатые поверхности, поверхности вращения и бикубические поверхности Кунса. Поверхность изображается на экране сеткой линий. 3D – редактор имеет набор сервисных команд для редактирования геометрических данных и управления изображением (выбор любой проекции, поворот, масштабирование и т.д.).

После задания геометрии обрабатываемых поверхностей и участков подхода – отхода технолог указывает необходимый инструмент и технологические режимы обработки. Система формирует траекторию движения инструмента и управляющую программу для выбранной модели системы ЧПУ станка. Траекторию можно посмотреть на экране в режиме графического контроля. Управляющая программа выводится на перфоратор через устройство сопряжения. ГЕММА – 3D включает широкий набор постпроцессоров для различных систем ЧПУ и станков, а также средства обслуживания архивов исходных и управляющих программ.

### **Совместная работа КОМПАС с другими системами CAD/CAM/CAE**

КОМПАС содержит различные конверторы для обмена данными с другими системами проектирования, инженерных расчетов, подготовки управляющих программ и т.д. В данной системе выполняются следующие основные функции импорта и экспорта данных:

- чтение и запись файлов трехмерных моделей формата SAT;
- запись файлов трехмерных моделей в форматы IGES и STL;
- чтение графических файлов форматов DXF, DWG и IGES;
- чтение файлов документов КОМПАС версии 4 (предыдущей версии);
- запись данных спецификации в форматы DBF Microsoft Excel и т.д.

### **ЛЕКЦИЯ 16**

### **Система автоматизированного проектирования технологических процессов «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ»**

Данная система является разработкой компании «Аскон» (г. Санкт - Петербург). В данной лекции приводятся данные по САПР ТП «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ» версии 5. Она представляет собой интегрированный комплекс, который **включает в себя следующие подсистемы проектирования технологий:**

- механической обработки;
- штамповки;
- сборки;
- сварки;
- термообработки;
- покрытий;
- гальваники;
- литья;
- расчета норм расхода материалов;
- расчета режимов обработки;

- нормирования трудоемкости технологических операций;
- анализа технологических процессов (ТП), позволяющие рассчитать суммарную трудоемкость изготовления деталей и узлов, определять материалоемкость и себестоимость изделия.

В основу работы САПР ТП «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ» положен принцип заимствования ранее принятых технологических решений. В процессе эксплуатации системы накапливаются типовые, групповые, единичные технологии, унифицированные операции, планы обработки конструктивных элементов и поверхностей. При формировании технологического процесса пользователю предоставляется доступ к архивам и библиотекам, хранящим накопленные решения.

Разработка технологических процессов осуществляется в следующих режимах:

- проектирование на основе технологического процесса – аналога (автоматический выбор соответствующего ТП из базы данных с последующей его доработкой в диалоговом режиме);
- формирование ТП из отдельных блоков, хранящихся в библиотеке типовых технологических операций и переходов;
- объединение отдельных операций архивных технологий;
- автоматическая доработка типовой технологии на основе данных, переданных с параметризованного чертежа КОМПАС – ГРАФИК (чертежно – конструкторского редактора);
- разработка ТП в режиме прямого документирования в диалоговом режиме с помощью специальных процедур к справочным базам данных.

В системе реализована процедура, позволяющая проектировать сквозные технологии, включающие одновременно операции механообработки, штамповки, термообработки, сборки, сварки и т.д.

В комплект разрабатываемой документации входят: титульный лист, карта эскизов, маршрутная, маршрутно – операционная, операционная карты ТП, ведомость оснастки, материалов и другие документы в соответствии с ГОСТ. В базовую поставку системы включены более 60 видов технологических карт. Они выполнены в среде MS Excel. Распечатывать их можно как в горизонтальном, так и вертикальном исполнении. При необходимости пользователь может разрабатывать новые карты, а также вносить изменения в существующие образцы. Эскизы и графическая часть технологических карт выполняются в среде КОМПАС – ГРАФИК и вставляются в листы MS Excel как OLE – объекты.

Для разработки документов произвольной формы используется специальный генератор отчетов, также формирующий технологические карты в среде MS Excel.

Технологические процессы, разработанные в КОМПАС – АВТОПРОЕКТ, помещаются в архив системы в сжатом виде. Оглавление такого архива доступно для ручного просмотра и корректировки. Автоматический поиск ТП в архиве производится либо по коду геометрической формы детали, либо по отдельным характеристикам: тип детали, принадлежность к изделию, вид

заготовки, габаритные размеры и т.д. По заданным критериям поиска система находит несколько ТП, оставляя окончательный выбор за технологом.

Оглавлением архива разработанных технологических процессов служит база данных конструкторско – технологических спецификаций (КТС), включающих в себя уровни изделий, узлов и деталей. Система обеспечивает свободное перемещение от одного уровня к другому, позволяя при этом просматривать и редактировать состав изделий, узлов и деталей. Каждый уровень имеет подчиненную таблицу «Документы», записи которой содержат ссылки на документы, созданные в различных приложениях: графические, текстовые файлы, архивные технологи и т.д.

Выбор ТП осуществляется процедурой разархивации, которая извлекает технологический процесс из архива и помещает его в рабочее поле КОМПАС – АВТОПРОЕКТ, доступное для внесения изменений. Информация о текущем технологическом процессе распределяется по уровням: деталь – операция – переход.

Пользователю предоставлена возможность перемещаться по уровням, отслеживать состав переходов по каждой технологической операции, осуществлять необходимую корректировку. При этом технологический процесс, находящийся в архиве, не меняется. Модифицированная технология может быть помещена обратно в архив под прежним или новым именем.

Процедуры обработки КТС позволяют производить выборку деталей по принадлежности к изделиям, сборочным единицам, цехам изготовления и т.д. На их основе формируются сводные нормы, заявки на материал, комплектующие карты и другие технологические документы.

В системе реализованы процедуры, позволяющие глобально корректировать любую информацию в архиве технологических процессов (например, замена устаревших ГОСТов технологической оснастки), рассчитывать суммарную трудоемкость изготовления деталей и сборочных единиц, определять материалоемкость и себестоимость изделия в целом.

Система обеспечивает удобную организацию баз данных и быстрый доступ к требуемой информации. Она обладает хорошо организованным диалоговым интерфейсом, обеспечивающим легкое и наглядное перемещение по всем базам данных. Приемы работы с базами данных идентичны, что упрощает их сопровождение. Программа поддерживает диалоговый доступ к сведениям об оборудовании, инструментах, материалах и т.д. В любой момент эти данные могут быть выведены на экран, скорректированы или пополнены. В информационном пространстве КОМПАС – АВТОПРОЕКТ можно создавать новые информационные массивы, корректировать состав и размерность их полей. Взаимодействие между таблицами данных в КОМПАС – АВТОПРОЕКТ построено на динамически формируемых SQL – запросах. Операторы SQL генерируются либо автоматически, либо по шаблону, заданному пользователем. В базовую поставку системы входит около 3000 реляционных таблиц различной структуры и подчиненности.

Работа с базами данных организована в архитектуре клиент – сервер, что исключает дублирование и обеспечивает защиту информации. В качестве SQL – серверов в КОМПАС – АВТОПРОЕКТ могут быть использованы InterBase, MS

SQL, Oracle. Данные могут располагаться как на локальной станции, так и на выделенном сервере. Имеющиеся у пользователя информационные массивы легко включаются в состав баз данных системы КОМПАС – АВТОПРОЕКТ.

Одним из основных преимуществ КОМПАС – АВТОПРОЕКТ является возможность модернизации системы без участия разработчика самими пользователями. Корректируются состав и структура всех баз данных, настраиваются формы технологических документов, подключаются новые программные модули.

Гибкость программного и информационного обеспечения позволяет быстро адаптировать систему к любым производственным условиям. Инструментальные средства системы позволяют разрабатывать на ее основе пользовательские приложения.

САПР ТП КОМПАС – АВТОПРОЕКТ состоит из ядра и окружения прикладных задач. Основные функциональные режимы системы делятся на две группы: функции подсистемы проектирования и функции подсистемы управления базами данных (СУБД).

#### **Функции подсистемы проектирования:**

- автоматизированное проектирование технологических процессов;
- интеграция с КОМПАС – ГРАФИК и КОМПАС – МЕНЕДЖЕР;
- материальное и трудовое нормирование;
- автоматическое формирование комплекта технологической документации(горизонтальное и вертикальное исполнение);
- каталогизация разработанных ТП в архиве технологий;
- возможность глобального анализа архивных технологий с передачей результатов в автоматизированную систему управления производством;
- возможность разработки сквозного ТП и подключения новых технологических переделов;
- оперативный просмотр графики: чертежей деталей, инструментов , эскизов операций и т.д.;
- возможность настройки образцов технологических документов;
- архивация текущего комплекта технологических документов в архиве карт;
- ведение конструкторско – технологических спецификаций;
- автоматический поиск технологий по коду или текстовому описанию детали в базе данных конструкторско – технологических спецификаций;
- автоматизированное формирование кода детали в соответствии с ЕСКД и ТКД;
- архивация текущего состава спецификаций в архиве изделий;
- расчетные процедуры.

#### **Функции СУБД:**

- организация иерархическо – реляционной связи информационных массивов;
- возможность структурной модификации любой базы данных;
- возможность подключения новых информационных массивов;

- возможность подключения к любому табличному полю справочного массива;
- многостраничный режим доступа одновременно к нескольким базам данных;
- отображения данных: таблица – слайд, таблица – дерево, таблица – комментарий;
- процедура поиска по критериям в любой базе данных;
- экспорт данных из любой базы данных в текстовый документ или в формат файлов Excel;
- блокировка несанкционированного доступа к защищенной базе данных;
- возможность установки различных степеней защиты данных от изменений;
- копирование, удаление, вставка записей по одной или блоками;
- сортировка, замена, просмотр, распечатка содержимого любого набора данных;
- возможность настройки содержимого блоков основного меню системы;
- возможность подключения к системе новых программ, разработанных пользователем;
- встроенный генератор отчетов;
- настройка параметров системы с помощью файла конфигурации (\*.ini).

Функциональные возможности САПР ТП КОМПАС – АВТОПРОЕКТ довольно широки и позволяют решить широкий спектр технологических задач машиностроительных предприятий.

### **САПР технологических процессов литья**

Данная система представляет собой специализированный модуль САПР ТП КОМПАС – АВТОПРОЕКТ. Он ориентирован на разработку технологических процессов различных видов литья:

- литье в песчано – глинистые формы;
- литье в кокиль;
- литье по выплавляемым моделям;
- центробежное литье;
- литье под давлением;
- литье в оболочковые формы и т.д.

САПР технологических процессов литья используют основную концепцию КОМПАС – АВТОПРОЕКТ, все ее возможности ввода и корректировки данных, подключения справочников, а также традиционную методику работы технолога с программой.

Особенностью модуля САПР ТП литья является программа печати, которая позволяет сформировать комплект документации на литье для любого вида технологических процессов с учетом всех особенностей технологических карт.

## **Система программирования объемной обработки на станках с ЧПУ ГЕММА – 3D**

Главной задачей, на решение которой ориентирована данная система, является получение программ обработки на станках с ЧПУ наиболее сложных деталей, входящих в состав изделий машиностроения, изготавливаемых фрезерованием, сверлением, электроэрозионной резкой. ГЕММА может применяться совместно с пакетом КОМПАС – 3D, в котором выполняется конструирование деталей с последующей передачей информации в ГЕММУ для подготовки управляющих программ.

Задание плоских контуров и поверхностей может также выполняться с помощью встроенных геометрических 2D и 3D – редакторов. В качестве элементов контура могут использоваться отрезок, дуга, окружность, участок эллипса, архимедовой спирали или эвольвенты, кривая второго порядка и сплайн. Сервисные средства 2D – редактора позволяют осуществлять вспомогательные построения, выполнять команды сдвига, поворота, масштабирования, зеркального отображения, автоматически строить скругления, эквидистантные контура и траекторию движения инструмента при выборе колодца или кармана.

Средства геометрического 3D – редактора обеспечивают построение пространственных кривых и поверхностей. Класс поверхностей системы ГЕММА – 3D включает в себя линейчатые поверхности, поверхности вращения и бикубические поверхности Кунса. Поверхность изображается на экране сеткой линий. 3D – редактор имеет набор сервисных команд для редактирования геометрических данных и управления изображением (выбор любой проекции, поворот, масштабирование и т.д.).

После задания геометрии обрабатываемых поверхностей и участков подхода – отхода технолог указывает необходимый инструмент и технологические режимы обработки. Система формирует траекторию движения инструмента и управляющую программу для выбранной модели системы ЧПУ станка. Траекторию можно посмотреть на экране в режиме графического контроля. Управляющая программа выводится на перфоратор через устройство сопряжения. ГЕММА – 3D включает широкий набор постпроцессоров для различных систем ЧПУ и станков, а также средства обслуживания архивов исходных и управляющих программ.

### **Совместная работа КОМПАС с другими системами CAD/CAM/CAE**

КОМПАС содержит различные конверторы для обмена данными с другими системами проектирования, инженерных расчетов, подготовки управляющих программ и т.д. В данной системе выполняются следующие основные функции импорта и экспорта данных:

- чтение и запись файлов трехмерных моделей формата SAT;
- запись файлов трехмерных моделей в форматы IGES и STL;
- чтение графических файлов форматов DXF, DWG и IGES;
- чтение файлов документов КОМПАС версии 4 (предыдущей версии);

- запись данных спецификации в форматы DBF Microsoft Excel и т.д.

М