

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

## **Основы САПР и численные методы**

Электронный образовательный контент  
в системе дистанционного обучения Moodle

САМАРА  
2012

УДК 629.192 (035)  
ББК 30.14  
К 93

Автор-составитель: **Шляпугин Алексей Геннадьевич, Хаймович Ирина Николаевна, Нестеренко Елена Сергеевна**

**Основы САПР и численные методы** [Электронный ресурс] электрон. образоват. контент в системе дистанционного обучения Moodle / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт. – сост. А.Г. Шляпугин, И.Н. Хаймович, Е.С. Нестеренко - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В состав электрон. образоват. контента входят:

1. Курс лекций.
2. Лабораторные работы.
3. Практические занятия.
4. Тесты для итогового контроля знаний.

Электронный ресурс предназначен подготовки бакалавров по направлениям 150400.62 и 150700.62 в рамках обучения дисциплине Основы САПР и численные методы, которая читается на Инженерно-технологическом факультете СГАУ в 5 семестре.

## *Лекция 1 - Понятие проектирования. Жизненный цикл изделия.*

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 [1].

**Проектирование** - творческая деятельность, которая вызывает к жизни нечто новое и полезное, чего ранее не существовало [2].

**Проектирование** - процесс, который кладет начало изменениям в искусственной среде [3]. 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) [4].

**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) [4].

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) [4].

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. 1.1) 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.1.1. Процесс проектирования.

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.

**Жизненный цикл изделия (ЖЦИ)** — все этапы «жизни» продукции. Включает этапы **дизайнерской** задумки, **конструкторской** и технологической подготовки производства, изготовления, обслуживания, утилизации и т. п. В основном, применяется по отношению к сложной наукоёмкой продукции высокотехнологичных предприятий в рамках **CALS-технологий**.

**Жизненный цикл изделия (ЖЦИ)**, как определяет его стандарт **ISO 9004-1**[5], — это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта.

Этапы жизненного цикла

- Маркетинговые исследования
- Проектирование продукта
- Планирование и разработка процесса
- Закупка

- Производство или обслуживание
- Проверка
- Упаковка и хранение
- Продажа и распределение
- Монтаж и наладка
- Техническая поддержка и обслуживание
- Послепродажная деятельность
- Утилизация и(или) переработка

Жизненный цикл промышленных изделий (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования. Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. 1.2. К ним относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации (в число этапов жизненного цикла могут также входить маркетинг, закупки материалов и комплектующих, предоставление услуг, упаковка и хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию).

Рассмотрим содержание основных этапов ЖЦИ для изделий машиностроения.

На этапе проектирования выполняются проектные процедуры — формирование принципиального решения, разработка геометрических моделей и чертежей, расчеты, моделирование процессов, оптимизация и т.п.

На этапе подготовки производства разрабатываются маршрутная и операционная технологии изготовления деталей, реализуемые в программах для станков ЧПУ; технология сборки и монтажа изделий; технология контроля и испытаний.

На этапе производства осуществляются: календарное и оперативное планирование; приобретение материалов и комплектующих с их входным

контролем; механообработки и другие требуемые виды обработки; контроль результатов обработки; сборка; испытания и итоговый контроль.

на постпроизводственных этапах выполняются консервация, упаковка, транспортировка; монтаж у потребителя; эксплуатация, обслуживание, ремонт; утилизация.

На всех этапах жизненного цикла имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому продукту, при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные технические изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС.

На рис. 1.2 указаны основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий.

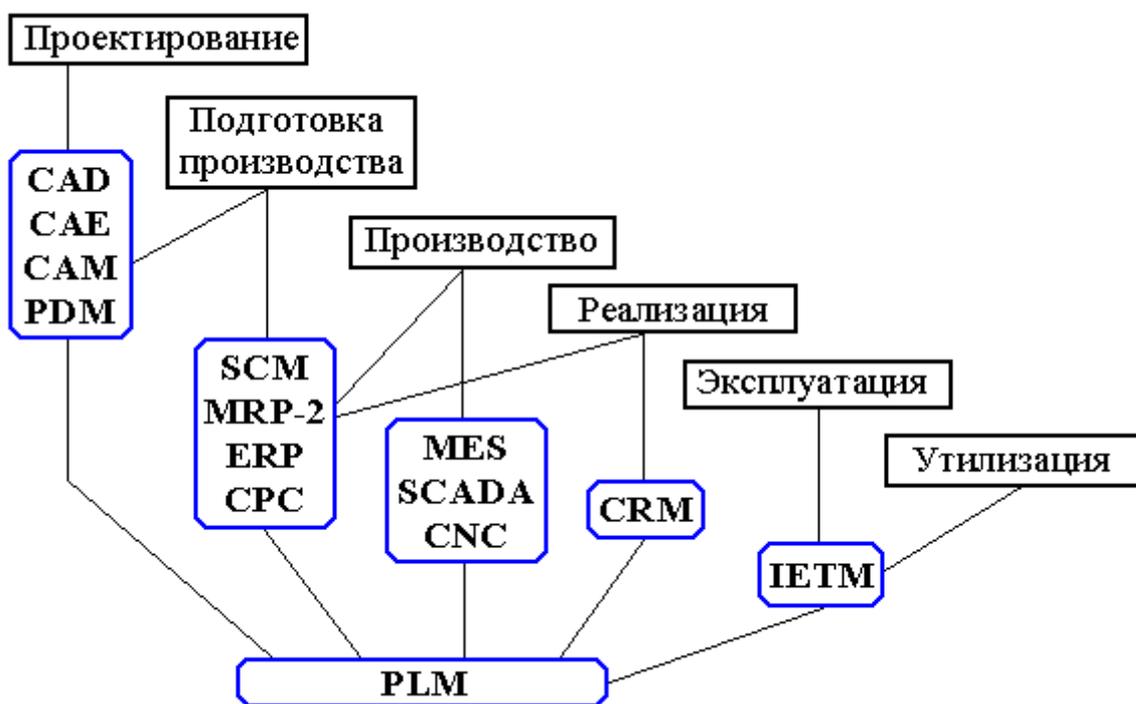


Рис. 1.2 Основные типы автоматизированных систем [6]

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. В САПР машиностроительных отраслей промышленности принято выделять системы функционального, конструкторского и технологического проектирования. Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа или системами CAE (Computer Aided Engineering). Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design). Проектирование технологических процессов выполняется в автоматизированных системах технологической подготовки производства (АСТПП), входящих как составная часть в системы САМ (Computer Aided Manufacturing) [6].

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения, координации работы систем САЕ/САD/САМ, управления проектными данными и проектированием разрабатываются системы, получившие название систем управления проектными данными PDM (Product Data Management). Системы PDM либо входят в состав

модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

На большинстве этапов жизненного цикла, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов и компонентов и кончая реализацией продукции, требуются услуги системы управления цепочками поставок — Supply Chain Management (SCM). Цепь поставок обычно определяют как совокупность стадий увеличения добавленной стоимости продукции при ее движении от компаний-поставщиков к компаниям-потребителям. Управление цепью поставок подразумевает продвижение материального потока с минимальными издержками. При планировании производства система SCM управляет стратегией позиционирования продукции. Если время производственного цикла меньше времени ожидания заказчика на получение готовой продукции, то можно применять стратегию "изготовление на заказ". Иначе приходится использовать стратегию "изготовление на склад". При этом во время производственного цикла должно входить время на размещение и исполнение заказов на необходимые материалы и комплектующие на предприятиях-поставщиках.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства автоматизированных систем, направлены на создание систем электронного бизнеса (E-commerce). Задачи, решаемые системами E-commerce, сводятся не только к организации на сайтах Internet витрин товаров и услуг. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведет к минимизации времени и стоимости выполнения заказа. Координация работы многих

предприятий-партнеров с использованием технологий Internet возлагается на системы E-commerce, называемые системами управления данными в интегрированном информационном пространстве CPC (Collaborative Product Commerce)

Управление в промышленности, как и в любых сложных системах, имеет иерархическую структуру. В общей структуре управления выделяют несколько иерархических уровней, показанных на рис. 1.3. Автоматизация управления на различных уровнях реализуется с помощью автоматизированных систем управления (АСУ).



Рис. 1.3. Общая структура управления [6]

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП).

К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning), планирования производства и требований

к материалам MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning) и упомянутые выше системы SCM. Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т.п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством. В некоторых случаях системы SCM и MRP-2 входят как подсистемы в ERP, в последнее время их чаще рассматривают как самостоятельные системы.

Промежуточное положение между АСУП и АСУТП занимает производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems), предназначенная для решения оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

В состав АСУТП входит система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), выполняющая диспетчерские функции (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и помогающая разрабатывать ПО для встроенного оборудования. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC (Computer Numerical Control) на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Системы CNC называют также встроенными компьютерными системами.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции возложены на систему CRM.

Функции обучения обслуживающего персонала выполняют интерактивные электронные технические руководства IETM (Interactive

Electronic Technical Manuals). С их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем.

Управление данными в едином информационном пространстве на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий возлагается на систему управления жизненным циклом продукции PLM (Product Lifecycle Management). Характерная особенность PLM — обеспечение взаимодействия различных автоматизированных систем многих предприятий, т.е. технологии PLM (включая технологии CPC) являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий [7].

#### Автоматизированные системы управления ЖЦИ

Автоматизация проектирования осуществляется **системами автоматизированного проектирования**. В САПР машиностроительных отраслей промышленности принято выделять системы *функционального, конструкторского и технологического* проектирования [8].

Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа или системами **CAE** (Computer Aided Engineering). Системы конструкторского проектирования называют системами **CAD (Computer Aided Design)**.

Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах **CAM** (Computer Aided Manufacturing).

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения, координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием разрабатываются системы, получившие название систем управления проектными данными **PDM (Product Data Management)**. Системы PDM

либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

На большинстве этапов жизненного цикла, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов и компонентов и кончая реализацией продукции, требуются услуги системы управления цепочками поставок — **SCM**. Цепь поставок обычно определяют как совокупность стадий увеличения добавленной стоимости продукции при ее движении от компаний-поставщиков к компаниям-потребителям. Управление цепью поставок подразумевает продвижение материального потока с минимальными издержками.

Координация работы многих предприятий-партнеров с использованием технологий Intrenet возлагается на системы E-commerce, называемые системами управления данными в интегрированном информационном пространстве **CPC (Collaborative Product Commerce)**.

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется **автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП)**.

К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием **ERP (Enterprise Resource Planning)**, планирования производства и требований к материалам **MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning)** и упомянутые выше системы SCM. Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством. В некоторых случаях системы SCM и MRP-2 входят как подсистемы в ERP, в последнее время их чаще рассматривают как самостоятельные системы.

Промежуточное положение между АСУП и АСУТП занимает производственная исполнительная система **MES (Manufacturing Execution Systems)**, предназначенная для решения оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

В состав АСУТП входит система **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**, выполняющая диспетчерские функции (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и помогающая разрабатывать ПО для встроенного оборудования. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы **CNC (Computer Numerical Control)** на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование с **числовым программным управлением (ЧПУ)**.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции возложены на систему **CRM**.

Функции обучения обслуживающего персонала возложены на интерактивные электронные технические руководства **IETM (Interactive Electronic Technical Manuals)**, с их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем.

Управление данными в информационном пространстве, едином для различных автоматизированных систем, возлагается на систему управления жизненным циклом продукции, реализующую технологии **PLM (Product Lifecycle Management)**. Технологии PLM объединяют методики и средства информационной поддержки изделий на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий. Характерная особенность PLM — обеспечение

взаимодействия как средств автоматизации разных производителей, так и различных автоматизированных систем многих предприятий, то есть технологии PLM (включая технологии CPC) являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий.

## ЛЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА (ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

### Производственный процесс

**Совокупность** всех действий людей и **орудий труда**, необходимых на данном **предприятии** для изготовления и ремонта **продукции**.

Основные элементы процесса труда, а следовательно и производственного процесса: *целесообразная деятельность человека или сам труд, предметы и средства труда.*

По внутренней структуре и содержанию производственный процесс не однороден, состоит из многих частичных процессов (простых и сложных), основной структурной единицей которых является **производственная операция**.

Различают *технологическую* сторону производственного процесса, связанную с превращением **предмета труда** в **готовую продукцию**, и *трудовую* - совокупность действий исполнителей по осуществлению технологических процессов. Первая предполагает деление процесса на *основной*, или технологический, при выполнении которого происходит последовательное изменение предмета труда (его состояния, свойств, формы или размера и т.п.) и превращение его в готовый продукт; и *вспомогательный* - создающий условия для нормального выполнения основного процесса (ремонт и **техническое обслуживание оборудования**, контроль качества **сырья** и готовой продукции, обеспечение **рабочих мест** инструментом, приспособлениями и т.п.).

Естественные процессы осуществляются в ходе основного и вспомогательного процессов без непосредственного участия человека, но под его контролем и при воздействии различных сил природы (например, естественная сушка изделий). Многие из естественных процессов для сокращения **производственного цикла** и улучшения качества продукции выполняются в искусственно созданных условиях.

По характеру протекания во времени процессы подразделяются на *прерывные*, когда операции выполняются периодически с разрывом во времени исполнения, и *непрерывные*, если каждая следующая операция начинается по окончании предыдущей без каких-либо перерывов во времени, например в автоматизированных или аппаратурных производствах. [9]

### **Технологическая подготовка производства. Технология**

**Технология** (от греч. *téchne* — искусство, мастерство, умение и ...логия), совокупность приёмов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, полуфабрикатов или изделий, осуществляемых в различных отраслях промышленности, в строительстве и т. д.; научная дисциплина, разрабатывающая и совершенствующая такие приёмы и способы. Т. (или технологическими процессами) называются также сами операции добычи, обработки, переработки, транспортирования, складирования, хранения, которые являются основной составной частью производственного процесса. В состав современной Т. включается и технический контроль производства. Т. принято также называть описание производственных процессов, инструкции по их выполнению, технологические правила, требования, карты, графики и др.

**Технологическая подготовка производства**, совокупность методов организации, управления и решения технологических задач на основе применения комплексной стандартизации, автоматизации, экономико-математических моделей и средств технического оснащения.

В машиностроении Госстандартом введена Единая система технологической подготовки производства — ЕСТПП, которая устанавливает единый для всех предприятий системный подход к выбору и применению методов и средств организации производственного процесса. Т. п. п. базируется на достижениях технологии и организации производства и позволяет существенно поднять его технический уровень. Применение Т. п. п. предполагает эффективное использование технологических модулей, средств вычислительной техники для комплексного и системного решения производственно-технических задач. Стандарты ЕСТПП устанавливают общие

правила организации и моделирования процессов управления производством, стадии разработки технологической документации, порядок подготовки производства, правила и этапы отработки технологичности конструкции изделий, выбор номенклатуры, правила классификации видов технологических процессов и т. д. Система базируется на государственных стандартах — Единая система конструкторской документации (ЕСКД) и Единая система технологической документации (ЕСТД). В основу ЕСТПП, наряду с государственными стандартами, положено применение отраслевых стандартов и стандартов предприятий, отражающих специфику отрасли или предприятия, конкретизирующих и развивающих частные правила и положения ЕСТПП, а также нормативно-техническая и методическая документация (см. Техническая документация).

**ГОСТ**, Государственный стандарт, одна из основных категорий стандартов, установленных государственной системой стандартизации. Г. обязательны к применению всеми машиностроительными предприятиями и др.

Деятельность предприятия по развитию его материально-технической базы, организации производства, труда и управления представляет собой техническую подготовку производства. Она включает:

- проведение прикладных исследований, связанных с совершенствованием изготавливаемой продукции, техники, технологии, составом применяемых материалов, организации производства;
- проектирование новой продукции и модернизацию ранее выпускавшейся;
- разработку технологического процесса изготовления продукции;
- приобретение специального оборудования, инструментов и полуфабрикатов со стороны;
- материально-техническое обеспечение производства;
- подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров;

- разработку норм и нормативов, технологической, технической и организационной структуры аппарата управления и информационного обеспечения.

Техническая подготовка осуществляется в целях эффективного освоения нового или модернизированного изделия, внедрения новых сложных машин и оборудования, новых технологических приемов и изменений организации производства. В задачу технической подготовки производства входит создание технических, организационных и экономических условий, полностью гарантирующих перевод производственного процесса на более высокий технический и социально-технический уровень на основе достижений науки и техники.

Техническая подготовка производства включает конструкторскую и технологическую подготовку.

На предприятиях разного типа, масштаба и профиля могут быть с разной полнотой представлены различные стадии подготовки производства; однако в любом случае существенная часть работы по организации производства находится в компетенции предприятия.

## **1. Конструкторская подготовка производства**

Конструкторская подготовка производства включает проектирование новой продукции и модернизацию ранее производившейся, а также разработку проекта реконструкции и переоборудования предприятия или его отдельных подразделений. В процессе проектирования определяется характер продукции, ее конструкция, физико-химические свойства, внешний вид, технико-экономические и другие показатели. Результаты конструкторской подготовки оформляются в виде технической документации – чертежей, рецептур химической продукции, спецификаций материалов, деталей и узлов, образцов готовой продукции и т.п.

## Задачи конструкторской подготовки

Проектирование новой продукции осуществляется проектно-технологическими и научно-исследовательскими институтами, научно-технологическими центрами, а также конструкторскими отделами и лабораториями предприятий.

Основными целями конструкторской подготовки производства являются:

- непрерывное совершенствование качества продукции;
- повышение уровня технологичности конструкции, под которой понимается облегчение приемов изготовления продукции и возможность применения прогрессивных методов изготовления при заданном объеме производства. Это обеспечивает лучшее использование производственных ресурсов при изготовлении продукции;
- снижение себестоимости новой продукции за счет изготовления и совершенствования конструкции изделия, уменьшения расхода материалов на единицу продукции, снижения эксплуатационных затрат, связанных с использованием продукции;
- использование при проектировании продукции существующих стандартов и унифицированных полуфабрикатов;
- обеспечение охраны труда и техники безопасности, а также удобств при эксплуатации и ремонте новых изделий.

## Этапы конструкторской подготовки

Исходным для проектирования новой продукции является проектное (техническое) задание, которое составляется заказчиком (предприятием) или по его поручению проектной организацией. В проектном задании указывается наименование продукции, ее назначение, область применения, технические и экономические показатели в процессе производства и эксплуатации. На уровне проектного задания должны быть определены принципиальные

отличия новой конструкции или изделия от ранее выпускаемых, приведены перечень и обоснование необходимости оригинальных изделий, даны подробные расчеты эффективности нового изделия с учетом эффекта, рассчитанного как для потребителя, так и для производителя.

На основании анализа проектного задания заказчика и сопоставления различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов составляется техническое предложение – совокупность конструкторских документов, содержащих технические и технико-экономические обоснования целесообразности дальнейшей разработки проекта.

Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия. При разработке эскизного проекта определяется принципиальная характеристика нового изделия, производится выбор наиболее эффективного решения, его технических, технологических, эксплуатационных параметров.

Эскизный проект всегда составляется в нескольких вариантах для последующего выбора одного из них. Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Технический проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Технический проект позволяет осуществлять выбор материалов и полуфабрикатов, определять основные принципы изготовления продукции и проводить экономическое обоснование проекта.

Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации. Ранее разработанные конструкторские документы обычно применяют при разработке новых или модернизации изготавливаемых изделий, что приводит к сокращению сроков проектирования.

Заключительной стадией (этапом) конструкторской подготовки производства является разработка технической документации (чертежей, инструкций и т.д.), технических условий.

Технические условия (ТУ) являются неотъемлемой частью комплекта технической документации на продукцию (изделие, материал, вещество и т.п.), на которую они распространяются. ТУ должны содержать все требования к продукции, ее изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые целесообразно указывать в конструкторской или другой технической документации.

При отсутствии конструкторской или другой технической документации на данную продукцию ТУ должны содержать полный комплекс требований к продукции, ее изготовлению, контролю, приемке и поставке.

ТУ разрабатывают на одно изделие, материал, вещество, а также на несколько конкретных изделий, материалов, веществ (групповые технические

условия). Состав ТУ и содержание разделов определяются в соответствии с особенностями продукции.

После испытания и доводки опытной партии уточняется рабочий проект, который передается в законченном виде для технологической подготовки производства. На всех стадиях проектирования уточняются, конкретизируются и окончательно определяются все технические и экономические характеристики изделия, определяется целесообразность использования первоначально выбранного пути совершенствования продукции и принимается решение о ее выпуске.

Установленный и рассмотренный выше порядок конструкторской подготовки изделия характерен в полной мере лишь для массового и крупносерийного производств, продукции сложного профиля (автомобили, станки, тракторы и т.п.). Для мелкосерийного и единичного производств, независимо от технической сложности изделия, количество стадий и объемы работ по каждому из них уменьшаются. В отраслях металлургической и химической промышленности, переработки сельскохозяйственного сырья, а также в добывающих отраслях проектирование изделий выполняется главным образом на стадии прикладных исследований, изысканий и разработок, а также технологической подготовки производства.

Конструкторская подготовка производства осуществляется в соответствии с комплексом государственных стандартов, устанавливающих единые взаимосвязанные правила и положения ее проведения, оформления и обращения конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой промышленными, научно-исследовательскими, проектно-конструкторскими организациями и предприятиями, получившим, соответственно, название Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Применение ЕСКД позволяет создавать благоприятные условия для обеспечения научно-технической подготовки производства на высоком уровне, способном

гарантировать конкурентоспособность выпускаемых изделий, сокращать время проектирования, обеспечивать необходимое единообразие этого процесса на различных предприятиях в разных отраслях экономики.

## **2. Технологическая подготовка производства**

Технологическая подготовка производства является продолжением работ по проектированию изделия. На этой стадии устанавливается, при помощи каких технических методов и средств, способов организации производства должно изготавливаться данное изделие, окончательно определяется его себестоимость и эффективность производства. Такая технология разрабатывается как для каждого нового изделия, так и для традиционной продукции с целью повышения технического уровня и снижения издержек производства, улучшения условий труда, охраны окружающей среды.

Технологическая подготовка производства охватывает проектирование технологических процессов, а именно:

- выбор и расстановку оборудования на площади цеха;
- определение и проектирование специальной технологической оснастки;
- нормирование затрат труда, материалов, топлива и энергии.

Под технологическим процессом понимается совокупность методов изготовления продукции путем изменения состояния, свойств, форм и габаритов исходных материалов, сырья и полуфабрикатов.

В процессе технологической подготовки производства разрабатываются способы механизации и автоматизации производственных процессов, а также решаются некоторые вопросы организации производства, а именно: внедрение поточных методов, организация и оснащение рабочих мест и участков, выбор транспортных средств и средств хранения сырья, полуфабрикатов и продукции и т.п.

Исходя из спроектированного технологического процесса и выбора на этой основе оборудования и режима его работы, определяются основные нормативы расхода рабочего времени, сырья, материалов, топлива, энергии и других элементов производства на единицу продукции.

### Этапы технологической подготовки

Технологическое проектирование начинается с разработки маршрутной технологии. Ее содержание заключается в определении последовательности выполнения основных операций и закреплении их в цехах за конкретными группами оборудования. Одновременно осуществляется выбор инструмента, расчет норм времени и установление разряда работ, указывается специальность рабочих с соответствующим уровнем квалификации. Согласно маршрутной технологии за каждым цехом и участком закрепляются обрабатываемые виды продукции, что обуславливает их специализацию, место и роль в производственной структуре предприятия.

Затем для каждого цеха и участка разрабатывается операционная технология, содержание которой составляют пооперационные технологические карты. Они содержат указания и параметры выполнения каждой производственной операции.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах, а также на предприятиях со сравнительно простой технологией разработка технологических процессов обычно ограничивается маршрутной технологией. В массовом же и крупносерийном производствах вслед за маршрутной разрабатывается более подробная пооперационная технология.

Из всех возможных технологий, предлагаемых на этом этапе, затем осуществляется выбор оптимальной. При этом сопоставляются натуральные показатели, и сравнивается себестоимость продукции и работ при разных вариантах.

Выбранная технология производства должна обеспечивать повышение производительности труда, требуемое качество изготовления при наиболее низкой себестоимости продукции по сравнению с другими вариантами. Лучший вариант технологического процесса принимается в качестве типового для данных условий производства на определенный отрезок времени вплоть до разработки более перспективного варианта.

Применение типовых технологических процессов способствует ограничению числа технологических операций. Они позволяют установить единообразие способа обработки однотипных изделий и применяемой технологической оснастки, создают условия для прекращения затрат и продолжительности проектирования технологий.

Разработка типовых технологических процессов предполагает следующие этапы: определение технологического маршрута обработки изделия данной группы; выбор пооперационного технологического процесса; установление способов обработки отдельных элементов (выполняемых технологических операций) для изделия данной группы.

Технологическая подготовка производства предусматривает также разработку проектов, изготовление и наладку специального технологического оборудования, технологической оснастки, необходимых для производства нового (модернизированного) изделия. Это очень трудоемкая и дорогостоящая работа, поскольку при освоении ряда новых моделей (например, автомобилей и других машин) изготавливается по несколько тысяч штампов, приспособлений, моделей, десятки автоматических линий. В связи с этим в отраслях крупносерийного и массового производства, выпускающих продукцию технологически сложного профиля, переход на изготовление нового изделия, как правило, совмещается с реконструкцией и техническим переоснащением предприятий.

Проводя работы по технологической подготовке производства, необходимо учитывать, что организация производства новых видов продукции, модернизация изделий и процессов производства требуют материальной и организационной подготовки. Материальная подготовка производства предусматривает Приобретение, монтаж и наладку нового оборудования, изготовление или закупку инструментов и приспособлений, сырья и материалов, т.е. обеспечение производства всеми материально-техническими ресурсами. Организационная подготовка включает совершенствование организации производства и труда, и приспособление их к условиям изготовления новой продукции, новой техники и технологии. Сюда также входит подбор и расстановка кадров в соответствии с новым характером производства, внесение корректив в структуру аппарата управления, в функциональное и иерархическое распределение труда.

#### Организация технологической подготовки

Технологическую подготовку производства осуществляет отдел главного технолога. Главные задачи, решаемые при этом, группируются по следующим основным функциям:

- обеспечение технологичности конструкции изделия;
- разработка технологических процессов;
- проектирование и изготовление средств технологического оснащения;
- организация и управление процессом технологической подготовки производства.

Отправной точкой в технологической подготовке производства является получение исходных документов на разработку и производство новых изделий. Разработка документации по организации технологической подготовки производства осуществляется в три стадии, содержание которых представлено в табл. 9.1. В целом весь процесс разработки предполагает:

- обследование и анализ существующей на предприятии системы технологической подготовки производства;
- разработку технического проекта системы технологической подготовки производства, в котором определяется назначение, и формируются требования, которым должны удовлетворять как система в целом, так и отдельные ее элементы;
- создание рабочего проекта, предусматривающего разработку информационных моделей решения задач, всего комплекса технологических процессов на основе типизации и стандартизации, документации по организации рабочих мест и участков основного и вспомогательного производства на основе типовых и стандартных технологических процессов.

Результатом работы по технологической подготовке производства является выработка правил обеспечения технологичности конструкции изделий.

#### **Документация по организации технологической подготовки**

<b>Стадии разработки</b>	<b>Содержание работ</b>
<b>Техническое задание</b>	Издание приказа, создание подразделений и комплексных бригад по организационно-техническому обследованию системы технологической подготовки производства
	Проведение анализа существующего уровня технологической подготовки производства
	Разработка предложений по совершенствованию системы технологической подготовки производства
	Разработка, согласование и утверждение технического задания на совершенствование системы технологической подготовки производства

<b>Технический проект</b>	Разработка рабочей конечной информационной модели системы технологической подготовки производства
	Разработка схемы структуры управления технологической подготовкой производства
	Унификация и стандартизация форм документов, используемых в системе технологической подготовки производства
	Разработка методических материалов и стандартов предприятия на систему классификации и кодирования технико-экономической информации
	Разработка и утверждение технологических операций, подлежащих автоматизации
<b>Рабочий проект</b>	Рассмотрение и утверждение технического проекта
	<p>Разработка рабочей документации системы технологической подготовки производства по функциям:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• обеспечение технологичности конструкций изделий;</li> <li>• разработка технологических процессов;</li> <li>• проектирование и изготовление средств технологического оснащения;</li> <li>• организация и изготовление средств технологического оснащения;</li> <li>• организация и управление процессом технологической подготовки производства</li> </ul>
	Создание банка стандартных элементов технологической оснастки
	Создание трудовых и материальных нормативов на проектирование средств технологического оснащения производства

	Создание нормативной базы для качественной и количественной оценки технологичности изделий
	Создание информационных массивов
	Разработка комплекса рабочих программ для решения технологических задач, подлежащих автоматизации

### Технологичность конструкции изделия

Понятие обеспечения технологичности конструкции изделия охватывает подготовку производства, предусматривающего взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Сведения об уровне технологичности конструкции используются в процессе оптимизации конструктивных решений на стадии разработки конструкторской документации, при принятии решения о производстве изделия, анализе технологической подготовки производства, разработке мероприятий по повышению уровня технологичности конструкции изделия и эффективности его производства и эксплуатации.

Обеспечение технологичности конструкции изделия наряду с отработкой самой конструкции включает ее количественную оценку. Этот показатель рассчитывается с помощью базовых (исходных) данных. К числу основных показателей, характеризующих технологичность конструкции изделий, можно отнести трудоемкость изготовления изделия, его удельную материалоемкость, технологическую себестоимость, трудоемкость, стоимость и продолжительность технического обслуживания, степень унификации конструкции.

При оценке технологичности конструкции следует пользоваться минимальным, недостаточным количеством показателей. Точность количественной оценки технологичности конструкции изделий, а также перечень показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделия и степени отработки его конструкции и типа производства.

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность следует иметь в виду, что в этом случае играет роль вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготовления, технического обслуживания и ремонта, перспективность и объем его выпуска.

Испытание конструкции изделия на технологичность должно обеспечить решение следующих основных задач:

- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия;
- снижение трудоемкости и стоимости технического обслуживания изделия;
- снижение важнейших составляющих общей материалоемкости изделия – расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, а также монтаже вне предприятия-изготовителя и ремонте.

Работы по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа сопровождаются повышением серийности изделия посредством стандартизации и унификации, ограничения номенклатуры составных частей конструктивных элементов и используемых материалов, применения высокопроизводительных и малоотходных технологических решений, использования стандартных средств технологического оснащения, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации производственных процессов.

Снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта предполагает использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на проведение подготовки к использованию изделия, а также облегчающих и упрощающих условия технического обслуживания, ремонта и транспортировки.

В свою очередь комплекс работ по снижению материалоемкости изделия включает:

- применение рациональных сортов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей;
- разработку и применение прогрессивных конструктивных решений, позволяющих повысить ресурс изделия и использовать малоотходные и безотходные технологические процессы;
- разработку рациональной компоновки изделия, обеспечивающей сокращение расхода материала.

В ходе выполнения технологической подготовки производства различают два вида технологичности конструкции изделия – производственную и эксплуатационную.

Производственная технологичность конструкции проявляется в сокращении затрат средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, а также длительности производственного цикла.

Эксплуатационная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат времени и средств на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Оценка технологичности конструкции может быть двух видов: качественной и количественной.

Качественная оценка характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя. Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения и не требуется определение степени различия технологичности сравниваемых вариантов. Качественная оценка при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования изделия предшествует количественной и определяет ее целесообразность.

Количественная оценка технологичности конструкции изделия выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к технологичности конструкции. Количественная оценка рациональна только в зависимости от признаков, которые существенно влияют на технологичность рассматриваемой конструкции.

Виды технологичности, главные факторы, определяющие требования к технологичности конструкции, и виды ее оценки графически представлены на рисунке 1.

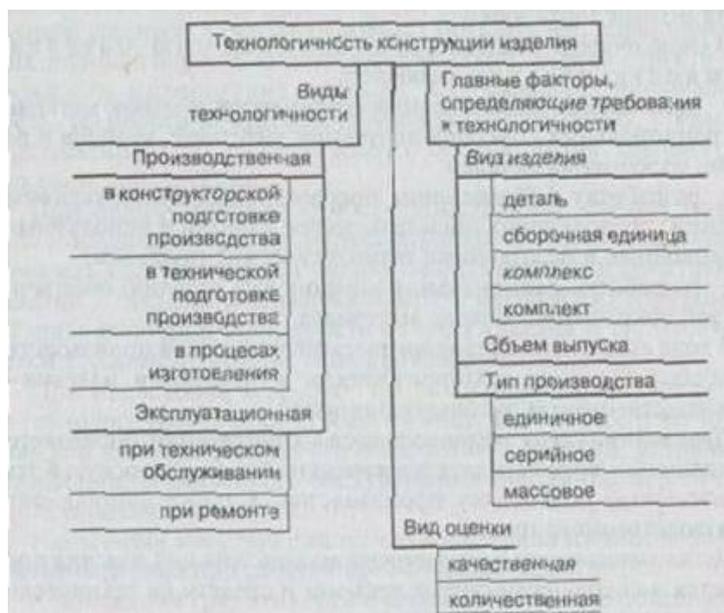


Рисунок 1 - Виды технологичности, факторы и способы оценки технологичности конструкции изделия

## Методы сравнения технологических процессов

Технологическая подготовка производства ставит перед технологом задачу: из имеющихся в его распоряжении вариантов изготовления изделия выбрать оптимальный, т.е. наиболее рациональный и экономичный, способ производства, оборудование и технологическую оснастку.

Оптимальный вариант необходимо выбирать с учетом условий производства – степени его устойчивости, серийности, сложности. Например, в крупносерийном и массовом производстве, как правило, есть все возможности, чтобы решить эту задачу, так как каждый элемент затрат может быть рассчитан с высокой степенью точности. В серийном же производстве продолжительность выпуска изделий короче из-за довольно частой сменяемости номенклатуры, поэтому сравнительная оценка сопоставляемых технологических процессов должна быть проведена быстро и качественно.

В основе сравнительных расчетов лежит определение технологической себестоимости и установление экономически целесообразного объема годового производства. Технологической себестоимостью называется сумма затрат, изменяющаяся с изменением технологического процесса.

Законченные результаты проектирования технологической подготовки производства оформляются специальной документацией. На предприятиях машиностроения, строительных материалов, мебельных фабриках и в некоторых других отраслях такими документами являются технологические карты. Они представляют описание всего технологического процесса от поступления исходных материалов и комплектующих изделий на склад отдела материально-технического снабжения и до выпуска готового изделия и передачи его отделу сбыта продукции. Например, в металлургии основной технологической документацией являются нормативно-технологические карты, графики работ, производственно-технические инструкции и

разработанные на их основе программы для электронных управляющих машин.

Технологический регламент является основной технологической документацией в ряде отраслей, например, в химической промышленности. В нем дается описание основных параметров, этапов и режимов технологического процесса, рецептуры и порядка ведения операций. В технологическом регламенте устанавливается характеристика готового продукта, перечень и характеристика исходного сырья и материалов.

На предприятиях всех отраслей промышленности технологическая документация обязательно включает: нормы расхода сырья, материалов, энергии, топлива, нормы отходов производства, описание транспортных маршрутов, перечень рабочих инструкций, спецификации оборудования и инструментов.

Выполнение работ по технологической подготовке производства позволяет сосредоточить усилия конструкторов, технологов и организаторов на решении главных задач развития техники, технологии и организации производства, повысить гибкость технологических процессов к переналадке на выпуск новых изделий и снизить затраты на ее проведение приблизительно в два раза.

### **3. Планирование технической подготовки производства**

Техническая подготовка производства является объектом внутризаводского планирования и представляет собой в определенной мере детализацию и конкретизацию планов технического и организационного развития производства.

#### **План технической подготовки**

Разработка плана технической подготовки производства является органической частью долгосрочного и среднесрочного планирования. В

долгосрочном плане определяются основные направления и стадии технической подготовки, сроки ее начала и окончания с разбивкой по видам работ, конкретным исполнителям, источникам и объектам финансирования. В годовые планы входят те стадии и виды работ, которые должны выполняться в течение планируемого года.

Исходными данными для планирования технической подготовки производства служат: задания плана технического развития предприятия; нормативы для определения состава и объема работ, их продолжительность по всем этапам технической подготовки.

### Методы планирования

В организации планирования технической подготовки производства существенную роль играют нормативы технической подготовки производства.

Среди нормативов необходимо различать: объемные нормативы, нормативы объема работ по подготовке производства в натуральном выражении и нормативы трудоемкости этих работ.

Данные нормативы носят локальный характер, поскольку для их разработки необходимо проводить анализ и обобщение отчетных данных освоения новых изделий на конкретном предприятии с учетом специфики его функционирования и экономического состояния.

Объемные нормативы дают основание рассчитать в натуральном выражении объем работ по технической подготовке. Эти расчеты основываются на таких показателях, как число технологических операций, объем чертежной и технической документации, число оригинальных деталей и их сложность в изготовлении.

Нормативы трудоемкости работ технической подготовки производства определяются по нормам, отражающим опыт конструирования изделий и

проектирования технологических процессов не только на данном предприятии, но и в отрасли, на предприятиях-смежниках, предприятиях-конкурентах.

В процессе планирования нередко ставятся задачи сокращения сроков технической подготовки с целью ускорения реализации достижений науки и техники в производстве, сокращения затрат на осуществление технической подготовки и повышения качества работ.

На практике с целью сокращения сроков подготовки используется метод параллельного и параллельно-последовательного ведения работ. В этом случае работы, например, второй стадии начинаются раньше, нежели заканчивается первая, а третьей стадии – раньше, чем заканчивается вторая, и т.д. В результате совмещения разных стадий проектирования общий цикл подготовки резко сокращается.

В организации работ по созданию и освоению новой техники и технологии важное место занимает использование наглядных графических изображений – сетевых графиков. Они состоят из двух элементов: работ и событий. События представляют собой начало или окончание каждого вида работ, которые можно четко зафиксировать в начальной и конечной их стадиях. Исходным событием называется момент начала первых работ, связанных с подготовкой и реализацией запланированного мероприятия.

На графике события обозначаются кружками с указанными в них номерами, работы – стрелкой, соединяющей последовательно связанные события. Продолжительность работы обозначается не длиной стрелки, а числом единиц времени, которое указывается над стрелкой (обычно это число дней или месяцев). Снизу под стрелкой часто указываются затраты на проведение работ (рубли, человеко-дни). Полный путь в сетевом графике – это непрерывная последовательность взаимосвязанных работ и событий, ведущая от начального к конечному событию.

Сетевой график позволяет наиболее рационально построить ход выполнения работ, установить строгую последовательность и очередность в выполнении всех необходимых операций и действий. С помощью сетевого графика можно с достаточной точностью определить сроки свершения каждого события и, следовательно, срок достижения результатов завершающего события. Кроме того, применяя сетевой график, можно оптимизировать сроки выполнения завершающего события, выявить и определить влияние различных факторов на сокращение срока каждого мероприятия, организовать контроль, наблюдение и управление действиями отдельных исполнителей.

В процессе планирования технической подготовки производства большое значение имеет использование норм, правил и требований, установленных системами соответствующих стандартов. К ним относятся: Единая система конструкторской документации (ЕСКД), Единая система технологической документации (ЕСТД), Единая система технической подготовки производства (ЕСТП). Использование единых межотраслевых стандартов создает благоприятные условия для обеспечения научно-технической подготовки производства на высоком уровне, способном гарантировать конкурентоспособное качество выпускаемых изделий.

## Выводы

1. Проблема освоения новой, более прогрессивной и высокоэффективной продукции, конкурентоспособной на мировой рынке, непосредственно связана с вопросами организации и совершенствования технической подготовки производства. Она охватывает комплекс последовательно увязанных научных, проектно-конструкторских, технологических и производственно-хозяйственных работ по созданию, освоению и внедрению новой техники и технологии.

2. Вся область технической подготовки производства регламентируется следующими документами: Единая система конструкторской документации (ЕСКД); Единая система технологической документации (ЕСТД); Единая система технической подготовки производства (ЕСТП).
3. Техническая подготовка производства включает конструкторскую и технологическую подготовку. Она проводится в соответствии с имеющимся на предприятии планом технической подготовки.
4. Конструкторская подготовка производства включает: разработку проектного задания, эскизного проекта; изготовление и испытание опытного образца; разработку технического проекта, рабочего проекта; изготовление и испытание изделий опытных партий; доводку конструкции по результатам испытаний; уточнение рабочего проекта и его оформление; передачу рабочего проекта органам технологической подготовки производства.
5. Продолжением работ по конструкторской подготовке изделия является технологическая подготовка производства. Ее цель – разработка технологического процесса (технологии) изготовления изделия и реализация этого проекта в конкретных условиях.

**Технология производства – это методы, технические средства и система взаимосвязанных способов изготовления продукции или выполнения установленного вида работ.**

### **ЛЕКЦИЯ 3. САПР КАК ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. СОСТАВ, СТРУКТУРА САПР**

В процессе проектирования с помощью САПР в качестве промежуточных и окончательных решений используют математические модели [1]:

- 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 [1]:

- 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, выполняемых 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 [1].

**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.

## ЛЕКЦИЯ 4. ВИДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР

При разработке, внедрении, эксплуатации любой САПР, в том числе и САПР ТП следует иметь в виду, что эта работа требует многогранного (всестороннего) подхода к данной проблеме. Поэтому необходимо рассматривать, по крайней мере, следующие виды обеспечения (по - другому стороны, грани) САПР [1]:

- техническое;
- программное;
- методическое;
- математическое;
- информационное;
- лингвистическое;
- организационное.

Данные виды обеспечения САПР расположены здесь и рассматриваются ниже не в порядке их важности (приоритетности), а в порядке их перечисления.

### Техническое обеспечение САПР

Основу технического обеспечения САПР составляет, как правило, персональный компьютер. Конструктивно он представляет собой системный блок, состоящий из корпуса с блоком питания, в котором установлены: материнская плата с процессором, оперативной памятью, видеокартой (видеоплатой), при необходимости звуковой картой и сетевой картой; жесткий диск (винчестер); привод для компакт - дисков; привод для дискет. Кроме этого в состав компьютера обязательно входит монитор (дисплей), клавиатура, манипулятор «мышь». Это основные устройства компьютера. Кроме них применяются периферийные устройства: принтер, плоттер, звуковые колонки, микрофон, цифровой фотоаппарат, цифровая видеокамера.

Пример обозначения параметров компьютера [2]:

Intel Pentium 4 – 1700 MHz/128Mb DDR/40 Gb HDD/32 Mb Video/52\* CD – ROM/FDD 1,44 Mb/ Монитор 17"/Клавиатура/ Мышь

Здесь: Intel Pentium 4 - тип процессора; 1700 MHz -/его тактовая частота в мегагерцах; 128 Mb - объем оперативной памяти в мегабайтах; DDR - тип оперативной памяти; 40 Gb объем винчестера в гигабайтах; 32 Mb - объем видеопамати (видеокарты); 52x CD - ROM - наличие и характеристика привода для компакт - дисков; FDD 1,44 Mb - наличие привода для дискет и объем дискеты; Монитор 17" - наличие монитора с размером экрана 17 дюймов по диагонали; Клавиатура/Мышь -наличие клавиатуры и мыши.

На практике в настоящее время широко применяются локальные вычислительные сети (ЛВС). Это принадлежащая одной организации коммуникационная система, связывающая различные аппаратные средства: компьютеры, принтеры, плоттеры. Слово «локальная» указывает на близость расположения компьютеров. Диапазон действия ЛВС колеблется от нескольких метров до 8 - 10 км.

ЛВС предоставляет пользователям следующие возможности:

- обмен информацией (сообщениями электронной почтой, файлами текстовых документов, чертежей и программ);
- разделение ресурсов компьютеров, т.е. совместное использование баз данных и программ, хранящихся на любом из компьютеров сети (л.1бо на удаленном мощном компьютере - сервере с жестким диском большой емкости);
- вывод информации, например, на дорогостоящий лазерный принтер или плоттер, подключенный только к одному из компьютеров сети.

ЛВС состоит из следующих основных элементов:

- файлового сервера;
- рабочих станций;
- сетевой операционной системы;
- несущей среды (кабелей), сетевых карт и других аппаратных средств.

Сервер - это мощная ПЭВМ, на жестком диске которой хранятся прикладные программы, базы данных и т.д., необходимые для работы пользователей сети. Сервер, предназначенный только для обслуживания сетевых запросов, называется выделенным\*— При генерации (установке) сети

можно сформировать и совмещенный сервер, на котором можно работать как на рабочей станции.

Рабочие станции - подключенные к сети ПЭВМ, на которых работают отдельные пользователи.

Каждая рабочая станция и сервер в ЛВС должны иметь специальное программное обеспечение: сетевую оболочку или операционную систему.

Кабель в ЛВС определяет физическую среду передачи информации. Существует три типа кабелей:

1. Витая пара (физически этот кабель состоит из четырех витых пар в оплетке, одна пара используется для передачи информации в одном направлении, вторая - в другом направлении, две оставшиеся пары предназначены для передачи служебных сообщений по сети, на практике иногда они не используются).

2. Коаксиальный (типа телевизионного).

3. Волоконно - оптический (физически это кварцевая нить в полимерной оплетке, оплетка предназначена для придания гибкости кабелю; передача информации по кабелю производится световыми излучениями с разной длиной волны, за счет чего образуется ряд информационных каналов).

Скорость передачи информации - важнейший показатель эффективности сети, она измеряется в Мбит/с, Гбит/с. Скорость передачи информации по витой паре составляет от 10 до 100 Мбит/с, по коаксиальному кабелю - от 0,5 до 10 Мбит/с, волоконно - оптическому теоретически - сотни Гбит/с, практически - около 2 Гбит/с (за счет более низкой пропускной способности приемных и передающих устройств).

Сетевые карты физически могут быть встроены в материнскую плату или устанавливаться в разъемы системного блока компьютера. Их тип определяется выбранной топологией сети.

В ЛВС компьютеры располагаются сравнительно недалеко друг от друга. Для связи на большом расстоянии можно использовать аппаратуру обычных телефонных линий, которая, правда, поддерживает относительно низкую

скорость передачи информации. Дополнительным устройством при этом является модем. Когда с компьютера информация передается по телефонной линии, передаваемые сигналы подвергаются модуляции, а когда принимается - демодуляции. Отсюда название ~ модем. Назначение модема - замена двоичного сигнала компьютера (сочетания 0 и 1) аналоговым сигналом с частотой, соответствующей рабочему диапазону телефонной линии.

Конструктивно модем - это печатная плата, вставляемая в компьютер или присоединяемая к нему, связанная с кабелем, подключаемым к телефонной розетке.

Телефонные сети начинают переводиться на цифровые сигналы, совместимые с сигналами компьютеров. Поэтому необходимость в модемах в перспективе отпадет.

### **Программное обеспечение САПР**

Программное обеспечение (ПО) САПР - совокупность машинных программ и сопутствующих им эксплуатационных документов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования [3].

ПО подразделяется на общее и прикладное (специальное). В свою очередь, общее ПО можно подразделить на общесистемное программное обеспечение и языки (среды, студии) программирования.

Общесистемное ПО служит для организации функционирования технических средств. Его основу составляет операционная система.

Операционная система - это комплекс программ, который загружается при включении компьютера. Она производит диалог с пользователем, осуществляет управление компьютером, его ресурсами (оперативной памятью, местом на дисках и т.д.), запускает прикладные программы на выполнение и т.д.

Зачем нужна операционная система? Основная причина заключается в том, что элементарные операции для работы с устройствами компьютера и управления его ресурсами - это операции очень низкого уровня. Поэтому

действия, которые необходимы пользователю и прикладным программам, состоят из сотен и тысяч таких элементарных операций.

Например, накопитель на магнитных дисках «понимает» только такие элементарные операции, как включить/выключить двигатель дисководов, установить читающие головки на определенный цилиндр и т.д. И даже для выполнения такого несложного действия, как копирование файла с дискеты на винчестер или наоборот, необходимо выполнить большое количество элементарных операций. Операционная система скрывает от пользователя эти сложные и ненужные подробности и предоставляет ему удобный интерфейс для работы с компьютером.

Персональные компьютеры ранее работали под управлением операционной системы MS DOS фирмы Microsoft Corp.

Для еще большего упрощения работы с компьютером раньше применялись операционные программы («оболочки») такие, как Norton Commander и DOS Navigator. В настоящее время используются Windows Commander и Far manager/ Но необходимости в них большой нет, т.к. такие операции, как создание каталогов (папок), копирование файлов и т.д. легко выполняется и средствами операционной системы типа Windows под управлением которой работают большинство современных персональных компьютеров. Версии этой операционной системы: Windows 3.1, Windows 3.11, Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows XP.

Операционная система типа Windows предоставляет следующие возможности для программистов:

1. Независимость программ от внешних устройств. DOS - программа может работать с аппаратными средствами компьютера (монитором, клавиатурой, принтером и т.д.) непосредственно, минуя DOS. Windows - программа может обращаться к внешним устройствам только через Windows. Это снимает с программиста проблему обеспечения совместимости с конкретными внешними устройствами, т.к. ее берет на себя Windows. Поэтому любая Windows -программа может работать с любым внешним устройством,

если с ним может работать Windows. Программы (драйверы) для поддержки наиболее распространенных устройств входят в Windows, а для остальных устройств - поставляются вместе с этими устройствами.

2. Наличие средств для построения пользовательского интерфейса. В Windows входят все необходимые средства для построения пользовательского интерфейса: окон, меню, запросов, списков и т.д. При этом стиль пользовательского интерфейса практически стандартен и считается одним из лучших.

3. Доступность всей оперативной памяти. В отличие от MS DOS средства управления оперативной памятью Windows обеспечивают доступность всей оперативной памяти компьютера (а не только ее части), что облегчает создание больших программ.

Другие возможности: обмен данными между приложениями Windows, организация встроенных справочных программ и т.д. Для пользователей Windows предоставляет следующие возможности:

1. Единый пользовательский интерфейс. Т.к. Windows предоставляет программисту все необходимые средства для создания пользовательского интерфейса (окон, меню и т.д.), то программисты пользуются ими, а не изобретают собственные средства. Вследствие этого пользовательский интерфейс Windows - программ в значительной степени унифицирован, и пользователям не требуется изучать для каждой программы новые принципы организации взаимодействия с этой программой.

2. Многозадачность. Windows обеспечивает возможность одновременного выполнения нескольких программ, переключения с одной задачи на другую, управления приоритетами выполняемых программ.

3. Поддержка мультимедиа. При подключении соответствующих устройств Windows может воспринимать звуки от микрофона, компакт - диска, изображения от цифрового фотоаппарата, цифровой видеокамеры или с компакт - диска, выводить звуки на колонки или в наушники, выводить на

экран монитора движущиеся изображения.

Другие возможности: совместимость с DOS - приложениями, удобство поддержки устройств, поддержка масштабируемых шрифтов и т.д.

Для создания программ используются языки (среды, студии) программирования.

## **ЛЕКЦИЯ 5. РАЗРАБОТКА САПР ИЗДЕЛИЙ, САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

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 и публикациях, будем рассматривать и «западные» и отечественные термины.

САПР изделий. На Западе эти системы называют CAD (Computer Aided Design). Здесь Computer - компьютер, Aided - 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 [1].

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 и engineeringA). 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 САМ (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 (Productionplann 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 САД, САМ дает экономический эффект. Но он может быть существенно увеличен их интеграцией посредством САРР. Такая интегрированная система САД/САМ на информационном уровне поддерживается единой базой данных. В ней хранится информация о структуре и геометрии изделия (как результат проектирования в системе САО), о технологии изготовления (как результат работы системы САРР) и управляющие программы для оборудования с ЧПУ (как исходная информация для обработки в системе САМ на оборудовании с ЧПУ) – рисунок 5.1.

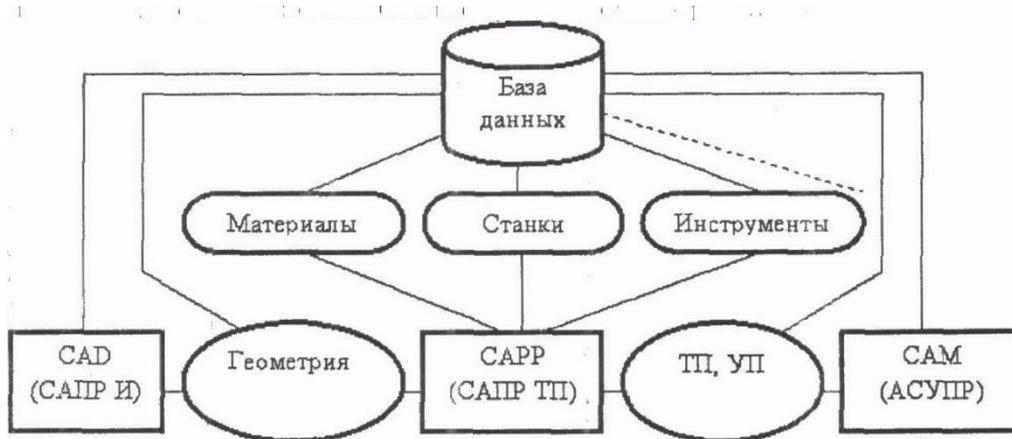


Рисунок 5.1 - Элементы интегрированной системы [4]

Основные этапы жизненного цикла изделий

Автоматизированные системы

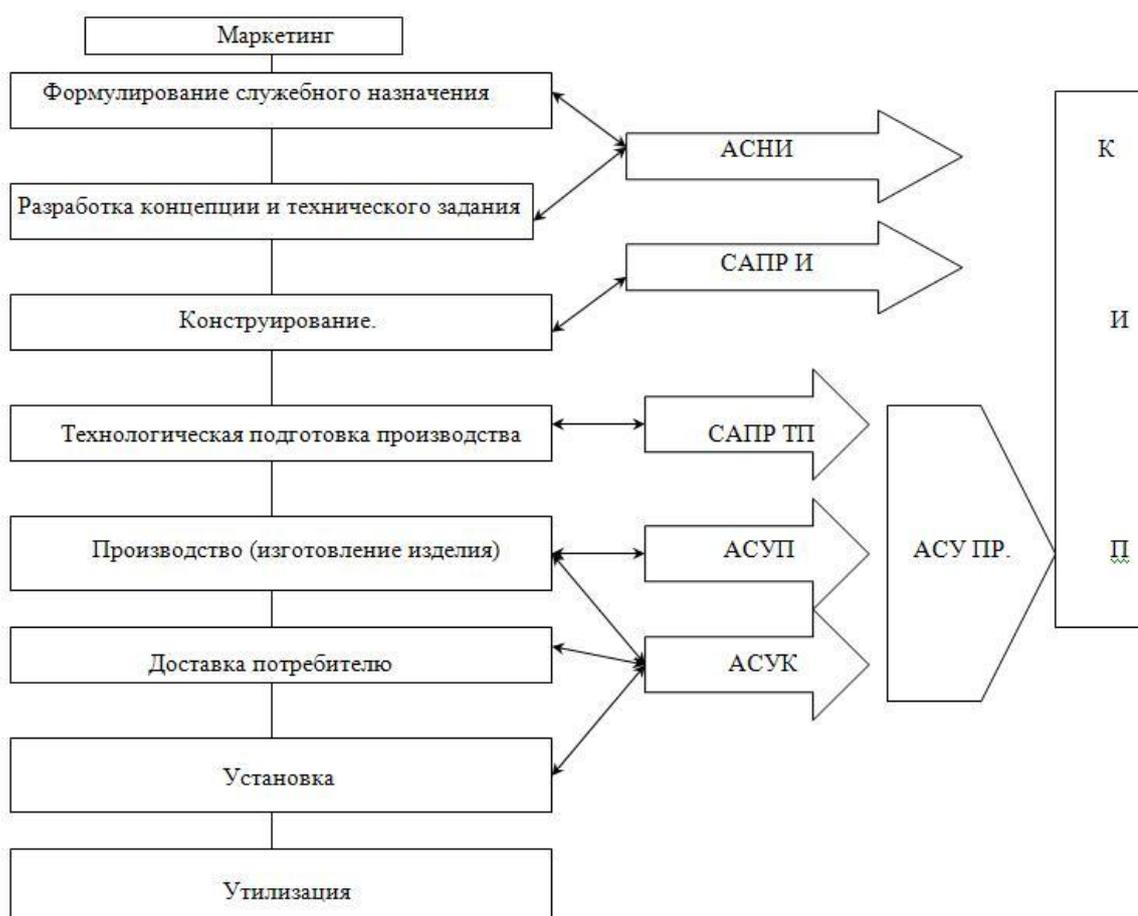


Рисунок 5.2 - Основные системы компьютерно - интегрированного производства

Основные системы компьютерно - интегрированного производства (КИП) показаны на рисунке 5.2.

Этапы создания изделий могут перекрываться во времени, т.е. частично или полностью выполняться параллельно. На рисунке 5.2 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 CIM (Computer Integrated Manufacturing)

Информационная структура компьютерно - интегрированного производства показана на рисунке 5.3.

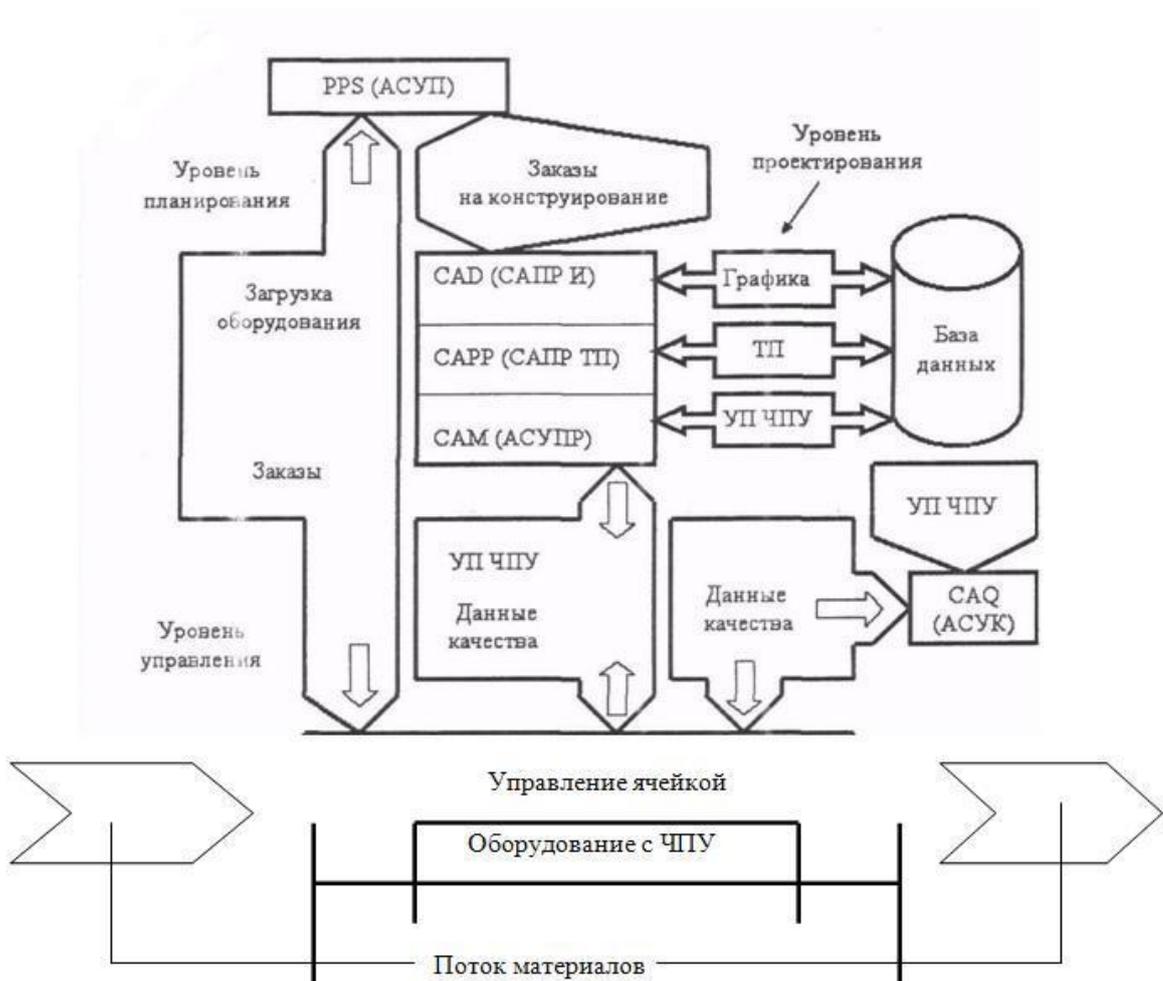


Рисунок 5.3 - Информационная структура компьютерно - интегрированного производства

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 счёт:

- 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 6. 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 (рисунки 5.1 и 5.2) [1];



Рисунок 5.1 - Представление структуры технологического процесса в виде графа



Рисунок 5.2 - 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 теорий: множеств, теории графов, теории оптимизации и других современных системных наук, ориентированных на использование ЭВМ.

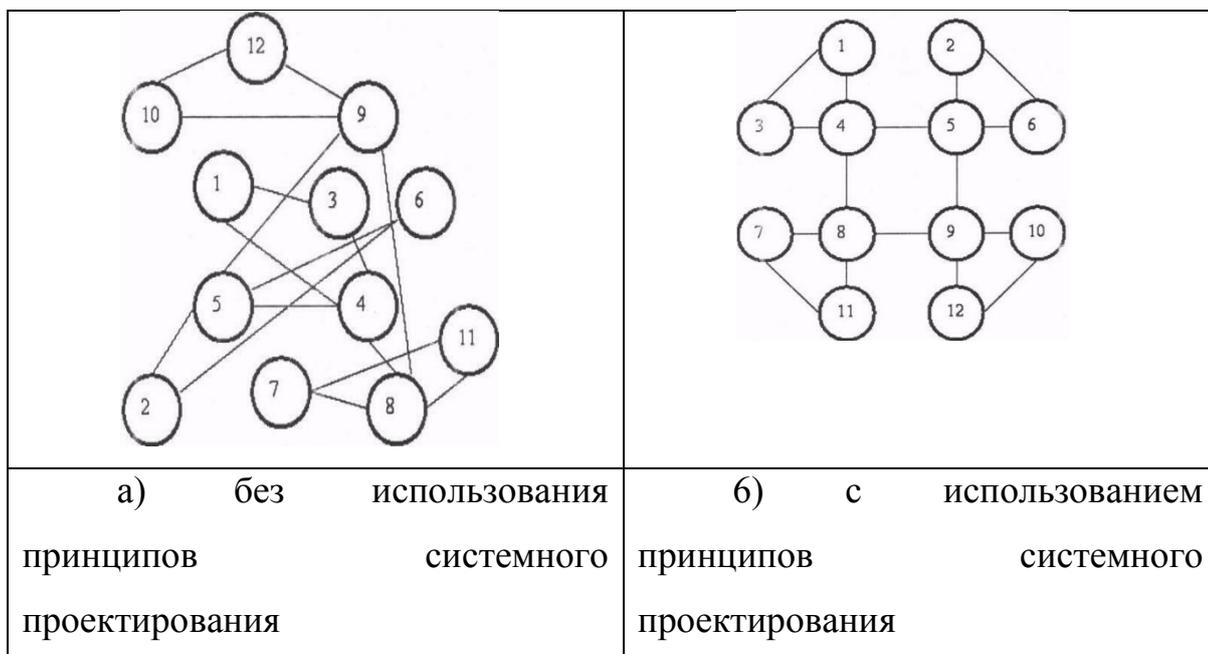


Рисунок 5.3 - Представление знаний в определенной области

Применение принципов системного проектирования позволяет систематизировать знания в любой области, «навести в ней порядок». Рисунок 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 (рисунки 5.4 - 5.7) [1].

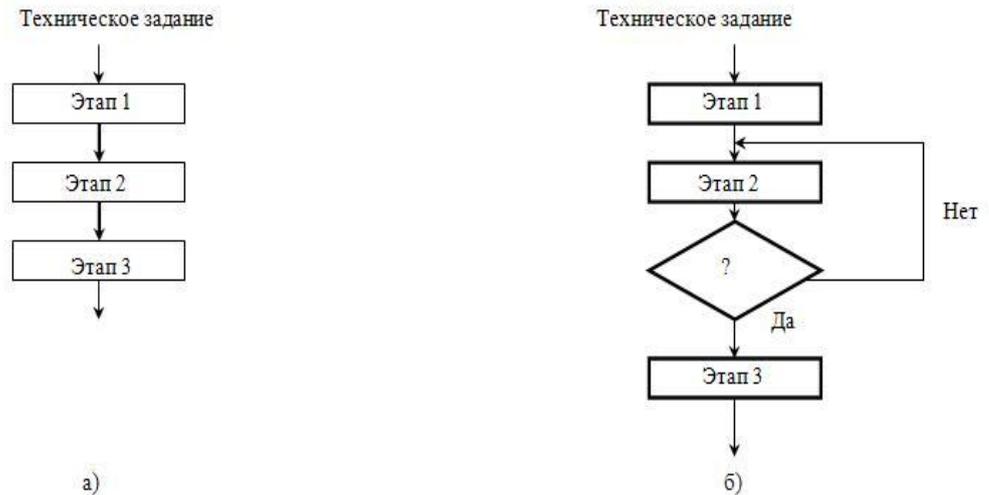


Рисунок 5.4 - Линейная (а) и циклическая (б) стратегии проектирования

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.

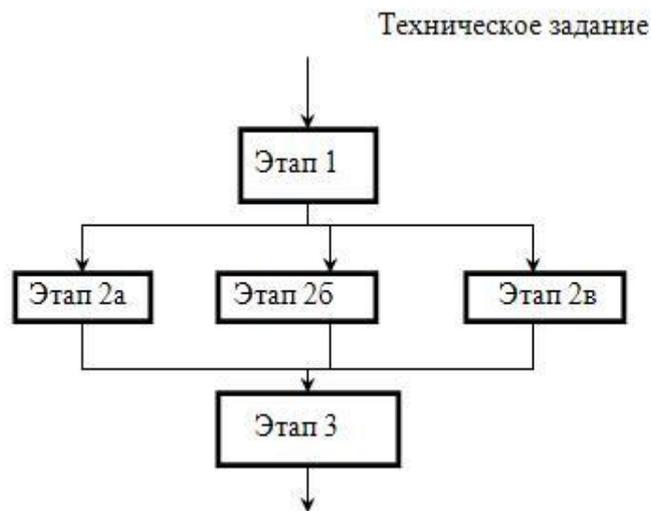


Рисунок 5.5 - Разветвленная стратегия проектирования

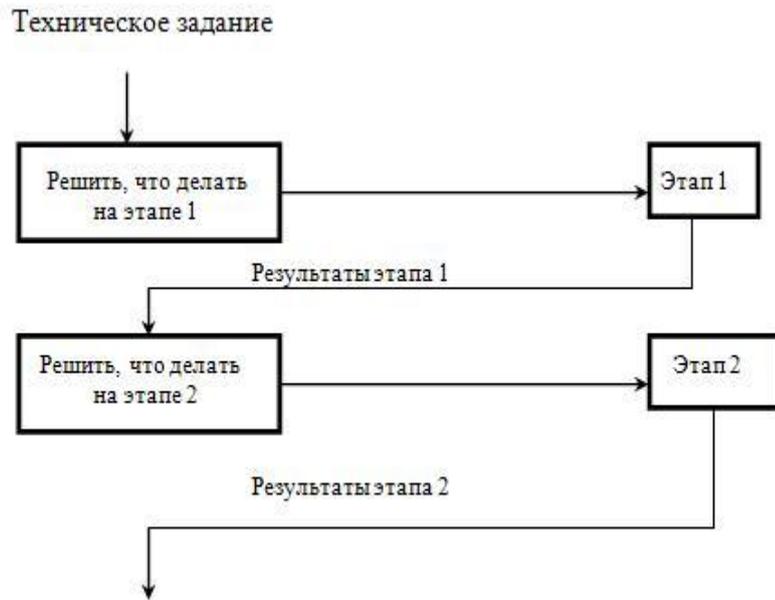


Рисунок 5.6 - Адаптивная стратегия проектирования

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



Рисунок 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 (рисунок 5.8).



Рисунок 5.8 - Управление стратегией проектирования

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

## **ЛЕКЦИЯ 7. ВЫБОР СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ: ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ, СРЕДСТВА**

### 1. Анализ первичных требований и планирование работ

Данный этап предваряет инициацию работ над проектом. Его основными задачами являются: анализ первичных бизнес - требований, предварительная экономическая оценка проекта, построение план-графика выполнения работ, создание и обучение совместной рабочей группы [2].

### 2. Проведение обследования деятельности предприятия

В рамках данного этапа осуществляется:

- предварительное выявление требований, предъявляемых к будущей системе;
- определение оргштатной и топологической структур предприятия;
- определение перечня целевых задач (функций) предприятия;
- анализ распределения функций по подразделениям и сотрудникам;
- определение перечня применяемых на предприятии средств автоматизации.

При этом выявляются функциональные деятельности каждого из подразделений предприятия и функциональные взаимодействия между ними, информационные потоки внутри подразделений и между ними, внешние по отношению к предприятию объекты и внешние информационные взаимодействия [3].

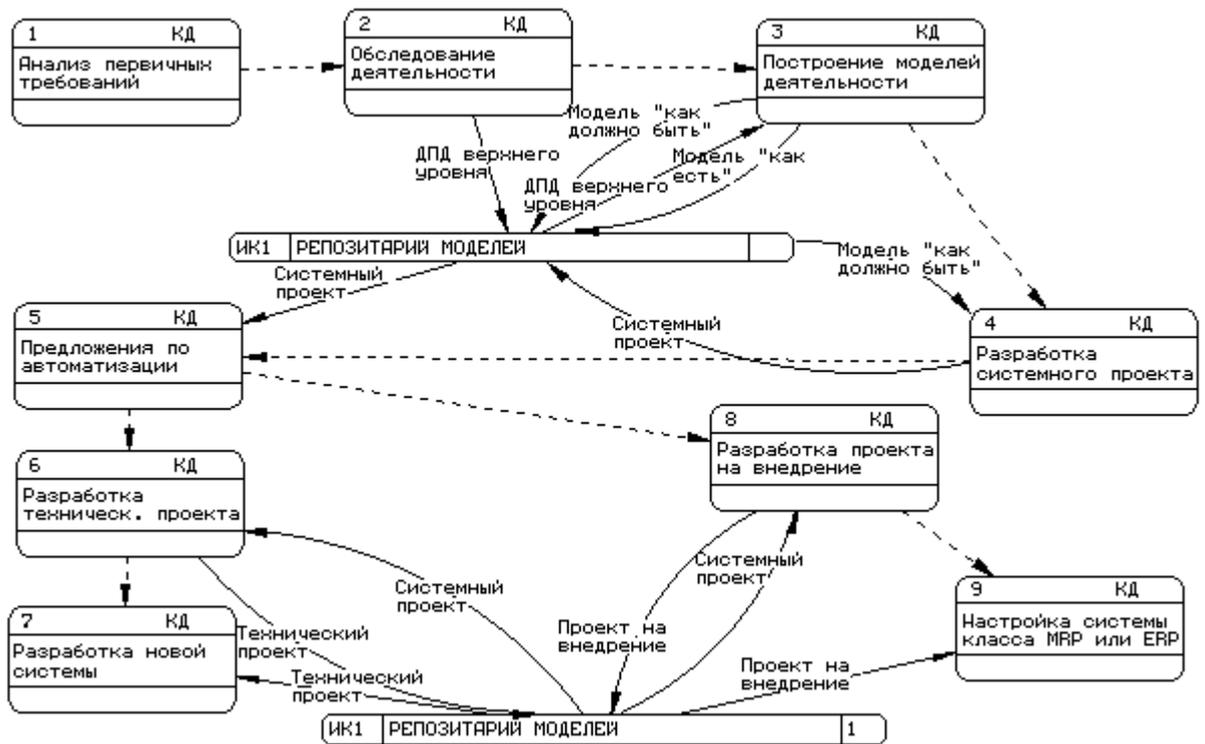


Рисунок 1 - Структура подхода

В качестве исходной информации при проведении обследования и выполнении дальнейших этапов служат:

- данные по оргштатной структуре предприятия;
- информация о принятых технологиях деятельности;
- стратегические цели и перспективы развития;
- результаты интервьюирования сотрудников (от руководителей до исполнителей нижнего звена);
- предложения сотрудников по усовершенствованию бизнес-процессов предприятия;
- нормативно-справочная документация;
- опыт системных аналитиков в части наличия типовых решений.

Длительность обследования составляет 1-2 недели. По окончании обследования строится и согласуется с заказчиком предварительный вариант функциональной модели предприятия, включающей идентификацию внешних объектов и информационных взаимодействий с ними, а также детализацию до уровня основных деятельностей предприятия и информационных связей между

этими деятельностью.

### 3. Построение моделей деятельности предприятия

На данном этапе осуществляется обработка результатов обследования и построение моделей деятельности предприятия следующих двух видов:

- модели “как есть”, представляющей собой "снимок" положения дел на предприятии (оргштатная структура, взаимодействия подразделений, принятые технологии, автоматизированные и неавтоматизированные бизнес-процессы и т.д.) на момент обследования и позволяющей понять, что делает и как функционирует данное предприятие с позиций системного анализа, а также на основе автоматической верификации выявить ряд ошибок и узких мест и сформулировать ряд предложений по улучшению ситуации;
- модели “как должно быть”, интегрирующей перспективные предложения руководства и сотрудников предприятия, экспертов и системных аналитиков и позволяющей сформировать видение новых рациональных технологий работы предприятия.

Каждая из моделей включает в себя полную структурную функциональную модель деятельности (например, в виде иерархии диаграмм потоков данных с разработанными для всех процессов нижнего уровня подробными их спецификациями на структурированном естественном языке или в виде иерархии SADT-диаграмм), информационную модель (как правило, с использованием нотации “сущность-связь”), а также, в случае необходимости, событийную (описывающую поведение) модель (с использованием диаграмм переходов состояний).

Переход от модели “как есть” к модели “как должно быть” осуществляется следующими двумя способами.

1. Совершенствование технологий на основе оценки их эффективности. При этом критериями оценки являются стоимостные и временные затраты выполнения бизнес-процессов, дублирование и противоречивость выполнения отдельных задач бизнес-процесса, степень загруженности

сотрудников (“легкий” реинжиниринг).

2. Радикальное изменение технологий и переосмысление бизнес-процессов (“жесткий” реинжиниринг). Например, вместо попыток улучшения бизнес-процесса проверки кредитоспособности клиента, может быть следует задуматься, а нужна ли вообще такая проверка? Возможно затраты на такие проверки каждого из клиентов во много раз превышают убытки, которые может понести компания в отдельных случаях недобросовестности (в случае, когда клиентов много, а суммы закупок незначительны)!

Построенные модели являются не просто реализацией начальных этапов разработки системы и техническим заданием на последующие этапы. Они представляют собой самостоятельный отделяемый результат, имеющий большое практическое значение, в частности:

1. Модель “как есть” включает в себя существующие неавтоматизированные технологии, работающие на предприятии. Формальный анализ этой модели позволит выявить узкие места в технологиях и предложить рекомендации по ее улучшению (независимо от того, предполагается на данном этапе автоматизация предприятия или нет).
2. Она позволяет осуществлять автоматизированное и быстрое обучение новых работников конкретному направлению деятельности предприятия (так как ее технология содержится в модели) с использованием диаграмм (известно, что “одна картинка стоит тысячи слов”).
3. С ее помощью можно осуществлять предварительное моделирование нового направления деятельности с целью выявления новых потоков данных, взаимодействующих подсистем и бизнес-процессов.
4. Разработка системного проекта

Данный этап является первой фазой разработки собственно системы автоматизации (именно, фазой анализа требований к системе), на которой требования заказчика уточняются, формализуются и документируются.

Фактически на этом этапе дается ответ на вопрос: "Что должна делать будущая система?". Именно здесь лежит ключ к успеху всего проекта автоматизации. В практике создания больших программных систем известно немало примеров неудачной реализации именно из-за неполноты и нечеткости определения системных требований.

На этом этапе определяются:

- архитектура системы, ее функции, внешние условия ее функционирования, распределение функций между аппаратной и программной частями;
- интерфейсы и распределение функций между человеком и системой;
- требования к программным и информационным компонентам системы, необходимые аппаратные ресурсы, требования к базе данных, физические характеристики компонент системы, их интерфейсы;
- состав людей и работ, имеющих отношение к системе;
- ограничения в процессе разработки (директивные сроки завершения отдельных этапов, имеющиеся ресурсы, организационные процедуры и мероприятия, обеспечивающие защиту информации).

Системный проект строится на основе модели "как должно быть" и включает функциональную модель будущей системы в соответствии с одним из общеупотребительных стандартов (например, IDEF0 или IDEF3), информационную модель, например, в соответствии со стандартом IDEF1X, а также техническое задание на создание автоматизированной системы (например, в соответствии с ГОСТ 34.602-89).

По завершении данного этапа (после согласования системного проекта с заказчиком) изменяется роль консультанта. Отныне он как бы становится на сторону заказчика, и одной из его основных функций на всех последующих этапах работ будет являться контроль на соответствие требованиям, зафиксированным в системном проекте.

Необходимо отметить следующее достоинство системного проекта. Для традиционной разработки характерно осуществление начальных этапов

кустарными неформализованными способами. В результате заказчики и пользователи впервые могут увидеть систему после того, как она уже в большей степени реализована. Естественно, эта система отличается от того, что они ожидали увидеть. Поэтому далее следует еще несколько итераций ее разработки или модификации, что требует дополнительных (и значительных) затрат денег и времени. Ключ к решению этой проблемы и дает системный проект, позволяющий:

- описать, "увидеть" и скорректировать будущую систему до того, как она будет реализована физически;
- уменьшить затраты на разработку и внедрение системы;
- оценить разработку по времени и результатам;
- достичь взаимопонимания между всеми участниками работы (заказчиками, пользователями, разработчиками, программистами и т.д.);
- улучшить качество разрабатываемой системы, а именно: создать оптимальную структуру интегрированной базы данных, выполнить функциональную декомпозицию типовых модулей.

Системный проект полностью независим и отделяем от конкретных разработчиков, не требует сопровождения его создателями и может быть безболезненно передан другим лицам. Более того, если по каким-либо причинам предприятие не готово к реализации на основе проекта, он может быть положен "на полку" до тех пор, пока в нем не возникнет необходимость. Кроме того, его можно использовать для самостоятельной разработки или корректировки уже реализованных на его основе программных средств силами программистов отдела автоматизации предприятия.

#### 5. Разработка предложений по автоматизации предприятия

На основании системного проекта осуществляется:

- составление перечня автоматизированных рабочих мест предприятия и способов взаимодействия между ними;
- анализ применимости существующих систем управления предприятиями для решения требуемых задач и формирование рекомендаций по выбору

такой системы;

- совместное с заказчиком принятие решения о выборе конкретной системы управления предприятием или разработке собственной системы;
- разработка требований к техническим средствам;
- разработка требований к программным средствам;
- разработка предложений по этапам и срокам автоматизации.

#### 6. Разработка технического проекта

На данном этапе на основе системного проекта и принятых решений по автоматизации осуществляется проектирование системы. Фактически здесь дается ответ на вопрос: "Как (каким образом) мы будем строить систему, чтобы она удовлетворяла предъявленным к ней требованиям?". Этот этап разделяется на два подэтапа:

- проектирование архитектуры системы, включающее разработку структуры и интерфейсов ее компонент (автоматизированных рабочих мест), согласование функций и технических требований к компонентам, определение информационных потоков между основными компонентами, связей между ними и внешними объектами;
- детальное проектирование, включающее разработку спецификаций каждой компоненты, разработку требований к тестам и плана интеграции компонент, а также построение моделей иерархии программных модулей и межмодульных взаимодействий и проектирование внутренней структуры модулей.

При этом происходит расширение системного проекта:

- за счет его уточнения;
- за счет построения моделей автоматизированных рабочих мест, включающих подсистемы информационной модели и функциональные модели, ориентированные на эти подсистемы вплоть до идентификации конкретных сущностей информационной модели;
- за счет построения моделей межмодульных и внутримодульных взаимодействий с использованием техники структурных карт.

## 7. Последующие этапы

В случае разработки собственной системы последующие этапы являются традиционными: по спецификациям технического проекта осуществляется программирование модулей, их тестирование и отладка и последующая комплексация в автоматизированные рабочие места и в систему в целом. При этом схема интегрированной базы данных, как правило, генерируется автоматически на основании информационной модели.

Настройка существующей системы MRP или ERP осуществляется по следующим этапам:

- наполнение системы фактическими данными;
- построение процедур их обработки;
- интеграция процедур внутри автоматизированных рабочих мест;
- интеграция автоматизированных рабочих мест в систему.

### **CASE-технологии - методологическая и инструментальная база консалтинга**

За последнее десятилетие сформировалось новое направление в программной технике - CASE (Computer-Aided Software/System Engineering). В настоящее время не существует общепринятого определения CASE. Содержание этого понятия обычно определяется перечнем задач, решаемых с помощью CASE, а также совокупностью применяемых методов и средств. Очень грубо, CASE - технология представляет собой совокупность методологий анализа, проектирования, разработки и сопровождения сложных систем программного обеспечения (ПО), поддерживаемую комплексом взаимосвязанных средств автоматизации. CASE - это инструментарий для системных аналитиков, разработчиков и программистов, заменяющий им бумагу и карандаш на компьютер для автоматизации процесса проектирования и разработки ПО.

К настоящему моменту дисциплина CASE оформилась в самостоятельное наукоемкое направление в программной технике, повлекшее за собой образование мощной CASE-индустрии, объединившей сотни фирм и компаний различной

ориентации. Среди них выделяются компании - разработчики средств анализа и проектирования ПО с широкой сетью дистрибьютерских и дилерских фирм; фирмы - разработчики специальных средств с ориентацией на узкие предметные области или на отдельные этапы жизненного цикла ПО; обучающие фирмы, которые организуют семинары и курсы подготовки специалистов; консультационные фирмы, оказывающие практическую помощь при использовании CASE-пакетов для разработки конкретных приложений; фирмы, специализирующиеся на выпуске периодических журналов и бюллетеней по CASE. Основными покупателями CASE-пакетов за рубежом являются военные организации, центры обработки данных и коммерческие фирмы по разработке ПО.

Существует мнение, что CASE является наиболее перспективным направлением в программотехнике. С этим, естественно, можно и нужно спорить, но то, что CASE - наиболее бурно и интенсивно развиваемое направление, является в настоящее время фактом. Практически ни один серьезный зарубежный программный проект не осуществляется без использования CASE-средств. Известная методология структурного системного анализа SADT (точнее ее подмножество IDEF0) принята в качестве стандарта на разработку ПО Министерством обороны США. Более того, среди менеджеров и руководителей компьютерных фирм считается чуть ли не правилом хорошего тона знать основы SADT и при обсуждении каких-либо вопросов нарисовать простейшую диаграмму, поясняющую суть дела.

CASE позволяет не только создавать "правильные" продукты, но и обеспечить "правильный" процесс их создания. Основная цель CASE состоит в том, чтобы отделить проектирование ПО от его кодирования и последующих этапов разработки, а также скрыть от разработчиков все детали среды разработки и функционирования ПО. Чем больше деятельности будет вынесено в проектирование из кодирования, тем лучше.

При использовании CASE-технологий изменяются все этапы жизненного цикла программной системы, при этом наибольшие изменения касаются этапов

анализа и проектирования. В большинстве современных CASE-систем применяются методологии структурного анализа и проектирования, основанные на наглядных диаграммных техниках, при этом для описания модели проектируемой системы используются графы, диаграммы, таблицы и схемы. Такие методологии обеспечивают строгое и наглядное описание проектируемой системы, которое начинается с ее общего обзора и затем детализируется, приобретая иерархическую структуру со все большим числом уровней.

Несмотря на то, что структурные методологии зарождались как средства анализа и проектирования ПО, сфера их применений в настоящее время выходит далеко за рамки названной предметной области. Поэтому CASE-технологии успешно применяются для моделирования практически всех предметных областей, однако устойчивое положение они занимают в следующих областях:

- бизнес-анализ (фактически, модели деятельности предприятий “как есть” и “как должно быть” строятся с применением методов структурного системного анализа и поддерживающих их CASE-средств);
- системный анализ и проектирование (практически любая современная крупная программная система разрабатывается с применением CASE-технологий по крайней мере на этапах анализа и проектирования, что связано с большой сложностью данной проблематики и со стремлением повысить эффективность работ).

Следует отметить, что CASE - не революция в программной технике, а результат естественного эволюционного развития всей отрасли средств, называемых ранее инструментальными или технологическими. Однако это и не Confuse Array of Software that does Everything, существует ряд признаков и свойств, наличие которых позволяет классифицировать некоторый продукт как CASE-средство. Одним из ключевых признаков является поддержка методологий структурного системного анализа и проектирования.

С самого начала CASE-технологии развивались с целью преодоления

ограничений при использовании структурных методологий проектирования 60-70-х годов (сложности понимания, большой трудоемкости и стоимости использования, трудности внесения изменений в проектные спецификации и т.д.) за счет их автоматизации и интеграции поддерживающих средств. Таким образом, CASE-технологии, вообще говоря, не могут считаться самостоятельными методологиями, они только развивают структурные методологии и делают более эффективным их применение за счет автоматизации.

Помимо автоматизации структурных методологий и, как следствие, возможности применения современных методов системной и программной инженерии, CASE обладают следующими основными достоинствами:

- улучшают качество создаваемого ПО за счет средств автоматического контроля (прежде всего, контроля проекта);
- позволяют за короткое время создавать прототип будущей системы, что позволяет на ранних этапах оценить ожидаемый результат;
- ускоряют процесс проектирования и разработки;
- освобождают разработчика от рутинной работы, позволяя ему целиком сосредоточиться на творческой части разработки;
- поддерживают развитие и сопровождение разработки;
- поддерживают технологии повторного использования компонент разработки.

Большинство CASE-средств основано на парадигме методология/метод/нотация/ средство. Методология определяет руководящие указания для оценки и выбора проекта разрабатываемого ПО, шаги работы и их последовательность, а также правила распределения и назначения методов. Метод - это систематическая процедура или техника генерации описаний компонент ПО (например, проектирование потоков и структур данных). Нотации предназначены для описания структуры системы, элементов данных, этапов обработки и включают графы, диаграммы, таблицы, блок-схемы, формальные и естественные языки. Средства - инструментарий для поддержки

и усиления методов. Эти инструменты поддерживают работу пользователей при создании и редактировании графического проекта в интерактивном режиме, они способствуют организации проекта в виде иерархии уровней абстракции, выполняют проверки соответствия компонентов.

## **ЛЕКЦИЯ 8. ПРИМЕР СИСТЕМЫ 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 [4].

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.

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



Рисунок 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 рисунке 15.2.

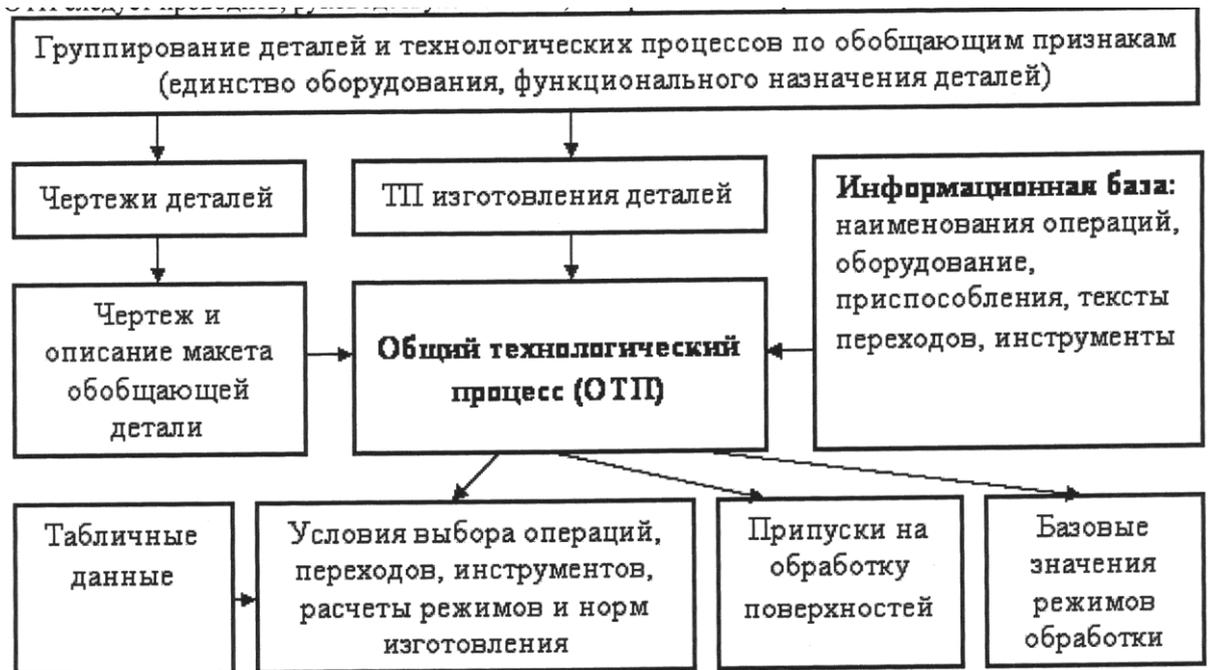


Рисунок 15.2 - Схема последовательности создания ОТП

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.

## ЛЕКЦИЯ 9. ВВЕДЕНИЕ В МОДЕЛИРОВАНИЕ САПР

### 9.1 Основные понятия металлургического производства

Изготовление любой детали или сборочной единицы подразумевает осуществление определенной последовательности действий, связанных с манипуляциями над оборудованием и заготовкой, что является понятием *технологического процесса*. *Инженер-технолог* - сотрудник предприятия, занимающийся разработкой и организацией того или иного технологического процесса на производстве. Как правило, основным результатом работы инженера-технолога являются технологические карты, маршрутные карты и эскизы (изделия, заготовок, пооперационные).

На основании труда технолога другой специалист предприятия – *инженер-конструктор* – осуществляет проектирование технологической оснастки, которая необходима для осуществления технологического процесса.

Например, на основании технического задания (ТЗ) при разработке технологического процесса штамповки сепаратора подшипника технолог определил, что для его изготовления необходимо осуществить шесть операций. На каждую операцию выполнил расчеты технологических параметров (размеров заготовки, размеров инструмента, величину деформирующего усилия, подобрал необходимое оборудование и т.д.). На основании технологической карты и эскизов конструктор осуществляет проектирование штампов на все шесть операций, при этом он учитывает особенности расположения заготовки в каждом штампе. Схема разработки технологической документации представлена на рисунке 1.

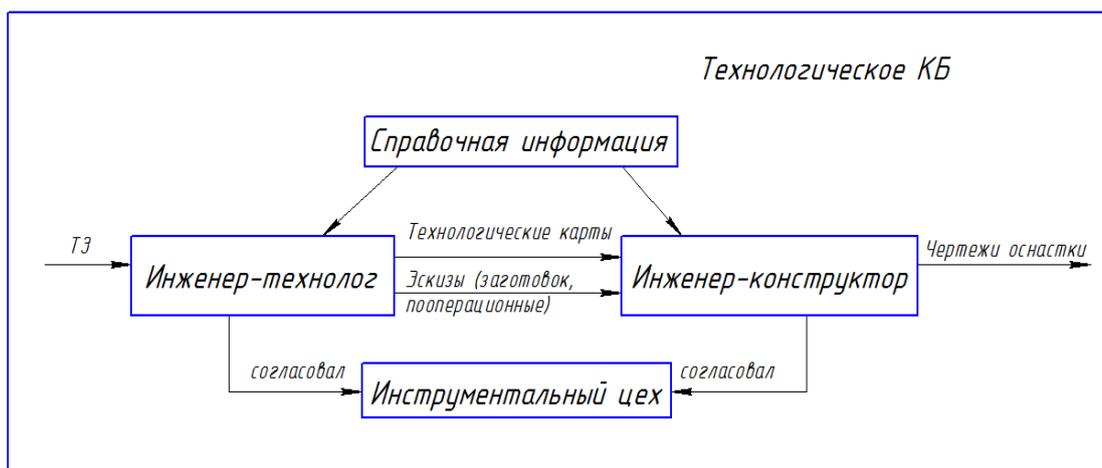


Рисунок 1 – Схема разработки технологической документации

Рассмотренная на рисунке 1 схема позволяет в наиболее общем виде описать взаимодействие технолога и конструктора при разработке документации на любой технологический процесс металлургического производства.

Принято считать, что к металлургии относится ряд технологических процессов, связанных с извлечением металлов из руд их рафинированием, первичной переработкой (литьем, ОМД), механической обработкой, сваркой, термической и химико-термической обработками, а также нанесением металлических покрытий на металлы и неметаллы.

Из перечисленных процессов *литье* отличается тем, что для получения окончательной формы изделия металл заготовки нагревают, полностью переводя его в жидкое состояние, после чего осуществляют заполнение литейной формы с последующим охлаждением и кристаллизацией. В то время как при осуществлении *сварки* для создания неразъемного соединения осуществляют местный нагрев общих для двух заготовок участков.

Особенностью *ОМД* является то, что течение металла осуществляется в твердом состоянии за счет приложения давления на определенные участки заготовки с помощью специального инструмента.

В ходе *термической обработки* (ТО) осуществляется нагрев заготовки выше температур фазовых превращений с последующей выдержкой или охлаждением, осуществляемые таким образом, чтобы в итоге была получена

требуемая структура металла. При химико-термической обработке дополнительно осуществляется насыщение поверхностного слоя заготовки различными химическими элементами.

*Механическая обработка* характеризуется получением изделия за счет удаления лишнего материала заготовки – снятие стружки.

Существует и обратный процесс объединения отдельных частей в изделия – *аддитивная технология*.

## **9.2 Понятие модели и моделирования. Виды моделей**

Невозможно представить современное производство без широкого применения программного обеспечения, позволяющего прогнозировать свойства создаваемого продукта. Практически на любом этапе производства, начиная от создания эскизного проекта и заканчивая контролем качества готового изделия, мы сталкиваемся с понятиями модели и моделирования.

Что же такое моделирование и в чем оно заключается? В отличие от английских слов *modeling* - «создание модели» и *simulation* - «исследование», под *моделированием* понимается процесс создания модели и ее исследование – решение прямых и обратных задач.

*Прямые задачи* отвечают на вопрос, каков получится результат при заданных условиях функционирования модели. В частности, какой будет разнотолщинность прокатываемой ленты по ширине при заданной жесткости валков прокатного стана. Какой будет величина пружинения при гибке пластины

*Обратные задачи* отвечают на вопрос: как выбрать единственное решение из множества решений, получаемых с помощью принятой модели так, чтобы решение отвечало заданным условиям. Например, какой должен быть профиль валков, для того чтобы разнотолщинность ленты по ширине была минимальной, какие размеры должны быть у инструмента, чтобы величина пружинения была минимальной. Обратные задачи называются задачами оптимизации.

Прямые задачи проще обратных, поскольку для решения обратной задачи зачастую приходится сначала решить прямую задачу.

Решение, поставленных ранее задач, требует развития специальных методов моделирования, которые бурно развиваются, охватывая все новые сферы этой области науки. Степень использования моделирования в производственном процессе говорит об уровне самого производства. Там где большую часть подготовки к производству занимает исследование и изучение процессов производства там и следует ожидать более высокое качество изготавливаемого изделия. Соответственно и требования к инженерам, обеспечивающим проектирование подобных технологических процессов, предъявляют более высокие.

Существует большое количество классификаций моделей. Практически каждый исследователь в данной области предлагает свою классификацию.

Все модели можно разделить на две группы – физические модели и модели спецификации (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация моделей

<i>Модели</i>			
<i>Физические</i>		<i>Спецификации</i>	
По силе физической аналогии	1. натурные; 2. масштабные; 3. аналоговые.	<i>Вербальные</i>	1. мысленные; 2. разговорные
По фактору учета времени	1. статические; 2. динамические.	<i>Невербальные</i>	
По учету количества измерений	1. одномерные; 2. двумерные; 3. трехмерные.	<i>Образные</i>	1. фотографии; 2. рисунки;
По цели создания	1. демонстрационные; 2. экспериментальные; 3. имитационные; 4. учебные.	<i>Знаковые (письменные)</i>	
		1. Языковые	
		2. Математики	
		По учету фактора	1. статические; 2. динамические;

		времени	3. квазистатические.
		По учету фактора вероятности	1. детерминированные; 2. стохастические.
		По очередности математических операций	1. функциональные; 2. алгоритмические.
		По масштабу описания объекта	1. на микроуровне; 2. на макроуровне; 3. на метоуровне.
		По цели создания	1. геометрии; 2. логические; 3. имитационные.

*Физические* модели являются реальными телами, которые своими физическими характеристиками выражают свойства исследуемого объекта.

Под *моделями спецификациями* понимают все остальные существующие модели, которые описывают физические характеристики описываемого объекта с помощью принятых обозначений.

Среди физических моделей можно выделить следующие группы:

- в зависимости от учета фактора времени статические и динамические;
- по силе использования физической аналогии: натурные, масштабные и аналоговые;
- в зависимости от поставленных задач: демонстрационные, экспериментальные и т.д.
- в зависимости от количества используемых измерений: одно-, двух-, трехмерные.

*Статические физические* модели помогают нам наглядно представить себе пространственные соотношения. Их примером могут быть макеты заводских сооружений, или макеты сложной штамповочной оснастки.

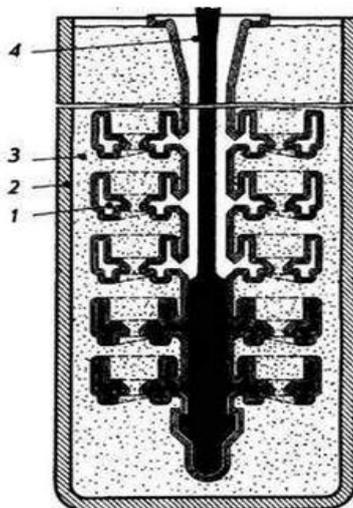
*Динамическая физическая* модель должна учитывать время или развитие процесса во времени. Примером динамической физической модели может служить штамповочный участок, используемый для освоения нового технологического процесса, внедряемого на заводе, целью исследования

работы которого является установление временных нормативов изготовления различных деталей.

Физические модели могут быть *натурными* – полномасштабными макетами (опытные образцы для штамповки), или *масштабными* – выполняемыми в уменьшенном или увеличенном масштабе, (например, модель кристаллической решетки, модель атома). Отличительной особенностью любой натурной и масштабной физической модели является то, что она “выглядит” подобно моделируемому объекту.

*Аналоговыми* моделями являются модели, у которых изучаемое свойство реального объекта заменяется аналогичным по поведению свойством другого объекта. Как правило, эта задача решается заменой свойств моделируемого объекта свойствами модели, поведение которых аналогично, после чего полученные результаты рассматриваются применительно к исходным свойствам моделируемого объекта.

Например, для оценки качества заполнения неразъемных форм в процессе литья по выплавляемым моделям, можно заменить полости формы на электросопротивление проводников в цепи с током (рисунок 2).



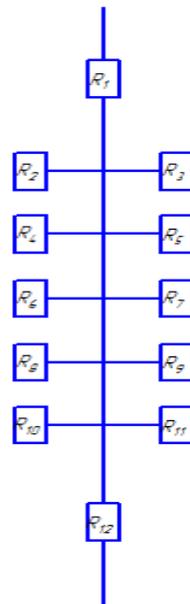
1 – полость формы

2 – стальная опока

3 – песок

4 – расплавленный металл

а)



б)

Рисунок 2 – Пример аналоговой модели: а – неразъемная форма; б – аналоговая модель формы

Для этого каждую полость формы можно заменить проводником с определенным электросопротивлением. Причем для замены каждого участка электросопротивление подбирать относительно размеров и формы определенной полости. В этом случае оценку качества заполнения опоки можно дать по течению в проводнике электрического тока.

Среди *знаковых* моделей спецификаций наиболее распространены математические модели – модели, представленные с помощью средств математики – «математического языка». Математические модели могут быть геометрическими, логическими, имитационными, учебными и т.д., в зависимости от того какие интересующие свойства исследуемого объекта они отражают (то есть какие цели преследовались при их создании).

Математические модели могут быть *символическими*, *численными* и *смешанными*, в зависимости от того используется обозначение величины или ее численное значение.

Математические модели можно также разделить на две группы: функциональные и алгоритмические. *Функциональные* модели являются явно выраженными зависимостями между входными данными и исследуемыми свойствами, в то время как в *алгоритмических* моделях эта связь задана не явно, а в виде алгоритма. Можно сказать, что функциональные модели это частный случай алгоритмических, когда алгоритм вычисления сведен к расчету одного уравнения [1].

При рассмотрении математических моделей, применяемых в металлургическом производстве можно выделить несколько уровней: микроуровень, макроуровень, и мезоуровень [2, 3]. Особенностью модели на микроуровне является отображение физических процессов в непрерывном пространстве и времени. С помощью дифференциальных уравнений в частных производных рассчитываются поля напряжений и деформаций. Объектами исследования на этом уровне являются отдельные технологические операции.

На макроуровне используют укрупненную дискретизацию производства по функциональному признаку, т.е. используют обыкновенные дифференциальные уравнения. В этих моделях обычно имеются две группы переменных – независимых (время) и зависимых (фазовых). В качестве фазовых переменных выступают силы, скорость перемещения, напряжения и т.д. В качестве объектов исследования выступают целые технологические процессы.

Объекты на мезоуровне описывают укрупнено. В качестве математического аппарата используются обыкновенные дифференциальные уравнения, теория массового обслуживания, и т.д. Объектами выступают уже целые технологические системы.

Среди моделей спецификаций можно также выделить статические и динамические, детерминированные и стохастические, аналоговые и дискретные модели.

*Статические* модели описывают статические состояния, в них не присутствует время в качестве независимой переменной. *Динамические* модели отражают поведение системы во времени.

*Стохастические* и *детерминированные* модели различают в зависимости от учета или не учета случайных факторов. В детерминированных задачах вероятность совершения исследуемого события всегда равна 100%, в то время как в стохастических задачах эта вероятность может изменяться или даже быть неизвестной [4].

В дальнейшем мы будем говорить, только о функциональных математических детерминированных моделях спецификации, используемых для расчета на ЭВМ, называя их просто моделями или *математическими моделями*.

### **9.3 Применение компьютера для моделирования технологических процессов**

На современном этапе развития науки процесс моделирования очень тесно связан с использованием ЭВМ, а возможности компьютерного моделирования иногда кажутся, настолько большими, что моделирование называют “третьим методом” познания, сочетающим в себе достоинства как теории, так эксперимента [5].

Это объясняется рядом причин, среди которых можно выделить следующие:

- большое количество повторяющихся действий выполняемых исследователем, например, при моделировании процесса штамповки поковки зубчатого колеса из цилиндрической заготовки для определения деформации с помощью метода конечных элементов необходимо выполнить сотни, тысячи одинаковых операций;
- простота представления для ЭВМ большинства математических методов, используемых в моделировании;

- возможность получения и представления результатов моделирования в наиболее полном и наглядном для исследователя виде. Представление результатов на компьютере, как правило, гораздо шире, чем при постановке физического эксперимента;
- возможность глубокого и всестороннего изучения моделируемого объекта или процесса производства без существенных материальных затрат в сравнении с физическими экспериментами. В условиях компьютерного моделирования фактически регламентируется только время работы над проектом.

Компьютерное моделирование условно можно разделить на две группы: во-первых, это моделирование, в котором использованы имеющиеся программное обеспечение и, во-вторых – “классическое” – создание новых программных продуктов и их использование. В соответствии с целями моделирования разработка программы может осуществляться как для конкретного процесса, так и для целой группы технологических процессов или даже способов. Например, программа может создаваться как для расчета деформации валков прокатного стана заданной модели для прокатки полосы толщиной 10 мм из технически чистого алюминия, так и для описания всех известных способов прокатки.

В “классическом” варианте моделирования технологического процесса можно укрупнено выделить следующие этапы /1/:

- постановка задачи моделирования,
- создание формализованной (математической) модели,
- создание алгоритма,
- создание программы,
- отладка полученной программы.

На *первом* этапе собирается информация об исходном объекте, которая позволяет получить важные предварительные данные об объекте, уточняются цели создания модели. На *втором* этапе возможно исследование

математической модели (или ее частей) теоретическими методами. Осуществляется формализация (математическое описание исходных данных).

На *третьем* этапе осуществляется разработка алгоритма для реализации модели на компьютере. Обычно для задач ОМД на этом этапе осуществляется представление модели в форме, удобной для применения численных методов, определяется последовательность вычислительных и логических операций, которые нужно произвести, чтобы найти искомые величины с заданной точностью.

Из требований, предъявляемых к вычислительным алгоритмам, можно выделить следующие:

- алгоритмы не должны искажать основные свойства модели и, следовательно, исходного объекта;
- алгоритмы должны быть экономичными как с точки зрения осуществления расчетов при моделировании, так и с точки зрения построения;
- алгоритмы должны быть адаптирующимися к особенностям решаемых задач, используемому языку программирования и используемым компьютерам.

На *четвертом* этапе создаются программы, “переводящие” алгоритм на доступный компьютеру язык. К этим программам также предъявляются требования экономичности и адаптивности. При этом под *экономичностью* использования языка программирования понимается возможность быстро и четко описать необходимый алгоритм, а под *адаптивностью* – способность легко исправить или подкорректировать уже созданную программу. Полученная в результате программа становится “электронным” эквивалентом изучаемого объекта или процесса, который в дальнейшем можно изучать на компьютере.

Как правило, для программирования используются языки высокого уровня (например, Паскаль, Бейсик и др.), поскольку их использование позволяет написать программу более качественно и быстро. Существуют также

специализированные языки программирования, предназначенные для решения конкретных задач моделирования.

С помощью полученной программы, осуществляется постановка “пробных” вычислительных экспериментов и отладка системы “формализованная модель–алгоритм–программа” для достижения требуемой адекватности. После чего исследователь получает универсальный, гибкий и недорогой инструмент, позволяющий проводить разнообразные и подробные “опыты”, дающие все требуемые качественные и количественные характеристики объекта.

В настоящий момент для моделирования технологических процессов создавать программу приходится достаточно редко, поскольку существует большое количество универсальных программных продуктов. В этом случае при создании модели достаточно лишь описать реальный процесс в уже существующей программе. А для случая, когда моделируемый процесс все же не укладываются в рамки используемого в программе алгоритма решения задач, в современных программах предусматривается возможность использования языков программирования для написания новых алгоритмов расчета (в программе Ansys например используется язык APDL).

## ЛЕКЦИЯ 10. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

### 10.1 Общий вид математических моделей

*Математическая модель*, это модель, которая в общем случае представляет собой записанный с помощью средств математики алгоритм вычисления вектора выходных параметров  $Y$  при заданных входных параметрах  $X$ .

Математические модели являются представлением физических или иных процессов, протекающих в объектах. Обычно данные модели представляют систему уравнений, описывающих внутренние, внешние и выходные параметры.

В самом простом случае структуру аналитической модели мы можем представить математически в виде следующей системы:

$$\begin{cases} Y = f(x, z) \\ x \leq X \end{cases},$$

где  $Y=f(x,z)$  – целевая функция,  $x \leq X$  – возможные ограничения,  $Y$  – результат действия системы;  $x, z$  – переменные и параметры;  $f$  – функциональная зависимость между параметрами и переменными определяющая величину  $Y$ . Данная система содержит одну целевую функцию и одно ограничение. В общем случае математическая модель может содержать несколько целевых функций и несколько ограничений.

Тогда любая математическая модель может содержать следующие составляющие [6]:

- компоненты,
- переменные,
- параметры,
- функциональные зависимости,
- ограничения,
- целевые функции.

Под *компонентами* понимают составные части, образующие систему. В качестве компонентов могут выступать ограничения и целевые функции. Иногда под компонентами понимаются элементы системы или ее подсистемы. Например, если в качестве системы рассматривать технологический процесс, то компонентами этой системы будут отдельные операции. Полное количество компонентов участвующих в моделировании выбирается исследователем.

*Параметры* это величины, выбирающиеся произвольно в отличие от переменных, которые принимают только значения, определяемые видом используемой функции, т.е. параметры являются постоянными величинами, не подлежащими изменению. Например, в законе Гука (1):  $E$  является параметром постоянной величиной для заданного материала, а  $\sigma$  и  $\varepsilon$  — переменными.

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжения,  $E$  – модуль Юнга,  $\varepsilon$  – деформации.

Переменные могут быть двух видов - *внутренними* и *внешними*. *Внешние* переменные называют также входными, поскольку они являются результатом воздействия внешних причин. Переменные, возникающие в системе, называются *внутренними*. Они появляются в результате воздействия внутренних причин. Внутренние переменные могут быть переменными состояния, если они характеризуют состояние или условия, имеющие место в системе или выходными переменными, если они описывают состояние на выходах системы [6].

*Функциональные* зависимости характеризуют переменные и параметры в пределах компонента или выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения, могут быть различными по своей природе и используемому математическому аппарату. По природе исследуемого объекта соотношения могут быть *детерминистскими*, или *стохастическими*. *Детерминистские* соотношения – это уравнения устанавливающие зависимость между переменными или параметрами в случае, когда процесс однозначно определен. *Стохастические* соотношения однозначно не определяются с помощью входных параметров.

Функциональные зависимости могут быть получены в соответствии с двумя подходами: *гносеологическим* или *информационным*. Как правило, стохастические соотношения между входными и выходными переменными характерны для информационного подхода.

Ограничения являются математической записью пределов изменения значений переменных. Они могут быть поставлены разработчиком – искусственные ограничения, или природой исследуемых объектов в соответствии с присущими им свойствами – естественные ограничения. Как правило, искусственные ограничения являются техническими требованиями к объекту или процессу. Например, требование предъявляемое к поковке по штамповочному уклону служит ограничением при моделировании процесса заполняемости штампа при штамповке.

Примером естественного ограничения может быть максимальное и минимальное значение процентов содержания компонента сплава, которое может изменяться от 0 до 100%. В качестве примера искусственного ограничения можно привести ограничения связанные с поиском сплава с наибольшей прочностью при изменении процентного содержания одного из компонентов в диапазоне от 10 до 25%.

Целевая функция, или функция критерия, - является отражением целей или задач моделирования. Уравнение целевой функции должно быть, как можно более точно определено относительно целей задач исследования. Под критерием понимается конкретная мера оценки позволяющая давать верное суждение о сути происходящих явлений. Такое определение критерия объясняется двумя причинами. Во-первых, выбор критерия влияет на процесс создания модели и работу с ней. Во-вторых, неправильное определение критерия обычно ведет к неправильным заключениям. Функция критерия (целевая функция) является основой модели. Практически процесс исследования модели и решения задачи оптимизации полностью связан с исследованием целевой функции.

В зависимости от сложности поставленной задачи математическая модель может содержать несколько целевых функций, в этом случае говорят, что задача моделирования является многокритериальной.

## **10.2 Создание математических моделей – формализация**

Следует заметить, что реальные процессы, как правило, включающие в себя огромное число переменных, параметров, факторов, элементов, соотношений, ограничений и т. д. Соответственно и при построении модели, в нее можно включить бесконечное число переменных параметров и т.д., что значительно усложнит процесс поиска верного варианта решения.

При создании модели следует пренебречь частью реальных факторов, переменных, параметров и т.п. изучаемого объекта и выделить только те особенности, которые необходимы для описания идеализированного варианта реального объекта или процесса. При оценке процессов и объектов ОМД можно воспользоваться правилом Паретто справедливым для большинства технических систем. Правило Паретто заключается в том, что на интересующие исследователя характеристики системы оказывает существенное влияние лишь несколько из множества факторов. Как правило, 20% факторов определяют 80% интересующих свойств, в то время как оставшиеся 80% факторов определяют оставшиеся 20% свойств [7].

Таким образом, важной задачей моделирования является правильный выбор исследуемых факторов, поскольку именно правильное решение этой задачи позволяет значительно сэкономить силы и средства исследователей.

В большинстве случаев выбор исследуемых факторов осуществляется на основании уже накопленной информации, опыта и интуиции исследователя. Поэтому моделирование является творческим процессом, который может быть сравнен с искусством.

Любая модель является упрощением реального процесса. Если это упрощение выполнено правильно, то с помощью модели можно получить верные результаты.

Для того чтобы модель была “похожа” на объект необходимо, чтобы выполнялись следующие условия. Во-первых, должно существовать однозначное соответствие между элементами модели и элементами представляемого объекта. Во-вторых, должны быть сохранены точные соотношения или взаимодействия между элементами.

При разработке модели систему обычно разбивают на части, т.е. проводят анализ. Анализ необходим для выявления взаимодействия между объектами, участвующими в технологическом процессе.

При анализе очень часто приходится сталкиваться с другого рода упрощениями исследуемого объекта. Данное упрощение, как правило, связано с заменой сложного характера зависимости реального объекта на более простой закон, используемый при построении модели. Например, при моделировании процессов ОМД зависимость между напряжениями и деформациями кривой упрочнения часто заменяют на более простой линейный закон аппроксимации (рисунок 4). В этом случае известно, что зависимость между напряжениями и деформациями является нелинейной, однако если принятое допущение о линейном характере зависимости на взгляд исследователя оправдано (например, если исследование проводится на участке где линейная зависимость достаточно точно описывает кривую упрочнения см. рисунок 3), то мы можем принять данное допущение.

Еще одна сторона упрощения связана со сравнением порядка различных величин, фигурирующих в модели.

Например, изменение некоторой величины  $y$  с течением времени можно описать уравнением вида:

$$y=ax^2+bx+c,$$

где  $y$  – исследуемая величина,  $x$  – переменная, определяющая исследуемую величину,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметры уравнения.

В случае если  $a \ll b$  и  $a \ll c$ , а значение  $x < 1$  то множителем  $ax^2$  можно пренебречь и уравнение принимает более простой вид:

$$y=bx+c.$$

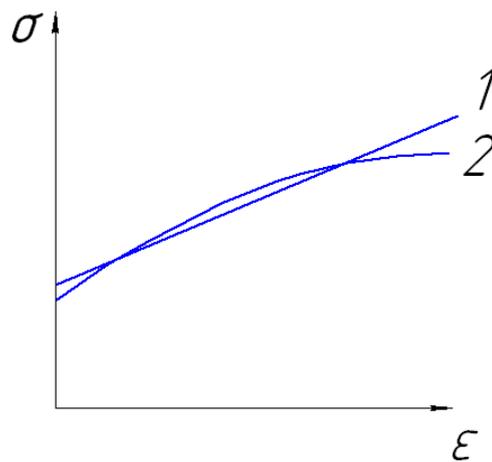


Рисунок 3 – Иллюстрация к замене кривой упрочнения линейным отрезком: 1 – степенная зависимость, 2 – линейная зависимость

После того как отдельные элементы системы были проанализированы и упрощены, очевидно, что необходимо осуществить задачу синтеза модели. Здесь надо учесть, что в ходе синтеза элементы должны быть собраны корректно, как с точки зрения характера взаимодействия, так и с точки зрения соединения объектов. Другими словами при передаче информации от одной части системы к другой передача должна осуществляться в одинаковом виде и в правильной последовательности. При этом не должно происходить потерь информации.

Например, на этапе анализа было выяснено, что кривую упрочнения можно разделить на два участка упругий и пластический и что каждый из участков можно заменить линейными зависимостями, с устраивающей исследователя точностью. Тогда на этапе синтеза необходимо объединить уравнения этих прямых в одну систему таким образом, чтобы полученная система полностью определяла исследуемую зависимость на исследуемом участке. Для этого необходимо найти точку пересечения этих прямых. Полученная в результате зависимость носит название билинейного закона.

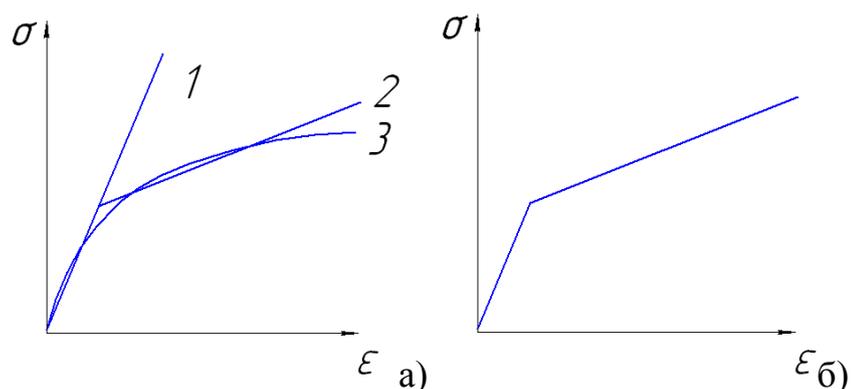


Рисунок 4 – Иллюстрация к задаче синтеза с кривой упрочнения 1: 2 – прямая, описывающая упругий участок, 3 – прямая, описывающая пластический участок

Следует заметить, что прямая описывающая пластические свойства может быть неограниченна справа по оси деформаций. Однако, с увеличением деформаций достоверность описания прямой пластического участка кривой упрочнения становится ниже, поэтому необходимо ввести критерий, позволяющий судить о возможности использования принятой модели. Для оценки соответствия модели и исследуемого объекта или процесса, существует понятие адекватности (достоверности).

Существует несколько аспектов проверки адекватности. Во-первых, сама модель должна быть непротиворечивой и подчиняться законам логики. Во-вторых, достоверность модели во многом зависит от способности правильно описывать исходную ситуацию, т.е. от тех исходных допущений, которые были приняты при создании модели.

При получении достоверного решения нужно помнить о том, что уточнение решения для модели, должно быть оправдано, прежде всего, самой постановкой задачи. В первую очередь это касается точности имеющихся данных. Если исходные данные известны с погрешностью 10% (большинство задач ОМД), то смысла искать решение с точностью 1%, нет. В этом случае можно сказать – “всякое уравнение длиной более двух дюймов, скорее всего, неверно!” [7].

При оценке достоверности необходимо помнить также и о затратах времени и ресурсов, связанных с получением более точного решения. Порой менее точное решение, полученное своевременно может дать больше выгоды.

В заключение еще раз следует сказать то, что математическая модель представляет собой упрощение реальной ситуации. “Ощутимое упрощение наступает тогда, когда несущественные особенности ситуации отбрасываются и исходная сложная задача сводится к идеализированной задаче, поддающейся математическому анализу” [5].

### **10.3 Аналитический и кибернетический подходы в моделировании**

Для построения математических моделей можно использовать два подхода: *гносеологический* (аналитический) и *кибернетический* (информационный) [8].

*Аналитический* подход позволяет получить математическое описание процесса на основе теоретического анализа физических процессов, происходящих в исследуемом объекте с учетом особенностей и характеристик обрабатываемого материала. Постановка эксперимента при использовании данного подхода осуществляется только для уточнения и проверки уже построенной модели [8].

Построенные на основании данного подхода модели являются наиболее полными и используются для анализа явлений, протекающих в объекте. После аппроксимации простыми зависимостями эти модели можно использовать в задачах оптимизации и автоматического управления.

*Кибернетический* подход – базируется, на изучении входных и выходных переменных кибернетической системы, которую называют “черным ящиком” (рисунок 5). “Черный ящик” представляет собой систему связей, недоступную для наблюдения, т.е. неизвестен характер связи входов  $X$  и выходов  $Y$  участвующих в процессе [9, 10,11,12, 7].

Данный подход дает математические модели, которые описывают поведение объекта, а не его физическую сущность. Модели, построенные на

основании данного подхода так же, используются для оптимизации и автоматического управления.

Рассмотрим пример использования гносеологического и кибернетического подходов. Допустим, что необходимо исследовать какое влияние на толщину фланца заготовки в ходе процесса вытяжки оказывает величина исходного диаметра заготовки. Напомним, что процесс вытяжки заключается в получении цилиндрической оболочки с дном из плоской заготовки рисунок 6.

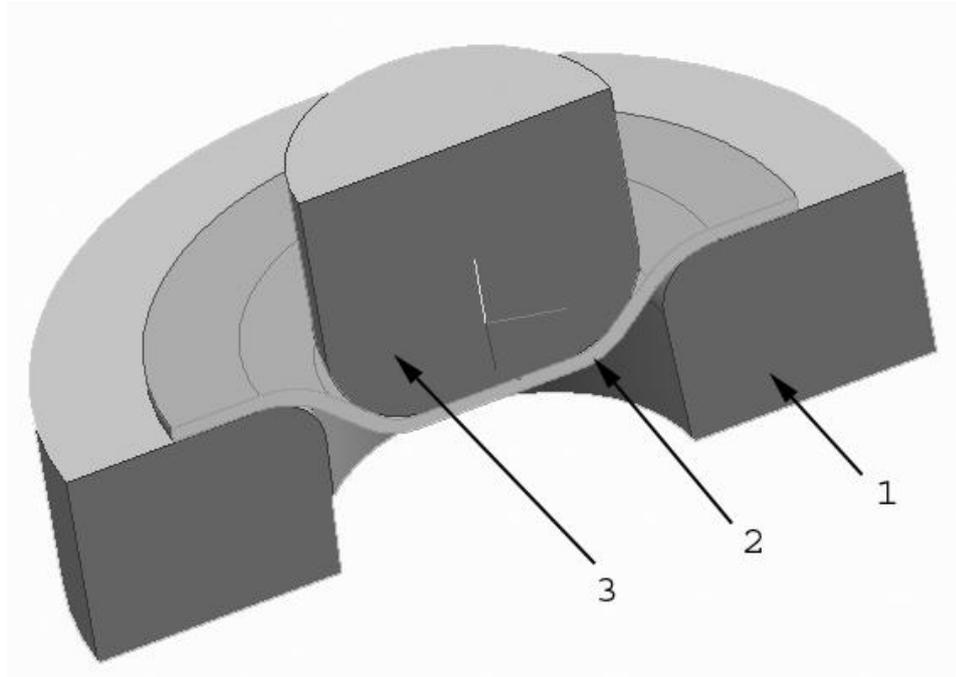
В соответствии с кибернетическим подходом необходимо провести серию экспериментов для получения исходных данных. Полученные из экспериментов данные математически обработать и выяснить, есть ли между исходным диаметром заготовки и толщиной фланца зависимость или нет. В случае, если зависимость наблюдается, необходимо провести дополнительное исследование полученной модели с тем, чтобы установить аналитическую зависимость влияния диаметра заготовки на толщину фланца. Аналитические зависимости строят в виде уравнения регрессии с заданной степенью надёжности и проверкой адекватности.



Рисунок 5 – Схема “черного ящика”: X – информация, поступающая на вход;

Y – информация, поступающая на выход.

В соответствии с аналитическим подходом необходимо провести теоретическое исследование процесса вытяжки. Для этого обратимся к теории листовой штамповки.



1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – пуансон; 4 - прижим

Рисунок 6 – Вытяжка цилиндрической детали из круглой плоской заготовки:

Согласно теории листовой штамповки надо воспользоваться уравнением связи напряжений и деформаций и условием постоянства объема, которые для листовой штамповки могут быть записаны в следующем виде [8,13]:

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_\theta} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_z}{\varepsilon_\theta - \varepsilon_z},$$

$$\varepsilon_r = -\varepsilon_\theta - \varepsilon_z,$$

где  $\sigma_r, \sigma_\theta$  - меридиональное и широтное напряжения;  $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta$  - деформации в соответствующих направлениях,  $\varepsilon_z$  - деформация по толщине.

Откуда:

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_\theta} = \frac{-\varepsilon_\theta - 2\varepsilon_z}{\varepsilon_\theta - \varepsilon_z} = \frac{\varepsilon_\theta + 2\varepsilon_z}{\varepsilon_\theta - \varepsilon_z}.$$

После преобразований получим:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_\Theta + \sigma_\rho}{2\sigma_\Theta - \sigma_\rho} \varepsilon_\Theta .$$

Считаем, что  $\varepsilon_z = \ln \frac{S}{S_0}$ , а  $\varepsilon_\Theta = \frac{\rho}{r}$  можно записать:

$$S = S_0 \left( f_r \right)^{\frac{\sigma_\rho + \sigma_\Theta}{\sigma_\rho - 2\sigma_\Theta}},$$

где  $S$ ,  $S_0$  – соответственно толщины до и после деформации рассматриваемого элемента с координатой  $\rho$ ,  $r$  – радиус рассматриваемого элемента до деформации. Поскольку при  $\rho = R_H$   $\sigma_\rho = 0$ , то для кромки деформируемой заготовки можно записать:

$$S = S_0 \sqrt{\frac{R_3}{R_H}},$$

где  $R_3$ ,  $R_H$  – радиусы заготовки и кромки в рассматриваемый момент деформации. Основываясь на этом соотношении, можно примерно оценить толщину фланца заготовки при вытяжке. В случае использования данного подхода моделирования решение было получено “на бумаге” и практически все затраты сводятся лишь к затратам времени на теоретическое исследование.

В данной работе в дальнейшем будет рассматриваться только гносеологический подход моделирования.

## ЛЕКЦИЯ 11. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАЛИТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В САПР

### 11.1 Основные допущения, используемые при создании математических моделей процессов ОМД

Использование гносеологического подхода позволяет получать математическое описание объекта, основываясь на анализе физических, химических и др. явлений, протекающих в исследуемом объекте.

Существенным недостатком аналитических моделей, как правило, является сложный характер взаимосвязи, участвующих при построении модели параметров, что создает неудобства при дальнейшем использовании полученной модели, например, в поиске оптимального значения исследуемых параметров, или в автоматическом управлении технологическим процессом.

Сложный характер явлений, возникающих при обработке металлов, требует упрощения сложных математических моделей.

Это возможно за счет аппроксимации (замены) аналитически полученной зависимости более простыми и удобными для использования зависимостями, которые и могут быть использованы для дальнейшего управления технологическим процессом или поиска оптимального значения. В этом случае точность используемой модели будет ниже, но сама модель будет более удобной для исследования или управления технологическим процессом.

В соответствии с данным подходом появляется возможность получать модели требуемой точности зависимой лишь от степени достоверности.

Задачи ОМД, решаемые наиболее часто с помощью моделирования можно разделить на 2 группы:

*Задачи теплообмена.* Решая эти задачи, осуществляется подбор различных режимов ОМД для различных по форме деталей из различных материалов, учитывать влияние термических напряжений на форму и свойства детали после предлагаемой обработки.

Задачи описания процессов, протекающих в *металле при его деформации*. Они позволяют осуществлять расчет технологических параметров

процессов ОМД, оценить качество возможного изделия, и оценить стойкость оснастки.

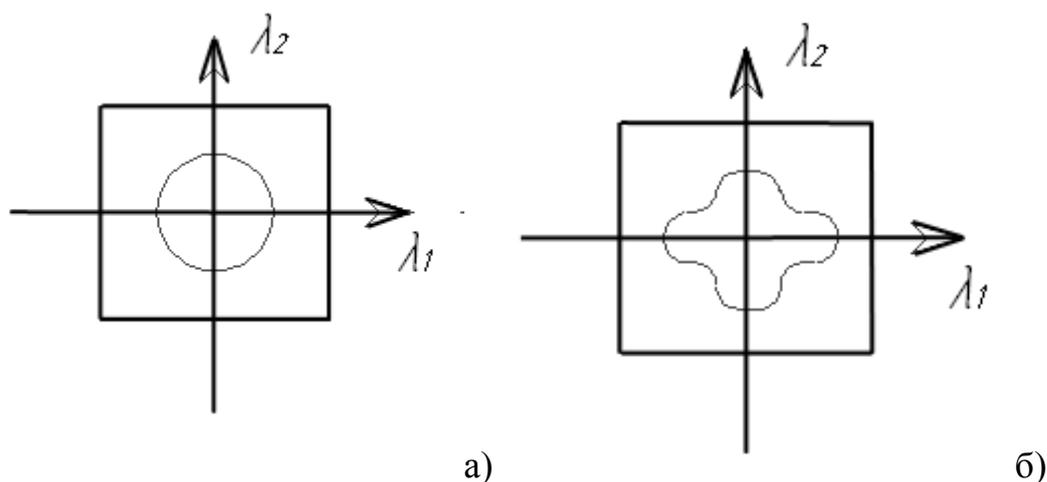
Рассмотрим первую группу задач. Как правило, задачи этой группы являются наиболее простыми с точки зрения моделирования, поскольку рассчитывают перенос тепла в твердом теле теплопроводностью [14]. Напомним, что в общем случае перенос тепла может осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвективным теплообменом и лучистым теплообменом.

В случае теплопроводности перенос тепла осуществляется между твердыми соприкасающимися частицами. Поэтому используемая в моделировании теория теплопроводности рассматривает исследуемое тело, как непрерывную среду – континуум. В этом случае не учитывается реальное молекулярное или атомное взаимодействие частиц реального тела. На самом деле как процессы, протекающие внутри тела, так и процессы, связанные с взаимодействием тел объясняются именно взаимодействием частиц на атомном и молекулярном уровнях [15].

Другое допущение связано с тем, что при моделировании задач теплопроводности могут использоваться изотропные и ортотропные модели. В *изотропной* модели свойства теплопроводности одинаковы во всех направлениях по всему телу, в то время как в *ортотропной* модели свойства различны в зависимости от направления (рисунок 7) [16]. Если выделить в теле элемент сплошной среды и считать, что оси координат совпадают с главными направлениями теплопроводности, то количество теплоты, проходящее через изотермическую площадку в единицу времени определяется величиной коэффициента теплопроводности в указанном направлении (рисунок 8) [15].

Задачи теплообмена, решаемые совместно с задачами пластического деформирования металла реализуются, например, в программе Deform.

Рассмотрим вторую группу задач. Задачи механики твердого тела являются наиболее сложными задачами инженерного анализа.



$\lambda_1$  - коэффициент теплопроводности в направлении 1

$\lambda_2$  - коэффициент теплопроводности в направлении 2

Рисунок 7 – Иллюстрация к свойствам теплопроводности: а – изотропное тело; б – ортотропное тело.

В данной группе задач помимо допущения о сплошности тела и однородности его свойств используется также допущение (гипотеза) о несжимаемости тела. Согласно данному допущению осуществляется пренебрежение упругим сжатием тела изменение его объема за счёт существующих дефектов структуры. Наиболее распространена запись этой гипотезы в виде условия постоянства объема, по которому изменение объема тела в трех взаимно перпендикулярных направлениях равна нулю.

Из курса теории обработки металлов давлением известно, что детали меняют форму под действием внешних сил. Действие внешних сил вызывает в теле внутренние усилия, значение и распределение которых зависит от геометрии тела и характера приложения нагрузки.

Рассмотрим тело, находящееся под действием внешних сил. Внешние силы вызывают в теле реактивные силы, которые противодействуют внешним силам. Если мысленно выделить внутри такого тела бесконечно малый элемент в виде прямоугольного параллелепипеда, то действие внутренних сил сопротивления на его гранях эквивалентно действию сил со стороны отброшенных внешних частей (рисунок 10) и противоположны по знаку.

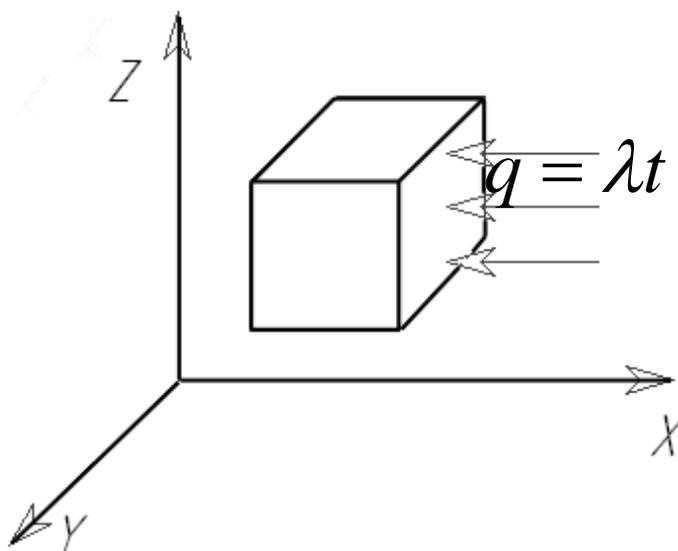
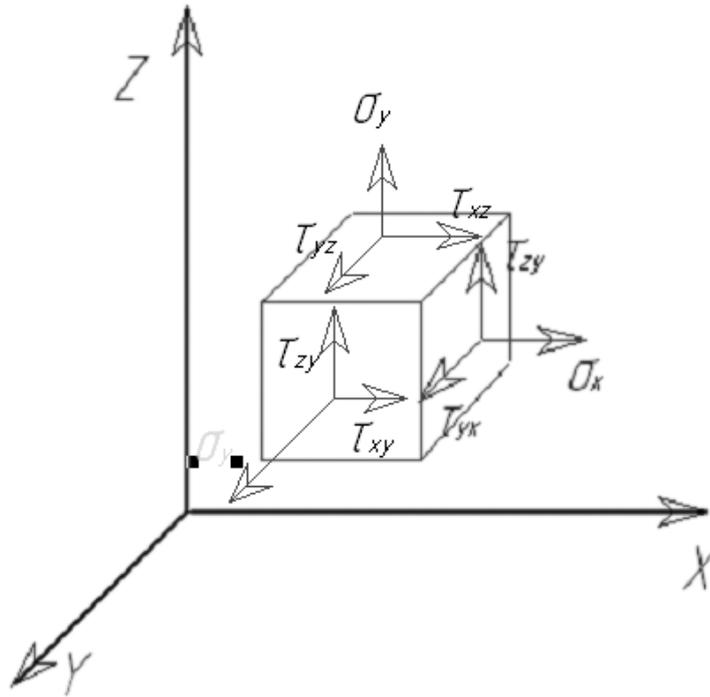


Рисунок 8 – Иллюстрация к описанию задачи теплопроводности

Здесь допущение принять на философском, мировоззренческом уровне. За бесконечно малый элемент принят самый малый объём, который сохраняет механические свойства основного металла. Другими словами остаётся вне рассмотрения свойства на атомном уровне.

В соответствии с теорией механики сплошных сред напряженное состояние тела в точке характеризуется с помощью тензора напряжений. Под тензором напряжений понимается совокупность в общем случае девяти напряжений, действующих на бесконечно малых площадках вокруг рассматриваемой элемента (рисунок 9).

Если рассматривать элементарный прямоугольный параллелепипед, находящийся в равновесии под действием внутренних сил, то его длина по отношению к исходному состоянию, когда усилие не было приложено, изменится. Это явление называется деформированием, а мера изменения размера – деформацией. Аналогично тензору напряжений деформированное состояние тела принято описывать с помощью тензора деформаций. Здесь деформации сдвига, имеющие в индексах одинаковые буквы, равны между собой, поэтому неизвестными являются только шесть компонентов деформаций.



$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  - главные напряжения,  $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}, \tau_{zx}, \tau_{xz}$  - касательные напряжения

Рисунок 9 – Напряженное состояние бесконечно малого элемента.

### 11.2 Вариационные методы решения задач ОМД

В ряде случаев задача интегрирования исходной системы дифференциальных уравнений может быть заменена на задачу поиска некоторого значения энергетического функционала. Методы, использующие данный математический подход, называются вариационными [17].

Наиболее широко используемый в настоящее время в программных продуктах метод конечных элементов (МКЭ) тоже является вариационным. Данный метод является одним из вариантов решения метода Ритца, который путем минимизации потенциальной энергии тела сводит задачу к системе линейных уравнений. Данный метод нашел применение не только для решения задачи механики сплошных сред, но и для описания многих других физических процессов.

Суть МКЭ заключается в том, что непрерывные величины можно заменить на модель, состоящую из отдельных участков (элементов). При этом на каждом из участков исследуемая непрерывная величина заменяется кусочно-линейной непрерывной функцией, построенной на значениях непрерывной исследуемой величины в конечном числе точек.

Распределение значений исследуемой величины внутри области и сама непрерывная величина, могут быть неизвестны. При построении дискретной модели мы предполагаем, что численные значения исследуемой величины в конкретных точках (узлах) на границах нам известны. После этого можно перейти к определению значений кусочно-непрерывной функции, за счет подбора значений в узловых точках так, чтобы выполнялось условие минимизации потенциальной энергии.

Таким образом, осуществляется следующая последовательность действий:

Область определения исследуемой величины разбивают на КЭ. Эти элементы связаны друг с другом с помощью узлов. Элементы в совокупности аппроксимируют (описывают) форму исследуемого тела.

Значение исследуемой непрерывной величины в каждом узле предстоит определить в зависимости от поставленных граничных условий.

Подбирая значения непрерывной исследуемой величины в узловых точках, определяют ее значения внутри рассматриваемой области (тела).

Аппроксимирующие функции подбираются таким образом, чтобы сохранить непрерывность исследуемой величины вдоль границ элемента. В виде аппроксимирующей функции могут выступать линейные, квадратичные и кубические полиномы, которые для данного элемента называются функцией элемента.

Рассмотрим в качестве примера расчет с помощью МКЭ осевого растяжения ступенчатого стержня [18]. Ступенчатый стержень жестко заделан с левого края и имеет сечения  $A_1$  и  $A_2$ , нагружен с правого торца

растягивающим усилием  $P$ . Требуется определить перемещение сечений 1, 2, 3 (рисунок 10).

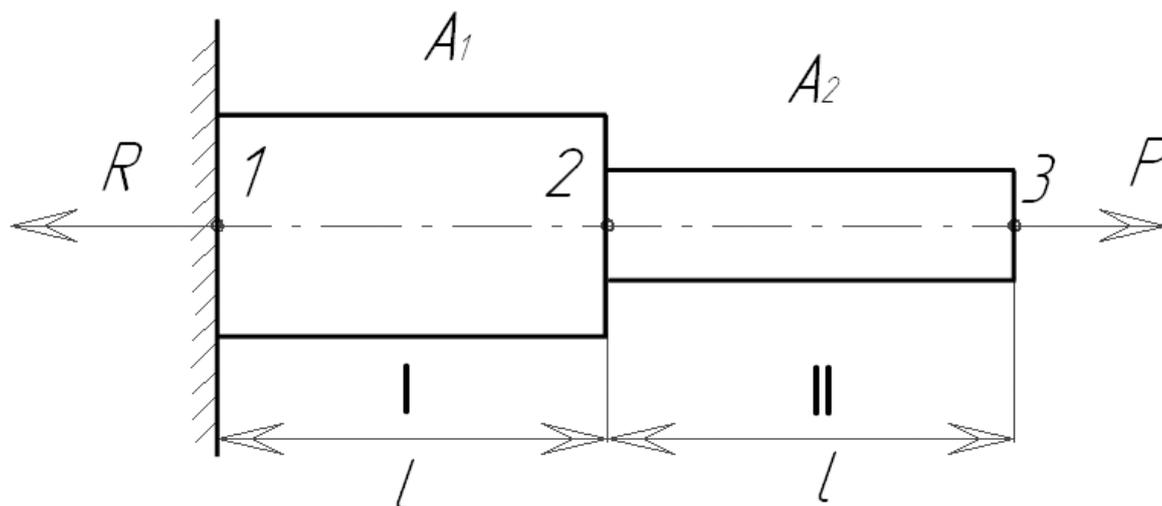


Рисунок 10 – Ступенчатый стержень

Разобьем стержень на два элемента (I, II) так, чтобы граница между элементами проходила в месте изменения перпендикулярного к длине сечения стержня. Введем на границах элементов узлы 1, 2, 3, в которых будем искать перемещения  $u$ . В результате такого упрощения мы будем решать задачу растяжения двух стержневых элементов, каждый из которых имеет длину  $l_1$  и  $l_2$ , площадь ( $A_1$  и  $A_2$ ) приложенное к узлам усилие ( $P_1$  и  $P_2$ ) и смещения ( $u_1, u_2$ ), которые появляются от действия этого усилия (рисунок 11).

Для любого из этих элементов согласно теории сопротивления материалов можно записать значения усилия действующего в узлах:

$$P_1 = \frac{E * A}{l} (u_1 - u_2);$$

$$P_2 = \frac{E * A}{l} (u_2 - u_1),$$

где  $E$  модуль упругости.

Для каждого элемента систему узловых усилий можно записать следующим образом:

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \frac{E \cdot A}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$$

или

$$\{F\} = [K] \{u\} \quad (1)$$

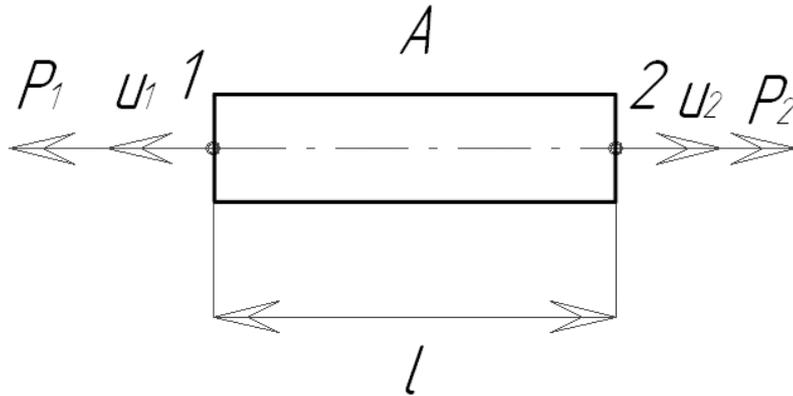


Рисунок 11 – Элемент стержня

Рассмотрим последнее уравнение более подробно. В нем  $\{F\}$  называется матричным вектором усилий,  $\{u\}$  – вектором перемещений или степеней свободы,  $[K]$  – матрицей жесткости.

Вернемся к ступенчатому стержню. Очевидно, что поскольку стержень состоит из нескольких элементов, то для решения задачи необходимо объединить соотношения для элементов 1 и 2 с учётом их положения в пространстве (или взаимодействия по узлам). Тогда можно записать  $\{F\} = [K]\{u\}$  или

$$\begin{Bmatrix} -R \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} = E \begin{Bmatrix} \frac{A_1}{l_1} & -\frac{A_1}{l_1} & 0 \\ -\frac{A_1}{l_1} & \frac{A_1}{l_1} + \frac{A_2}{l_2} & -\frac{A_2}{l_2} \\ 0 & -\frac{A_2}{l_2} & \frac{A_2}{l_2} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix},$$

где в векторе усилий  $\{F\}$  уже учтено то, что  $R$  является реакцией опоры приложенной в узле 1, а  $P$  является растягивающим усилием, приложенным в узле 3, а узел 2 свободен от нагрузок.

У нас осталось неиспользованное ограничение по перемещению ( $u_1=0$ ). Его можно использовать для упрощения решения системы, если заменить в матрице жесткости первую строку и первый столбец на нули а элемент матрицы, стоящий на главной диагонали заменить на единицу. Тогда уравнение примет вид:

$$E \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \left( \frac{A_1}{l_1} + \frac{A_2}{l_2} \right) & -\frac{A_2}{l_2} \\ 0 & -\frac{A_2}{l_2} & \frac{A_2}{l_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -R \\ 0 \\ P \end{Bmatrix}.$$

Решением этого уравнения являются следующие значения перемещений.

$$u_1=0, u_2=\frac{Pl_1}{EA_1}; u_3=\frac{P}{E} \left( \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} \right).$$

Пространственное положение каждого из элементов приведённой выше системы описывается с помощью числа степеней свободы  $\{u\}$  или вектором узловых перемещений. Обычно каждой степени свободы (узловому перемещению) соответствует сопрягаемые переменные усилия. Для расчета эти переменные усилия собираются в матричной вектор  $\{F\}$ . Произведение вектора сил  $\{F\}$  на вектор степеней свободы  $\{u\}$  является внешней энергией или работой совершаемой над телом внешними силами.

В приведенном примере одноосного растяжения стержня решение системы уравнений может быть получено просто и в явном виде. В случае моделирования более сложных тел приходится, задаваясь значениями перемещений, искать решение так, чтобы выполнялось условие минимизации энергии. В ходе такого решения значениями перемещений приходится задаваться неоднократно, поэтому МКЭ носит название вариационного метода.

Рассмотренный нами пример позволяет определить напряжено-деформированное состояние тела на основании варьирования перемещений. В действительности термин МКЭ определяет более широкий набор

математических способов расчета, среди которых в зависимости от того, какой величиной варьируют можно выделить следующие способы расчета:

- в перемещениях (минимум потенциальной энергии Лагранжа) – варьируются перемещения;
- в напряжениях (минимум дополнительной работы Кастильо) – варьируются напряжения;
- смешанные (принцип Райснера) – варьируются перемещения и напряжения;
- гибридные (принцип Ху-Вашицу) – варьируются перемещения, напряжения и деформации.

Наиболее часто используется принцип Лагранжа.

В зависимости от области науки, в которой используются МКЭ, смысл векторов  $\{u\}$  и  $\{F\}$  может измениться (таблица 2).

Таблица 2 – Физический смысл векторов  $\{u\}$  и  $\{F\}$

Область приложения	Вектор состояния $\{u\}$	Вектор $\{F\}$
Механика твердых тел	Перемещение	Механическое усилие
Теплопроводность	Теплопроводность	Тепловой поток
Потенциальное течение	Давление	Скорость частицы
Общий вид течения	Скорость	Поток
Электростатика	Электрический потенциал	Плотность заряда
Магнитостатика	Магнитный потенциал	Интенсивность магнитного поля

## ЛЕКЦИЯ 12. CAD/CAM-СИСТЕМЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА (ТПП)

В дословном переводе термин **CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing)** означает компьютерное проектирование и изготовление. Что же конкретно стоит здесь за понятиями «проектирование» и «изготовление»?

Под компьютерным проектированием в общем случае понимается разработка конструкторского проекта изделия на основе трехмерного геометрического моделирования деталей и сборочных единиц, с последующим автоматизированным формированием комплекта чертежно-конструкторской документации. Система, выполняющая компьютерное проектирование, называется CAD-системой.

Если CAD-система при проектировании решает только задачу автоматизации получения комплекта чертежно-конструкторской документации, то ее относят к классу 2D (то есть «плоских») систем. CAD-система, в которой проектирование выполняется на основе трехмерных моделей, относится к классу 3D (то есть «объемных») систем. Ниже, говоря о CAD-системах, мы будем иметь в виду 3D-системы.

Под компьютерным изготовлением понимается автоматизированное формирование, на основе имеющейся геометрической модели изделия, управляющих программ для изготовления деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Система, решающая данную задачу, называется CAM-системой. Некоторые CAM-системы имеют ограниченные средства для моделирования, но обычно модели деталей, на основании которых строится процесс обработки, «принимаются» из CAD-системы через согласованные интерфейсы.

CAD/CAM-системой называется система, которая обеспечивает интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Объединение этих, достаточно различных классов задач в рамках одной системы обусловлено тем, что их решение базируется на

использовании единой трехмерной геометрической модели изделия. Общность модели позволяет избежать всех проблем, связанных с передачей данных из одной системы в другую, обеспечивает интегрированное решение проектных задач. Построение пространственной геометрической модели проектируемого изделия является центральной задачей компьютерного проектирования. Именно эта модель используется в CAD/CAM-системе для дальнейшего решения задач формирования чертежно-конструкторской документации, проектирования средств технологического оснащения, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ (рисунок 1). Кроме того, эта модель передается в CAE-системы и используется там для проведения инженерных исследований. По компьютерной модели, с помощью методов и средств быстрого прототипирования, может быть получен физический образец изделия.

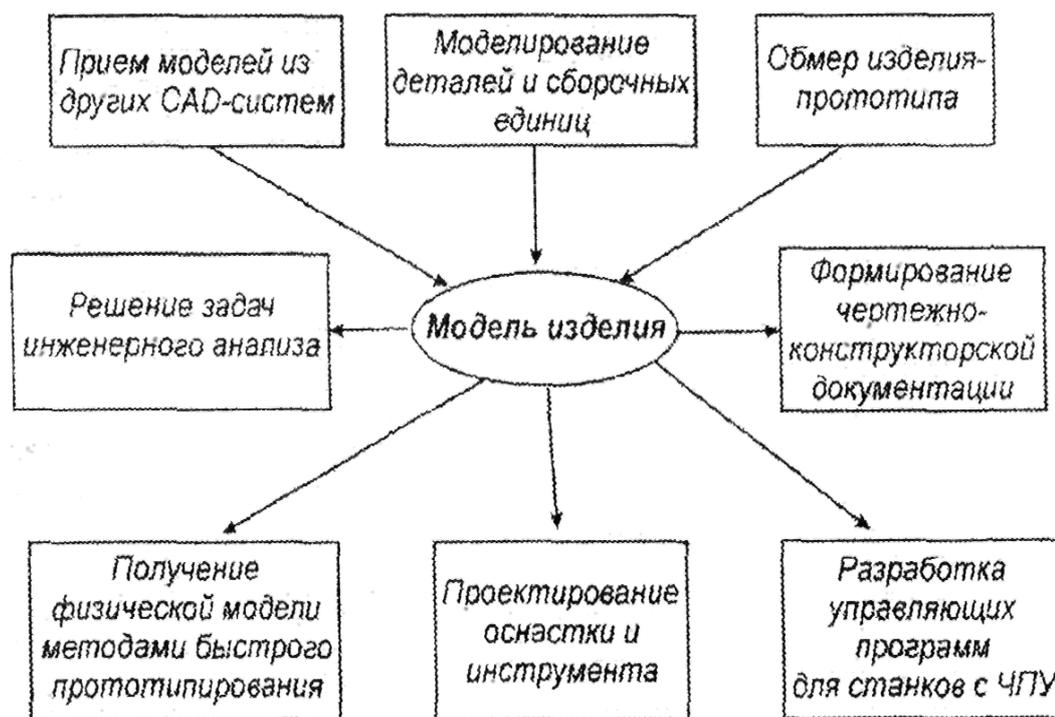


Рисунок 1 - Роль компьютерной модели изделия

Мышление конструктора, применяющего 3D-моделирование, отличается от мышления конструктора, работающего только с чертежами. Эти отличия состоят в следующем:

1. Мысленные «образы чертежей» заменяются «образами моделей», что раскрепощает пространственное мышление и способствует более

- быстрому принятию решений;
2. Свобода в создании сложных геометрических форм и понимание того, что эти формы могут быть легко реализованы «в металле» с помощью интегрированных технологий, стимулируют творчество, повышают интерес к работе;
  3. Используя при проектировании созданную ранее модель похожего изделия (изделия-аналога), конструктор может иногда в десятки раз сократить общее время работы над проектом. Этот фактор способствует упорядочению информации о выполненных разработках, приводит к большей систематизации мышления.

Важно также, что при 3D-проектировании резко уменьшается число ошибок в проекте. Это происходит по следующим причинам:

- Конструктор может наглядно видеть результат своей работы уже в процессе проектирования;
- Виды чертежа формируются на основании модели автоматически и поэтому исключаются ситуации, когда информация в одном виде не соответствует другому;
- При проектировании сборочных единиц имеется возможность проверять собираемость и выявлять ошибки на уровне моделей.

Создаваемая конструктором геометрическая модель хранится в памяти компьютера как некоторое математическое описание и отображается на экране в виде пространственного объекта. Объект может отображаться в различном представлении: каркасном, с удалением невидимых линий, полупрозрачном и полутоновом (рисунки 2,3,4).

a)

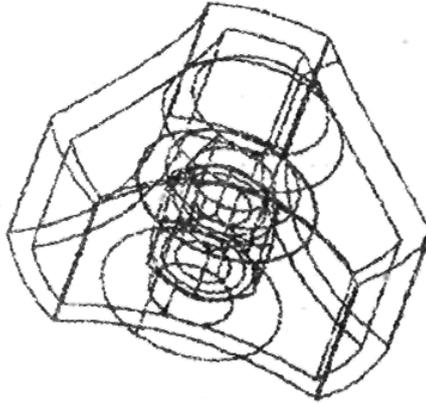


Рисунок 2 - Каркасное представление объекта

б)

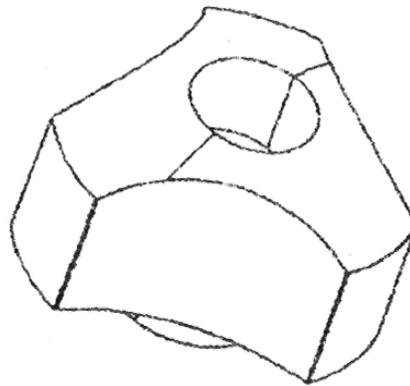


Рисунок 3 - Представление объекта с удалением невидимых линий

в)

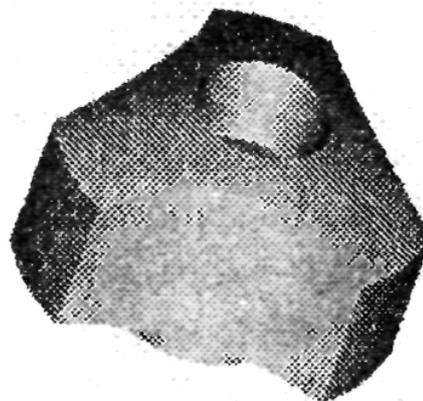


Рисунок 4 - Полутоновое представление объекта

Различают поверхностное (каркасно-поверхностное), твердотельное и гибридное моделирование.

При *поверхностном* моделировании сначала строится каркас - пространственная конструкция, состоящая из отрезков прямых, дуг, окружностей и сплайнов. Каркас играет вспомогательную роль и служит основой для последующего построения поверхностей, которые «натягиваются» на элементы каркаса.

В зависимости от способа построения, различают следующие виды поверхностей: линейчатые; вращения; кинематические; галтельного сопряжения; проходящие через продольные и поперечные сечения, поверхности для «затягивания окон» между тремя и более смежными поверхностями; NURBS-поверхности, определяемые заданием контрольных точек продольных и поперечных сечений; планарные поверхности.

Хотя поверхности и определяют границы тела, но самого понятия «тело» в режиме поверхностного моделирования не существует, даже если поверхности ограничивают замкнутый объем. Это наиболее важное отличие поверхностного моделирования от твердотельного.

Другая особенность состоит в том, что элементы каркасно-поверхностной модели никак не связаны друг с другом. Изменение одного из элементов не влечет за собой автоматического изменения других. Это дает большую свободу при моделировании, но одновременно значительно усложняет работу с моделью.

*Твердотельное моделирование* имеет в своей основе идеологию, которая существенно отличается от идеологии каркасно-поверхностного моделирования. Твердотельная модель представляет собой целостный объект, занимающий замкнутую часть пространства. Всегда можно точно сказать, находится ли точка внутри твердого тела, на его поверхности или вне тела. При изменении в модели любого элемента будут изменяться все другие элементы, которые связаны с ним. В результате изменится форма твердого тела, но сохранится его целостность.

Элементами, из которых строится твердое тело, могут быть: элементы вытягивания (полученные вытягиванием плоского контура перпендикулярно

его плоскости); элементы вращения (полученные вращением плоского контура вокруг заданной оси); фаски; скругления; оболочки; ребра жесткости и др. Твердотельный объект строится путем последовательного «добавления» или «вычитания» элементов. Так, если к уже имеющейся твердотельной модели «добавить» элемент вытягивания, то этот элемент образует на модели выступ, а при «вычитании» элемента на модели образуется углубление. Если при построениях доступны одновременно несколько твердотельных объектов, то над любыми двумя твердотельными объектами, пересекающимися в пространстве, можно выполнять булевы операции объединения, вычитания и пересечения.

Твердотельное моделирование предполагает возможность установки параметрических зависимостей между элементами твердого тела или нескольких тел. При этом изменение одного из параметров (например, длины элемента) приводит к соответствующей перестройке всех параметрически связанных элементов. Такое моделирование, называемое параметрическим, дает конструктору дополнительные удобства. Так, можно установить параметрические зависимости между элементами твердотельной сборки и, тем самым, автоматизировать контроль собираемости изделия.

При *гибридном* моделировании обеспечивается возможность одновременной работы с твердотельными объектами и с поверхностями. При этом можно «отрезать» поверхностью часть твердого тела, превращать замкнутый поверхностями объем в твердое тело и т.п. Гибридное моделирование позволяет сочетать все удобства твердотельного моделирования с возможностью построения объектов сколь угодно сложной геометрической формы.

В различных CAD/CAM-системах могут быть реализованы как некоторые из перечисленных типов моделирования, так и все из них.

Созданные модели могут передаваться из одной CAD/CAM-системы в другую через специальные интерфейсы - согласованные форматы данных для обмена информацией.

Существует ряд так называемых стандартных интерфейсов. Они имеют формат символьных (ASCII) файлов, где описание геометрических и других характеристик модели выполняется в соответствии с принятым стандартом. На практике каждый формат имеет свои приоритетные области применения. Так, стандартный формат DXF используется в основном для передачи чертежно-графической информации, формат IGES - для передачи геометрии поверхностных моделей; формат STL - для передачи модели, аппроксимированной плоскими элементами, из CAD-системы в САМ-систему, САЕ-систему или в установку для быстрого прототипирования изделий.

В последнее время все более важное значение приобретает стандартный формат STEP, в котором, наряду с описанием геометрии модели, предусматривается описание других характеристик изделия. Существуют различные протоколы стандарта STEP, определяющие полноту состава передаваемой информации об изделии.

В ряде случаев CAD/САМ-системы могут «понимать» внутренние форматы друг друга, используемые для представления моделей. В этом случае говорят о наличии прямых интерфейсов между системами.

Одним из практических примеров использования интерфейсов является передача конструкторским бюро информации о спроектированном изделии (в электронном виде) на завод-изготовитель, в случае, когда конструкторское бюро и завод применяют в своей работе разные CAD/САМ-системы.

Сегодня в мире предлагается большое число различных САД-, САМ-и САД/САМ-систем, отличающихся по функциональной мощности, области применения, степени сложности освоения системы пользователем, стоимости. Из наиболее распространенных в мире САД-, САМ- и САД/САМ-систем, в России хорошо известны **Catia, Unigraphics, Pro/Engineer, Cimatron, PowerShape/PowerMill, SolidWorks, AutoCAD**. Значительных успехов достигли также отечественные разработки -системы Компас, Т-Flex, Спрут и др. Некоторые системы находят наибольшее применение в сфере проектирования сложных изделий, некоторые чаще используются в сфере

подготовки производства. В частности, в сфере ТПП широкое распространение получила CAD/CAM-система Cimatron (разработка компании Cimatron Ltd.).

Система **Cimatron E** обеспечивает решение следующих проектных задач ТПП:

- Управление данными о проектируемых объектах на основе использования базы данных, обеспечение коллективной работы пользователей с помощью встроенной системы PDM;
- Проектирование деталей и сборочных единиц с использованием методов поверхностного, твердотельного и гибридного моделирования, включая применение булевых операций для замкнутых и открытых объектов;
- Интеграция с другими системами на основе стандартных интерфейсов (форматы **DXF, IGES, STEP, VDA, SAT, STL**) и прямых интерфейсов (**Catia, Unigraphics, Pro/Engineer, Cimatron it, AutoCad**);
- Быстрое создание моделей формообразующих деталей оснастки без необходимости предварительной доработки («лечения») исходной модели изделия независимо от того, в какой CAD-системе она разработана, графическая визуализация уклонов и поднутрений;
- Проектирование формообразующей оснастки (пресс-форм) с использованием баз нормализованных деталей (плит, колонок, толкателей и др.). Перечень и параметры нормализованных деталей устанавливаются одним из принятых стандартов - HASCO, DME, EOC и др. Допускается также использование собственных библиотек деталей;
- Проектирование электродов для выполнения операций прожига при изготовлении формообразующих элементов оснастки (прожиг выполняется на электроэрозионных станках), автоматическое получение для этих операций полного комплекта производственной документации;
- Автоматическое выявление инженерных изменений в геометрии моделей, получаемых из любых CAD-систем, и отслеживание этих изменений на всех этапах работ, выполненных в Cimatron E — во всех моделях, документах и программах ЧПУ;

- Автоматическое создание видов и сечений чертежа для открытых и закрытых геометрических объектов, при полной ассоциативности чертежа и модели. Развитые и удобные средства оформления чертежей, поддержка ЕСКД и других чертежных стандартов;
- Формирование управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ. Широкий спектр процедур чернового, получистового и чистового фрезерования, использование как обычной (2,5- и 3-координатной), так и многокоординатной обработки. Оптимизация траектории движения инструмента, создание и использование типовых технологических решений (темплейтов), поддержка высокоскоростной резки, реалистичная имитация и контроль качества обработки.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности системы при проектировании изделий, на рисунке 5 представлена модель сетевого фильтра, созданная в системе Cimatron, а на рисунке 6 - сгенерированный в Cimatron чертеж крышки корпуса этого сетевого фильтра. Вопросы использования системы Cimatron при проектировании средств технологического оснащения и программировании обработки на станках с ЧПУ будут рассмотрены более подробно в дальнейших темах.

Возвращаясь к проблеме выбора CAD/CAM-систем, отметим возможность принятия следующих решений:

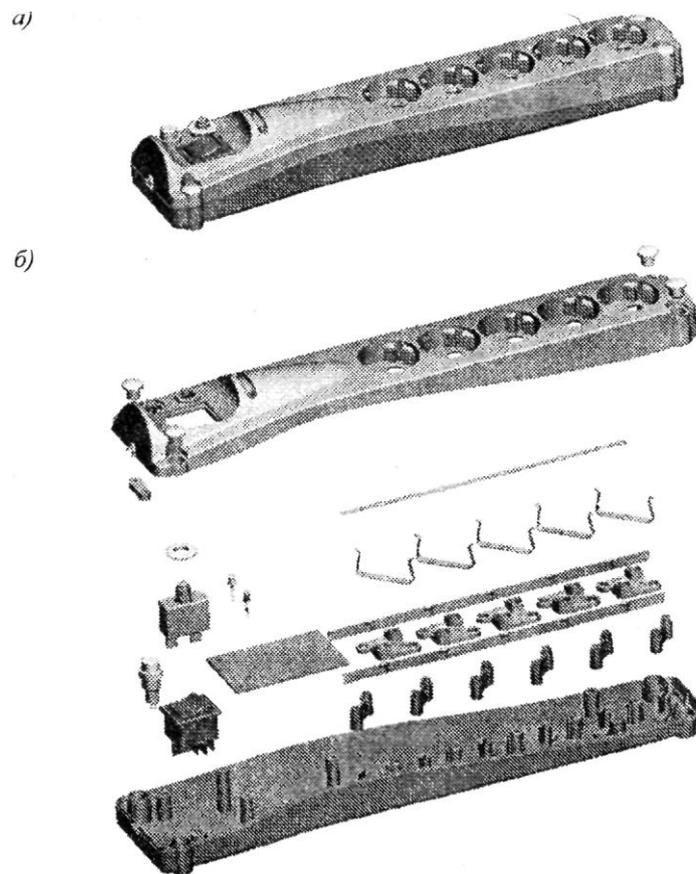
- Использование единой интегрированной CAD/CAM-системы для решения задач проектирования и подготовки производства. В этом случае достигается наибольший уровень унификации, устраняется проблема интерфейсов, быстрее повышается общее качество работ. Однако, приобретение необходимого числа автоматизированных рабочих мест для проектирования может потребовать существенных затрат, так как стоимость интегрированных CAD/CAM-систем относительно высока;
- Использование в конструкторских подразделениях двухуровневых комплексов: 3D CAD-системы для построения объемных моделей и 2D или 3D CAD-системы для автоматизации чертежных работ. В этом случае

можно снизить затраты за счет оснащения большого числа рабочих мест относительно дешевыми системами для автоматизации чертежных работ;

- Приобретение САД- и САМ-систем у разных поставщиков (в этом случае системы обычно имеют прямые интерфейсы). Это решение также позволяет снизить общие затраты и одновременно обеспечить требуемую функциональность рабочих мест.

Выбор того или иного решения зависит от многих факторов: требуемого числа автоматизированных рабочих мест, распределения функций между ними, планируемой организации работ в АСТПП, финансовых ограничений и др.

Анализ ситуации и опыт работы автора по разработке проектов автоматизации служб ТПП на базе САД/САМ-систем позволяет предложить следующую последовательность этапов выбора:



*Рис. 5. Модель сетевого фильтра, построенная в системе Cimatron:  
а – собранный вид; б – вид “разобранной сборки”*

1. Определение цели автоматизации и критериев выбора. Например, в качестве критерия выбора может быть задан уровень автоматизации решаемых задач.
2. Проведение анализа работы подразделения, подлежащего автоматизации, разработка его модели, например, с использованием методологии функционального моделирования IDEFO (об этой методологии говорится в следующих темах).
3. Укрупненный анализ CAD/CAM-систем. Вначале рекомендуется провести анализ с общих позиций. Далее проводится анализ по группам основных характеристик: организационно-экономическим, функциональным, адаптивным, интеграционным. Результатом этого этапа является выбор 2-3 систем для проведения опытно-промышленной эксплуатации (тестирования).
4. Обучение в специализированных учебных центрах группы специалистов, выделенных для тестирования (1-2 недели).

5. Опытнo-промышленная эксплуатация с учетом реальных производственных примеров, предложенных специалистами предприятия (4-6 недель).
6. Подведение итогов тестирования, подготовка отчета, конфигурирование рабочих мест, разработка предложений для принятия решения.
7. Углубленный анализ технико-коммерческих предложений поставщика, принятие решения.

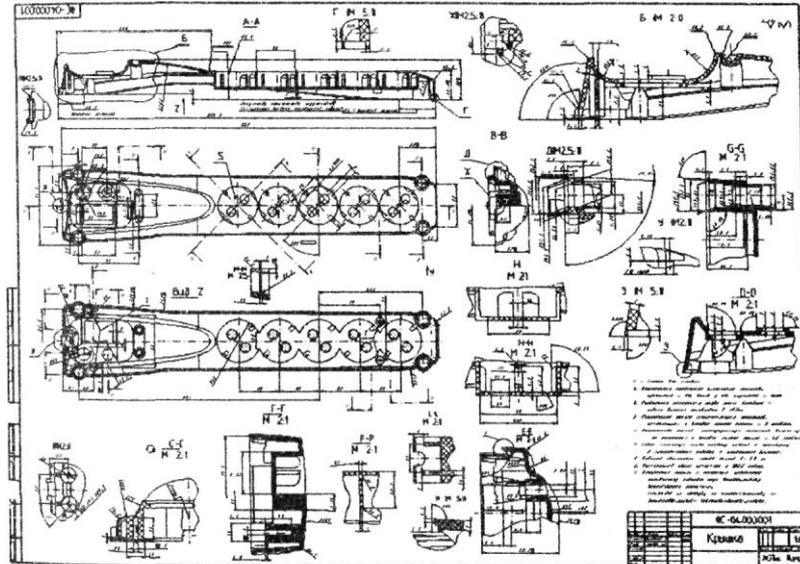


Рис. 6. Чертеж крышки корпуса сетевого фильтра, полученный в системе Cimatron

## ЛЕКЦИЯ 13. САЕ-СИСТЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Термин САЕ (**Computer Aided Engineering**) можно перевести как «компьютеризация инженерных исследований» или «компьютеризация инженерного анализа». Инженерные исследования являются неотъемлемой частью процесса конструкторского проектирования, если понимать проектирование в широком смысле этого слова. Однако, в отличие от САД-систем, решающих геометрические задачи, САЕ-системы моделируют *физические процессы поведения* проектируемого объекта - например, поведение изделия при различных механических нагрузках, ударах, различных температурных режимах и др. В результате исследований оптимизируются соответствующие прочностные или тепловые характеристики, повышается ресурс и долговечность объекта.

Исследоваться могут не только проектируемые изделия или детали, но и проектируемые технологические процессы - например, процесс горячей штамповки, гибки, прокатки или литья из пластмасс. Оптимизация параметров технологического процесса приводит к улучшению качества и повышению долговечности изготавливаемого изделия, уменьшению его материалоемкости. Кроме того, при исследовании технологического процесса вырабатываются рекомендации, способствующие улучшению характеристик соответствующей оснастки.

На рисунке 7 приведена общая схема совместного использования САД- и САЕ-систем применительно к задаче проектирования средств технологического оснащения. Разрабатываемые в САД-системе конструкторские решения подвергаются исследованиям с помощью САЕ-системы. По результатам исследований выполняются соответствующие изменения конструкции или параметров проектируемой оснастки. При необходимости выполняются повторные исследования и т. д., до получения оптимального (или просто приемлемого) результата.

Математической основой инженерных исследований являются методы

нелинейного конечно-элементного анализа (**FEA - Finite Element Analysis**)

FEA - это чрезвычайно мощное средство, которое дает инженеру возможность моделировать структурное поведение объекта, выполнять изменения и наблюдать результаты этих изменений.

Метод конечных элементов работает на основе расщепления геометрии объекта на большое число (тысячи или десятки тысяч) элементов (например, параллелепипедов). Эти элементы образуют ячейки сети с узлами в точках соединений. Поведение каждого малого элемента стандартной формы быстро рассчитывается на основе математических уравнений. Суммирование поведения отдельных элементов дает ожидаемое поведение объекта в целом. По существу, FEA является численным методом решения инженерных задач, таких как анализ напряжений, теплопередача, электромагнитные явления и течение жидкостей.

В зависимости от того, отвечает ли исследуемая модель требованию линейности, используется линейный или нелинейный конечноэлементный анализ. В отличие от линейного FEA, где решение достигается в одном шаге, нелинейный FEA представляет собой итерационную процедуру, которая может потребовать сотен и даже тысяч шагов. Существует три основных типа нелинейностей:

- Материальные — пластичность, ползучесть, вязкоупругость материала;
- Геометрические - большие деформации или растяжения, резкие изгибы;
- Граничные - контакты с другими объектами, трение, дополнительные силы.



Рис. 7. Роль САЕ-систем в проектировании средств технологического оснащения (СТО)

В практических ситуациях чаще всего имеют место нелинейные модели, требующие применения нелинейного конечноэлементного анализа.

Теоретически нет ограничений на приложения с использованием FEA. Методы FEA впервые были применены в аэрокосмической и автомобильной промышленности, но затем распространились практически на все другие отрасли. Сегодня любой проектируемый объект может быть подвергнут моделированию с использованием технологий FEA.

Первые системы для автоматизации задач инженерного анализа появились более 30 лет назад. Одна из таких широко известных в мире систем - это система **MSC.Nastran** (разработка компании MSC Software). Сегодня MSC.Nastran обеспечивает решение самого широкого спектра инженерно-конструкторских задач, включая расчет напряженно-деформированного состояния, частот и форм собственных колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и переходных процессов и т.д.

В подготовке производства, как мы уже отмечали, важным также является компьютерное моделирование технологических процессов. Для этих целей компания MSC.Software предлагает ряд специальных САЕ-систем, к которым относятся системы MSC.SuperForge, MSC.SuperForm, MSC.Marc и др.

Так, система **MSC.SuperForge** является быстрым и простым в использовании средством для анализа производственных процессов горячей штамповки иковки. При анализе система учитывает подробные характеристики материала заготовки, параметры прессы, наличие трения и температурных эффектов, фактор упругости материала, возможность скольжения заготовки при ее укладке (ручной или автоматической) и др. Использование **MSC.SuperForge** позволяет сократить цеховые испытания путем оптимизации технологических процессов на основе экономичной и быстрой компьютерной имитации. В результате улучшается качество изделия, уменьшается время ТПП.

Другая система, **MSC.SuperForm** обеспечивает моделирование широкого спектра производственных процессов объемного формования, включая горячую и холодную штамповку, экструзионное прессование, осевую и кольцевую прокатку, вырубку заготовок из листа, прокатку слитков, гибку толстых листов и резание. Система выполняет анализ процесса формования (определяет степень заполнения зоны формообразования, предсказывает появление складок и других дефектов, рассчитывает температуры и остаточные напряжения), проводит анализ поведения материала (определяет зернистость и локальные упрочнения, предсказывает разрушения), рассчитывает нагрузки на инструмент, определяет его износ и ресурс.

Результаты компьютерного моделирования могут быть представлены как в виде таблиц и графиков, так и в виде реалистичных изображений положений и состояний объектов в разные моменты времени и при различных условиях (нагрузках, температурных режимах и др.) Например, объемная модель детали «раскрашивается» разными цветами, в соответствии с текущими значениями температур в каждой точке детали.

В качестве примера, на рисунке 8 показаны результаты компьютерного моделирования процесса горячей штамповки в системе **MSC.Superforge**. Здесь моделируется изменение состояния заготовки при штамповке детали «соединительный рычаг». В данном примере из одной заготовки

изготавливаются сразу две детали, а процесс горячей штамповки выполняется в два этапа (за два перехода).

Отметим еще одну группу CAE-систем, разработанных другой компанией - Moldflow, которые широко используются для анализа процессов литья изделий из пластмасс. К ним относятся системы **Moldflow Part Adviser** и **Moldflow Mold Adviser**.

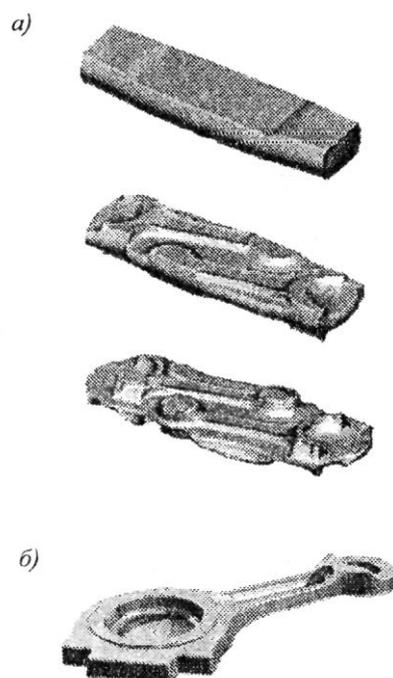
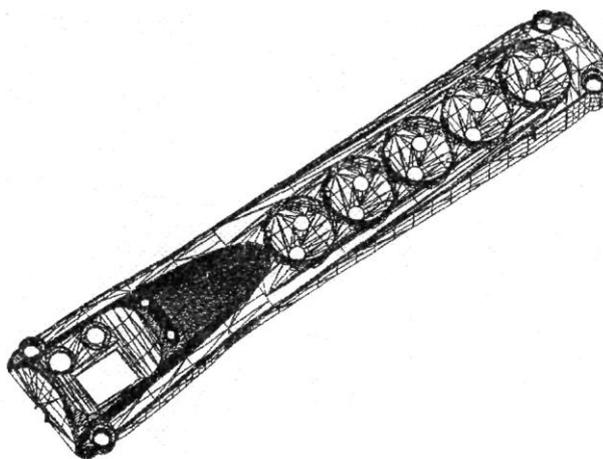


Рис. 8. Компьютерное моделирование процесса горячей штамповки в CAE MSC.Superforge: а - изменение состояния заготовки в переходах; б - готовая деталь

**Moldflow Part Adviser** дает возможность анализа процесса литья термопластов на основе модели изделия, без учета литниковой системы. Модель принимается из CAD-системы и должна иметь поверхностную сетку в формате STL (рисунок 9) Система содержит стандартный банк данных материалов (около 400 марок). Имеется возможность подключения дополнительного банка данных материалов, выпускаемых в России и СНГ (более 200 марок). Системой решаются следующие задачи: оптимизация толщин стенок изделия; выбор мест впуска материала, анализ проливаемости изделия и диагностика недолива; определение положения линий спая и воздушных ловушек; выбор и замена материала (по технологическим параметрам); оценка технологического режима впрыска материала.



*Рис. 9. Модель корпуса сетевого фильтра, построенная в CAD/CAM Citatron и переданная в Moldflow Part Adviser в формате STL*

**Mold flow Mold Adviser** включает в себя Moldflow Part Adviser и дает возможность анализа процесса литья термопластов на основе модели изделия с учетом литниковой системы. При этом модель изделия принимается из CAD-системы, а модель литниковой системы достраивается в Moldflow Mold Adviser. Кроме задач, перечисленных выше для Moldflow Part Adviser, в Moldflow Mold Adviser решаются следующие дополнительные задачи: оптимизация литниковой системы; расчет распорного усилия; оценка времени цикла изготовления, оптимизация технологического режима впрыска материала; выбор и замена термопласт автомата.

Имеется еще ряд CAE-систем (модулей) Moldflow, которые обеспечивают решение таких задач, как: анализ и оптимизация системы охлаждения пресс-формы; анализ усадки материала и коробления изделия; анализ ориентации волокнистого наполнителя; оптимизация технологического процесса литья; анализ поведения изготовленного изделия при эксплуатации.

Технологические процессы литья изделий из металлов имеют свою специфику. Здесь в качестве примеров CAE-систем, успешно используемых для компьютерного моделирования, можно отметить системы **ProCAST** и **Полигон**. Они обеспечивают решение таких задач анализа процессов литья изделий из металлов, как: моделирование процессов затвердевания; моделирование образования усадочных раковин и макропористости; моделирование образования микропористости; моделирование развития

деформаций для прогноза кристаллизационных трещин; формирование любых критериев качества и соответствующие расчеты для прогноза структуры, механических свойств.

Необходимые для предприятия инженерные исследования на базе САЕ-систем могут быть либо выполнены силами собственных специалистов, либо «заказаны» в специальных сервисных центрах фирм-поставщиков или у фирм, которые выполняют подобные работы. Если объем исследований на предприятии ограничен, то использование сторонних услуг для компьютеризации решения инженерных задач (на определенном этапе развития АСТПП) является оправданным. Это позволит снять вопросы с подготовкой соответствующих специалистов и снизить затраты на приобретение программно-технических средств АСТПП.

## **ЛЕКЦИЯ14. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ**

Как и проектирование ТП механообработки, проектирование различных видов средств технологического оснащения (СТО) было одной из первых задач, которые решались в АСТПП. Однако, при этом в основном рассматривались задачи проектирования объектов, имеющих типизированные геометрические характеристики. Эти объекты можно описать с помощью их отнесения к одной из предусмотренных в системе групп (внутренней классификации) и задания набора геометрических и технологических параметров. К таким объектам можно отнести режущий и мерительный инструмент, унифицированные станочные приспособления, вырубные штампы и др.

Автоматизация проектирования различных видов СТО на базе универсальных методов пространственного геометрического моделирования и инженерного анализа стала возможной только с появлением CAD/CAM- и CAE-систем. Возможности таких систем рассматривались ранее.

Универсальные средства 3D-моделирования деталей и сборочных единиц, а также средства формирования чертежно-конструкторской документации не являются единственным инструментом в CAD-системах. CAD-система может содержать специализированные приложения, обеспечивающие более высокий уровень автоматизации при проектировании отдельных видов СТО. Кроме того, CAD-система обычно имеет специальный программный интерфейс для разработки пользовательских приложений. С его помощью можно разработать дополнительные средства автоматизации проектирования тех видов СТО, которые наиболее характерны для данного предприятия.

Как базовые, так и пользовательские приложения CAD-системы могут опираться в своей работе на использование библиотек с моделями типовых объектов (например, стандартных элементов пресс-форм или элементов унифицированных станочных приспособлений).

Важным дополнительным средством автоматизации является использование предыдущих проектов (проектов-аналогов). Так, если конструктор уже разрабатывал «похожий» мерительный инструмент, он может решить задачу проектирования нового мерительного инструмента путем компьютерного редактирования предыдущего проекта. При этом общее время проектирования может быть сокращено в несколько, или даже в десятки, раз. При интегрированном решении задач проектирования и технологической подготовки производства, источником геометрической информации для конструктора СТО становится модель изделия, для которого разрабатываются данные СТО. При этом могут использоваться как отдельные размеры изделия (например, при проектировании зажимного приспособления), так и геометрия его поверхностей (при проектировании штампов и пресс-форм). Общая схема проектирования СТО в CAD-системе приведена на рисунок 10.

Рассмотрим более подробно решение задач проектирования формообразующей оснастки и инструмента с применением CAD/CAM Simatron. При решении этих задач используются как универсальные средства системы, так и ее специализированные приложения.

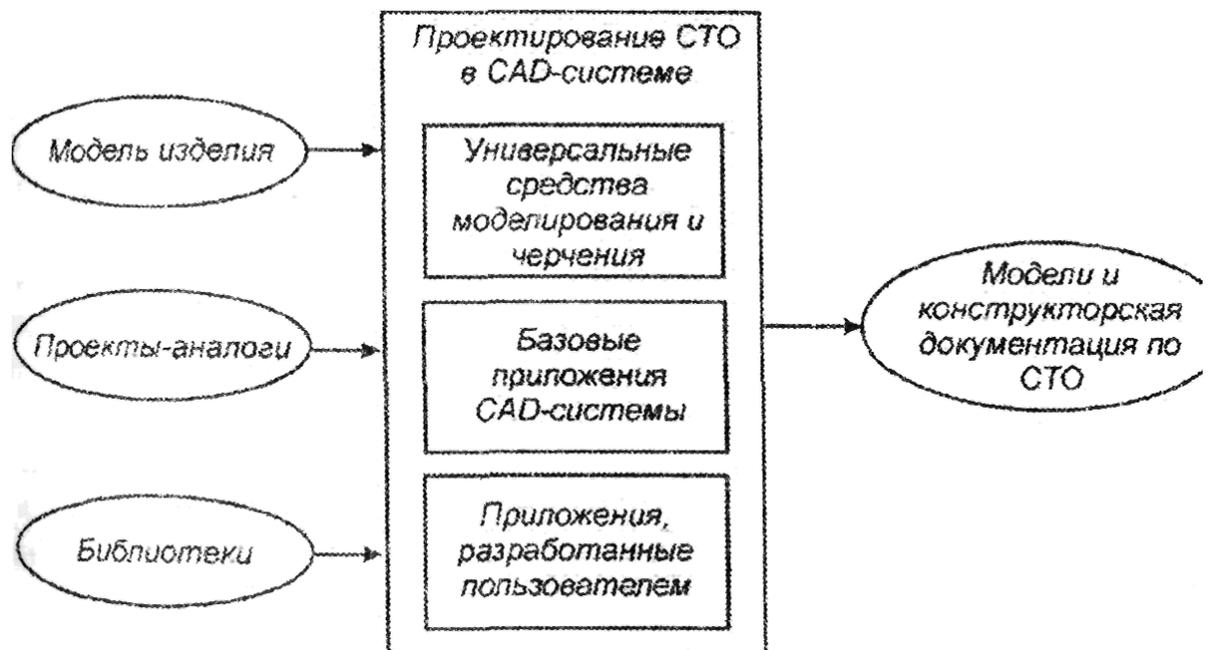


Рисунок 10 - Схема проектирования СТО в CAD- системе

Исходные данные для проектирования поступают в виде 3D-моделей

изделий (деталей). Если модель была создана в другой САD-системе, то она принимается через один из имеющихся интерфейсов. При работе с импортированными данными нет необходимости выполнять операции по затяжке возможных щелей между поверхностями модели. Их наличие не влияет ни на качество проектируемых объектов, ни на скорость проектирования, что является одним из преимуществ Cimatron. Затем обычно производятся операции по отработке конструкций на технологичность. В большинстве случаев, при этом может понадобиться выполнение операций по геометрическому моделированию. Уже отмечалось, что для этого Cimatron предлагает полностью гибридную рабочую среду, единую для работы с каркасными элементами, поверхностями твердотельными объектами. При этом пользователю предоставляются такие возможности, как создание сложных параметрических поверхностей со скоростью твердотельной технологии, выполнение булевых операций над открытыми и замкнутыми объектами, создание уклонов, добавление галтелей, скругление углов и др.

На рисунке 11 представлена модель пластмассового корпуса изделия, имеющего достаточно сложную геометрическую конфигурацию. Эту модель и работа ней будет рассматриваться здесь в качестве примера.

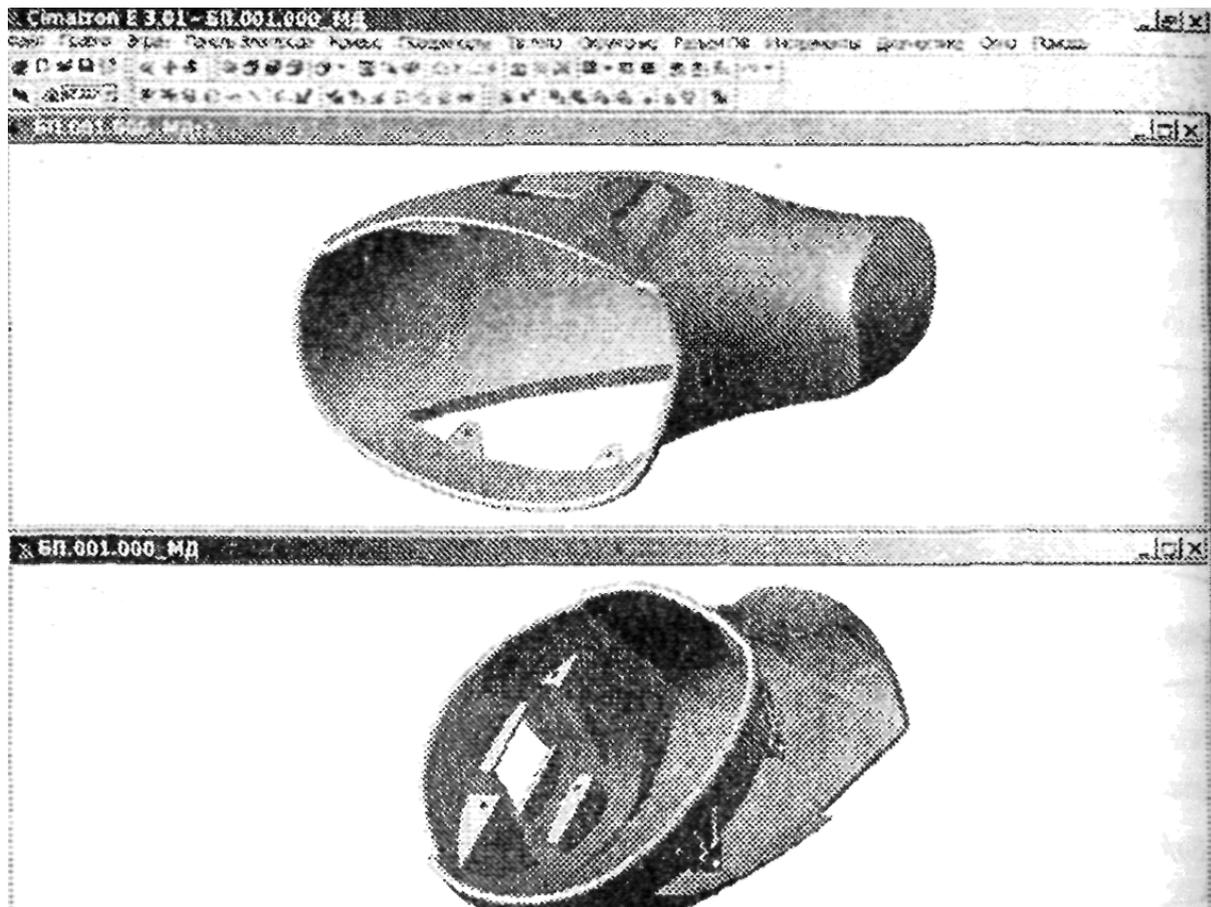


Рисунок 11 - Модель корпуса изделия сложной формы

После завершения работы с моделью изделия, с помощью приложения **QuickSplit** создаются модели формообразующих элементов оснастки. Первое действие при этом - учет усадки материала детали. Усадка задается вводом коэффициентов масштабирования детали по осям произвольной системы координат и пересчитывается в значение объемной усадки.

Затем выполняется разделение модели на наборы формообразующих поверхностей. Для этого конструктор задает сначала главное направление разреза, а после этого - все остальные направления до тех пор, пока «неразделенных» поверхностей не останется (после разделения они меняют цвет и положение на экране).

Направления разреза задаются различными способами: касательно к линии, по нормали к линии или плоскости, вдоль прямой или оси произвольной системы координат, по углу к заданной плоскости, по двум точкам или вдоль оси цилиндра или конуса. При этом определяется, к какому формообразующему набору, соответствующему главному направлению

разъема (пуансону или матрице), должны относиться вертикальные поверхности. При необходимости, поверхности переносятся из одного набора в другой, указывается поверхность, а затем - набор, к которому ее нужно перенести. Перенос поверхностей может понадобиться, например, если все вертикальные поверхности должны относиться к матрице, но вертикальные поверхности какого-либо выреза на модели, с точки зрения технологичности изготовления, должны быть размещены на пуансоне. После разделения модели, с помощью специального «движка» на экране, производится динамическая визуализация перемещения наборов формообразующих поверхностей вдоль заданных направлений разъема.

Когда модель разделена, можно выполнить операцию анализа углов уклона поверхностей модели, что позволит выявить вертикальные зоны или поднутрения. Анализ производится одновременно для каждого формообразующего набора, относительно соответствующего направления разъема. В результате на модели создается цветовая карта углов уклона - каждому интервалу значений углов соответствует свой цвет. Значения углов и соответствующих им цветов задаются пользователем.

Команда построения наружных и внутренних линий разъема работает в автоматическом или интерактивном режиме. Поверхности разъема также могут быть созданы автоматически. При интерактивном их построении разрешается использовать любые операции Cimatron по созданию поверхностей. Поверхности разъема ассоциативно связаны с линией разъема - любое изменение линии разъема приводит к соответствующему изменению поверхности, что очень удобно при работе со сложными деталями, когда прорабатывается несколько вариантов.

Далее определяется заготовка формообразующего блока и выполняется ее разделение по формообразующим поверхностям. При этом создаются соответствующие объекты - формообразующие детали (рисунок 12).

Следующим этапом является проектирование конструкции пресс-формы (рисунок 13). Эту задачу можно решать двумя способами: стандартными

средствами моделирования деталей и сборочных единиц, или с использованием специализированного приложения **Mold Design**.

Работая в Mold Design, конструктор оснастки может использовать не только стандартные каталоги деталей пресс-форм (такие как **DME**, **EOS**, **FUTABA**, **HASCO** и др.), но также создавать, вести и использовать свои собственные нормали. Система обеспечивает проектирование многоместной и шиберной оснастки, поддерживает не только 3D-модели стандартных деталей и сборок, но и ведет по ним всю совокупность информации, чертежи, спецификации и управляющие программы. Пользователю предлагаются как средства для создания 3D-модели пресс-формы, так и специальные средства для проектирования ее подсистем - впрыска выталкивания, охлаждения и нагрева. В системе имеются также средства анализа проектируемой оснастки, которые позволяют:

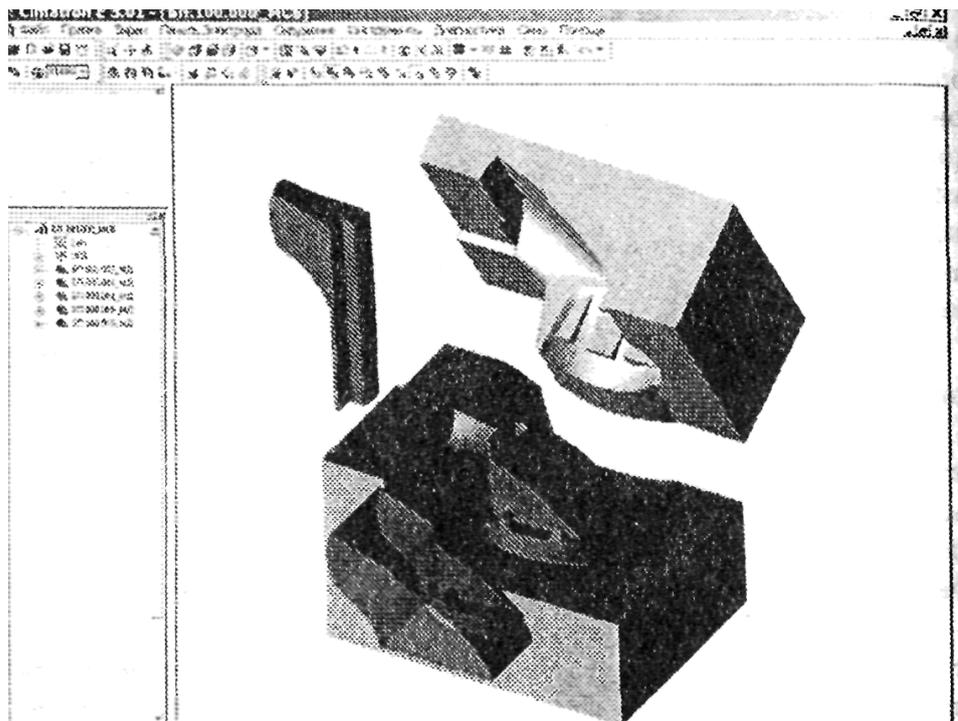


Рисунок 12 - Модель формообразующих деталей оснастки

- анализировать «наложения» деталей и их столкновения;
- выполнять контроль минимальных толщин стенок (расстояний до каналов системы охлаждения) деталей пресс-формы;
- определять эффективность системы охлаждения;

- выполнять реалистичную визуализацию работы пресс-формы;
- передавать данные в САЕ-систему для проведения анализа процесса литья изделия.

При работе с Mold Design чертежи (проекционные виды и размеры, обозначения позиций на сборочном чертеже и резьб, таблицы отверстий и координатное образмеривание, удобные для станочников-универсалов), спецификации и управляющие программы для обработки плит пресс-формы создаются автоматически, поскольку системой ведется вся необходимая информация. Вместе с тем, при необходимости, пользователь может в любой момент внести коррективы в выходные документы.

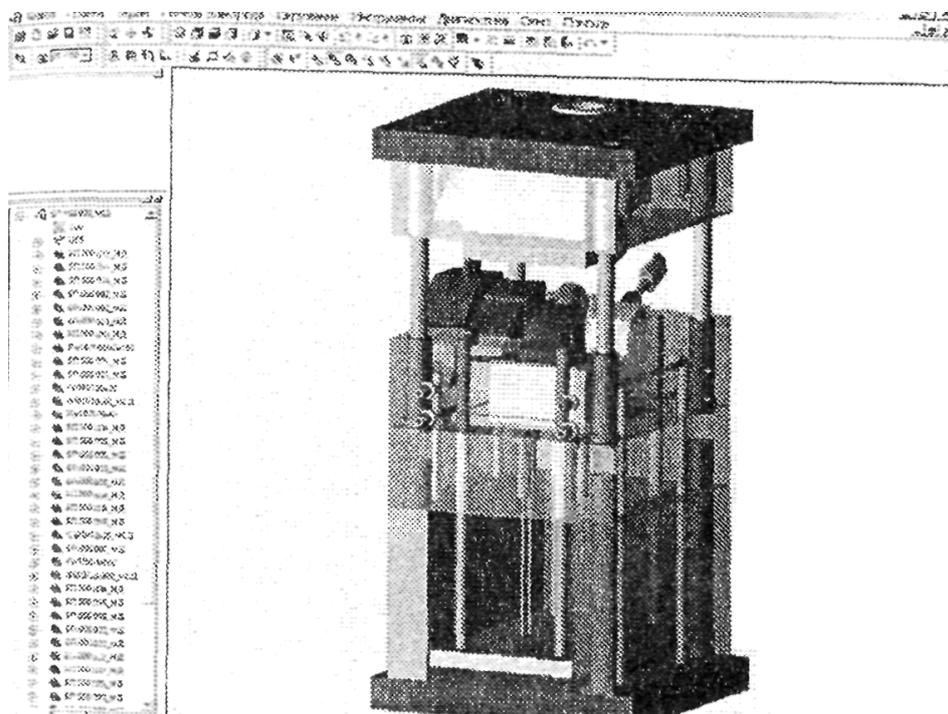


Рисунок13 - Модель пресс-формы

При изготовлении формообразующих элементов оснастки часто используется электроэрозионная обработка прожигом. Для этого необходимо предварительно спроектировать и изготовить специальные электроды, которые своей рабочей частью «прожигают» заданные участки формообразующих поверхностей. Геометрия рабочей части каждого электрода идентична геометрии прожигаемого электродом участка. Электроды изготавливаются из хорошо проводящих ток материалов - меди или графита. При контакте

электрода с заготовкой, материал заготовки в местах контакта подвергается эрозии под воздействием тока и вымывается жидким диэлектриком. Контакт продолжается до тех пор, пока прожигаемый участок заготовки не примет форму рабочей части электрода. Электрод классифицируется как формообразующий инструмент, который в силу его применения для изготовления оснастки (а не деталей основного производства), называют «инструментом второго порядка».

Прожиг применяется там, где обработка фрезерованием затруднена (например, глубокий паз на поверхности) или где обработка прожигом, по тем или иным причинам, является предпочтительной по сравнению с фрезерованием. В частности, при решении альтернативы «прожиг или фрезерование» в пользу прожига, важную роль играет наличие на предприятии современного электроэрозионного оборудования и такой уровень его текущей загрузки, который позволяет выполнить работу в плановый срок. Проектирование электродов в Cimatron выполняется с помощью приложения **QuickElectrode**. Сначала пользователь определяет профиль электрода в плане (прямоугольный или круглый) и зону прожига. Одним из вариантов задания зоны прожига является указание поверхностей модели, которые надо обработать. После этого система может совместить геометрические центры зоны прожига и электрода, показать минимальные возможные размеры электрода. Другим вариантом определения зоны прожига является задание габаритов электрода после чего при динамическом перемещении полученного контура по модели детали система подсвечивает поверхности, которые могут быть таким электродом обработаны. Этот вариант особенно удобен, когда известны размеры заготовок электродов, находящихся на складе, на заготовительном участке или закупаемых у стороннего производителя, и они внесены в базу данных. После выполнения этих действий создаются контуры, определяющие габариты заготовки электрода, и формообразующие поверхности электрода.

Далее возможны два варианта работы: с использованием или без

использования шаблона проектирования. Если шаблон не используется, то последовательно выполняются следующие действия определяется система координат прожига, автоматически создаются поверхности хвостовика электрода, задаются правила для автоматического создания «переходных» поверхностей (поверхности между основанием электрода и его формообразующими поверхностями). Ни одна из поверхностей электрода пользователем не строится в традиционном понимании этого слова. Правилами для автоматического создания, например, переходных поверхностей являются такие, как: «строить касательно к построенным поверхностям», «вдоль заданного направления», «по двум направлениям», «создать поверхность замыкания».

Если используется шаблон проектирования, следует задать только зону прожига и применить шаблон. Все остальные построения будут произведены полностью автоматически. В качестве шаблона проектирования может быть использован любой ранее спроектированный в Simatрон электрод. Этот режим проектирования очень производителен, так как на большинстве предприятий параметры прошивной электроэрозии (вид заготовок электродов, схемы базирования, конфигурации электродов т.п.) и виды обрабатываемых зон прожига унифицированы.

После создания моделей электродов можно выполнить команду полностью автоматического создания необходимых чертежей. При этом в чертеже создаются не отдельные проекционные виды, а сразу все необходимые виды с размерами, оформленной и заполненной основной надписью чертежа, таблицами заданных при проектировании параметров. Для каждого электрода автоматически создается и карта наладки станка (рисунок 14).

Автоматическое формирование производственной документации обеспечивается за счет возможности предварительной настройки как параметров электроэрозионной обработки, так и каждого из создаваемых документов. Параметрами являются число переходов при прожиге (черновая, получистовая, чистовая, финишная обработка) и параметры каждого перехода

- искровой зазор, вид и значение осцилляции, маска для автоматического формирования имен электродов и имен формируемых документов. Для документов указываются формат основной надписи, состав проекционных видов, места размещения технологических таблиц и другие параметры.

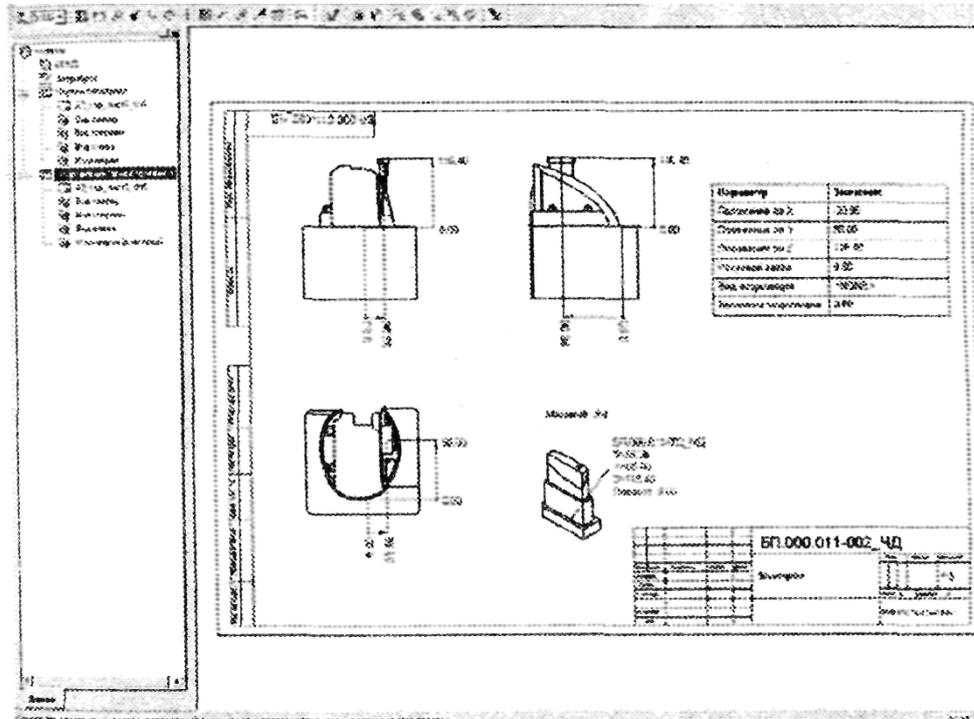


Рисунок 14 - Карта наладки электроэрозионного станка

Таким образом, при проектировании СТО (формообразующей оснастки инструмента) в системе Сimatron используются как универсальные САД-средства, так и специализированные приложения, обеспечивающие высокую степень автоматизации процессов проектирования. При этом важно то, что в случае внесения изменений в исходную модель детали конструктору не нужно повторно выполнять этапы проектирования СТО - система Сimatron автоматически проводит соответствующие изменения по всем этапам процесса проектирования.

## **Лекция 15. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ**

Ручное составление управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ возможно только для сравнительно простых видов обработки -токарной, 2,5-координатной (плоской) фрезерной и электроэрозионной. Ручное программирование пространственной (3-координатной) фрезерной обработки является чрезвычайно трудоемким, а ручное составление программ 4- или 5-координатной обработки практически невозможно.

До появления средств компьютерной графики задача автоматизации разработки УП решалась с помощью так называемых САП (Систем Автоматизации Программирования). В этих системах геометрия детали описывалась с помощью специального языка или таблиц, после чего рассчитывалась траектория движения инструмента и выполнялось формирование УП для заданной модели станка с ЧПУ.

Сегодня для автоматизации разработки УП используются САМ- или САД/САМ-системы. Рассмотрим (на примере фрезерной обработки), какие средства для автоматизации предоставляет САД/САМ Cimatron.

Модели обрабатываемых деталей могут быть либо построены в системе Cimatron, либо приняты через один из имеющихся интерфейсов. При программировании обработки деталей система обеспечивает решение следующих задач:

- Выбор схем фрезерования (стратегий обработки) и задание параметров выбранных стратегий;
- Задание и выбор режущего инструмента;
- Выбор обрабатываемых и ограничивающих поверхностей на модели изделия (детали);

- Задание технологических режимов обработки;
- Формирование траектории движения инструмента с учетом стратегии обработки, выбранных поверхностей, режущего инструмента, автоматического контроля зарезаний и оптимизации траектории инструмента с учетом текущего состояния заготовки (рисунок 15);
- Автоматическое отслеживание изменений, вносимых в модель обрабатываемого изделия.
- Использование типовых технологических решений (темплейтов) для формирования траектории движения инструмента;
- Оперативное редактирование траектории при изменении задания на обработку, без внесения изменений в геометрию модели и повторного расчета траектории;

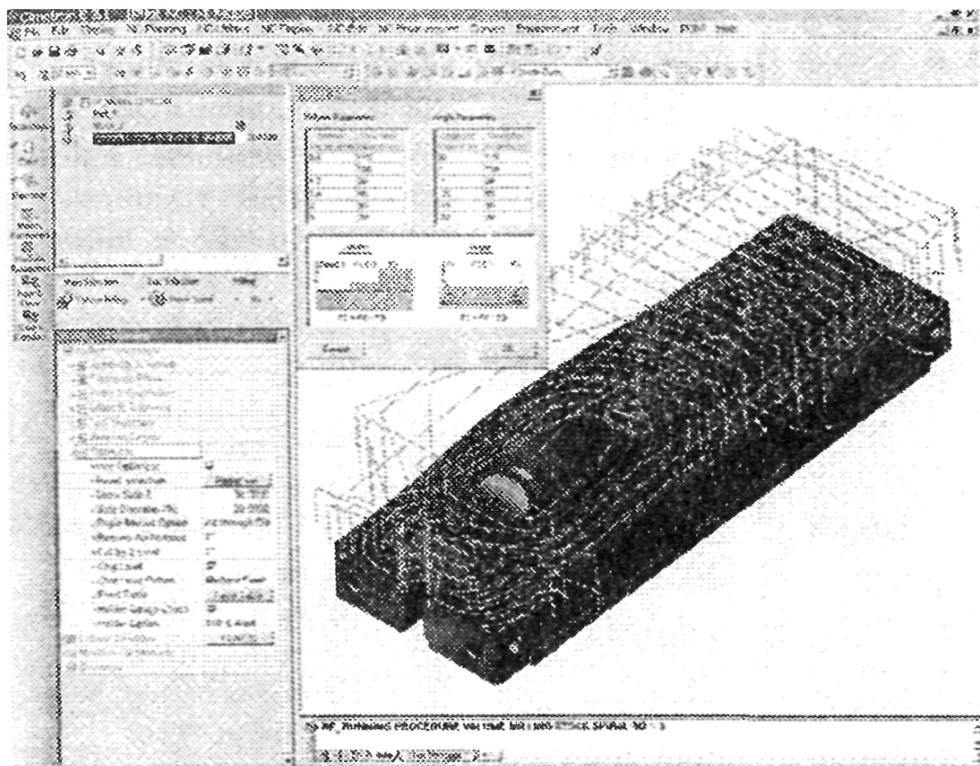


Рисунок 15 - Формирование траектории движения инструмента в системе Cimatron

- Поддержку алгоритмов высокоскоростной резки (HSC);

- Реалистичную визуализацию процесса обработки изделия (детали) на станке;
- Автоматическое сравнение модели обработанной детали с конструкторской моделью и контроль результатов обработки путем «раскрашивания» поверхности детали различными цветами, в зависимости от величины оставшегося припуска или величины зарезания;
- Реалистичную визуализацию перемещений исполнительных органов станка при обработке детали, с одновременным контролем столкновений инструмента и державки с приспособлениями и узлами станка;
- Формирование управляющей программы для конкретного станка с ЧПУ с помощью соответствующего постпроцессора;
- Автоматизированную разработку постпроцессоров для любых моделей станков с ЧПУ с применением генератора постпроцессоров IMSpост.

Сначала, при создании траектории движения инструмента, пользователь должен установить тип траектории, который определяет число используемых координат станка (2,5-, 3-, 4- или 5-координатная обработка). Далее устанавливается последовательность *стратегий обработки* -например, сначала послойная черновая обработка, потом получистовая обработка поверхности, потом чистовое фрезерование контура.

В приводимой таблице указан перечень применяемых в Simatрон стратегий обработки, а ниже дается их краткое описание. Как видно из таблицы, для выбора стратегии следует указать: класс стратегии (Главный выбор), подкласс стратегии (Дополнительный выбор) и число используемых в данной стратегии координат станка (Размерность). После этого пользователю становятся доступными параметры, уточняющие характеристики обработки для выбранной

стратегии.

Стратегии фрезерования

Таблица

Главный выбор	Дополнительный выбор	Размерность	Стратегия фрезерования
Volume Milling	Parallel	2D	Pocketing / Parallel
		3D	Waterline Cutting / Parallel
	Spiral	2D	Pocketing / Spiral
		3D	Waterline Cutting / Spiral
	Stock Spiral	2D	Pocketing / Stock
		3D	Waterline Cutting / Stock
Zcut Parallel	3D	Zcut / Parallel	
Zcut Radial	3D	Zcut / Radial	
Contour Milling	Pocket	2D	Finish Pocketing
		3D	Finish Surface Pocketing
	Profile	2D	Profile
		3D	Surface Profile
Surface Milling	Parallel	3D	Surface Pocketing / Parallel
	Spiral	3D	Surface Pocketing / Spiral
	Stock Spiral	3D	Surface Pocketing / Stock
	Radial	3D	Surface Pocketing / Radial
	By Layers	3D	Finish Waterline Cutting
	Horiz Area	3D	Horizontal Surface Milling
Vert Area	3D	Vertical Surface Milling	
Flow Line Milling	Aiming Surface	3D,4D,5D	Surface Milling by Trajectory
	Part Surface	3D,4D,5D	Milling Adjacent Surfaces
Plunge Milling		3D	Plunge Rough Cutting
Cleanup		3D	Cleanup Remachining
Pencil		3D	Pencil Remachining

**Стратегия Volume Milling** (Объемное фрезерование) обеспечивает послойную черновую выборку массивов материала. Слои располагаются горизонтально, то есть ось инструмента перпендикулярна плоскостям слоев. Обработка на слое ведется по спирали, параллельными или радиальными проходами, что определяется Дополнительным выбором. Ширина фрезерования и высота слоя (глубина фрезерования) задаются в качестве параметров расчета траектории инструмента. На обрабатываемых поверхностях при необходимости можно оставить припуск.

Существует три разновидности данной стратегии - **Pocketing**, **Waterline** и **Zcut**.

Стратегия **Pocketing** - это наиболее простая 2D-обработка плоских колодцев с островами. В качестве исходной геометрии для обработки достаточно задания соответствующих плоских контуров.

При технологии **Waterline** (3D-обработка) на уровне каждого слоя строятся так называемые ватерлинии, представляющие собой

линии пересечения обрабатываемых поверхностей с плоскостью слоя. Эти линии всегда замкнуты (открытые области замыкаются внешним контуром) и фрезерование слоя ведется внутри этих замкнутых контуров. Образованные поверхностями колодцы можно либо обрабатывать послойно целиком, переходя от одного колодца к другому, либо выполнять обработку для всех колодцев на данном слое и только потом переходить на следующий слой. Возможно дополнительное фрезерование материала, оставшегося между слоями.

Если выполняется повторная черновая (получистовая) обработка с меньшей высотой слоя, то система оптимизирует траекторию инструмента, исключая из нее перемещения по тем областям, где материал заготовки уже удален при предыдущем фрезеровании.

При технологии 3D-обработки Zcut ватерлинии не строятся, а обработка слоев выполняется параллельными (**Parallel**) или радиальными (**Radial**) проходами. Движение инструмента по слою в текущем проходе выполняется до соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. После этого, если обработка между слоями не задана, инструмент уходит со слоя вертикально вверх. Если же задан режим обработки между слоями, то инструмент поднимается по поверхности до уровня предыдущего слоя и затем уходит вверх. Далее, перемещаясь в данном проходе на высоте плоскости безопасности, инструмент опускается на текущий слой обработки в первой точке, где это возможно и продолжает обработку слоя. Если такой точки нет, инструмент переходит в начало следующего прохода.

**Стратегия Contour Milling** (Контурное фрезерование) применяется для обработки 2D- или 3D-контуров. Дополнительный выбор **Pocket** позволяет выполнять чистовую обработку по границам

плоских или поверхностных колодцев, а выбор **Profile** - выполнять фрезерование произвольных профилей (контуров) за один или несколько проходов.

**Стратегия Surface Milling** (Поверхностное фрезерование), при вариантах Дополнительного выбора **Parallel, Spiral, Stock Spiral** или **Radial**, обеспечивает фрезерование поверхностей детали параллельными спиральными или радиальными проходами. При этом поверхности обрабатываются не последовательно, а рассматриваются как единое целое. Это позволяет, во многих случаях, эффективно выполнять получистовое и чистовое фрезерование деталей сложных форм, имеющих большое число разных поверхностей.

При чистовой обработке сложных деталей рекомендуется (при наличии соответствующего технологического оборудования с ЧПУ) использовать режимы высокоскоростной резки (**High Speed Cutting**). В этом случае можно, за счет высокой скорости обработки и малого расстояния между проходами, обеспечить нужное качество обрабатываемых поверхностей и исключить их последующую слесарную доработку.

При высокоскоростной резке к траектории инструмента предъявляются дополнительные требования - постоянство припуска и гладкость траектории (отсутствие резких изменений направления перемещений инструмента). Система Cimatron обеспечивает выполнение этих требований. В частности, при чистовой обработке параллельными проходами, прямоугольные соединения между проходами заменяются на гладкие в виде петель (рисунок 16).

Еще одна опция стратегии Поверхностного фрезерования - **By Layers** - обеспечивает выполнение чистового прохода вдоль границ слоев при послойной обработке. И наконец, опции **Honz Area** и **Vert Area** дают возможность автоматически определять поверхности,

близкие к горизонтальным или вертикальным (критерием близости является величина угла) и выполнять чистовую доработку только этих поверхностей. (При совместной обработке совокупности поверхностей, эти поверхности иногда оказываются «в невыгодном положении» с точки зрения полученной точности и их нужно дорабатывать отдельно.)

**Стратегия Flow Line Milling** (Фрезерование по параметрическим кривым) используется для фрезерования одной или цепочки смежных поверхностей вдоль их параметрических кривых (**Part Surface**) или вдоль параметрических кривых дополнительно заданной поверхности (**Aiming Surface**).

Данная стратегия позволяет выполнять 3-, 4- и 5-координатную обработку наборов поверхностей. При многокоординатной обработке фреза располагается нормально к поверхности или с некоторым заданным углом по отношению к нормали. Поддерживается также обработка поверхностей боковой частью фрезы.

**Стратегия Plunge Milling** (Черновая обработка врезанием) является новой эффективной технологией и требует использования такого оборудования с ЧПУ, которое обеспечивает необходимые усилия и режимы резания по оси Z. Необходим также специальный инструмент с быстрорежущими пластинами на торце фрезы. Фрезерование при данной технологии выполняется не горизонтальными перемещениями, как при послойной черновой обработке, а движениями инструмента сверху вниз, напоминая технологию сверления.

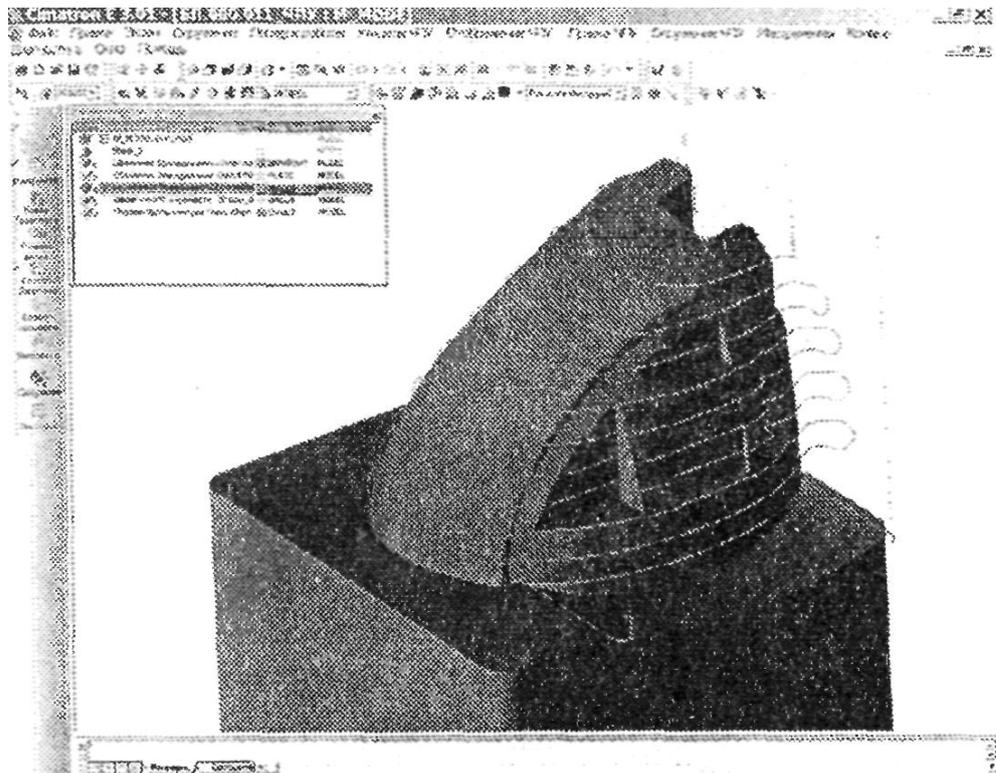


Рисунок 16 - Один из используемых видов петлеобразных соединений между проходами при высокоскоростной резке

Стратегия **Cleanup** (Подбор) обеспечивает выборку материала, оставшегося после предыдущих операций обработки детали инструментом большего диаметра (например, на угловых стыках поверхностей или в углублениях с малым радиусом кривизны). При выполнении данной стратегии система рассчитывает состояние заготовки после обработки предыдущим инструментом, определяет необработанные зоны, доступные для текущего инструмента с меньшим диаметром и формирует траекторию обработки этих зон. Применение стратегии Cleanup может в ряде случаев значительно сократить общее время обработки, повысить ее эффективность.

Стратегия **Pencil** (Карандаш) является, как и Cleanup, одной из разновидностей доработки. Она обеспечивает выполнение одного или нескольких чистовых проходов инструмента вдоль внутренних углов (стыков смежных поверхностей) детали.

Перечисленный набор стратегий дает в руки технологу ЧПУ эффективный набор средств для выполнения самых различных

видов обработки, обеспечивает реализацию современных технологий при построении траектории движения инструмента. В результате снижается общее время обработки, улучшается ее качество, повышается эффективность эксплуатации оборудования с ЧПУ и инструмента.

В качестве примера, на рисунке 17 изображена деталь формы для выдува пластиковой бутылки (геометрия детали соответствует геометрии доньшка бутылки), изготовленная с применением ряда описанных выше стратегий и методов высокоскоростной резки (этот пример не относится к области приборостроения, но он хорошо иллюстрирует возможности высокоскоростной резки при обработке деталей сложных геометрических форм).

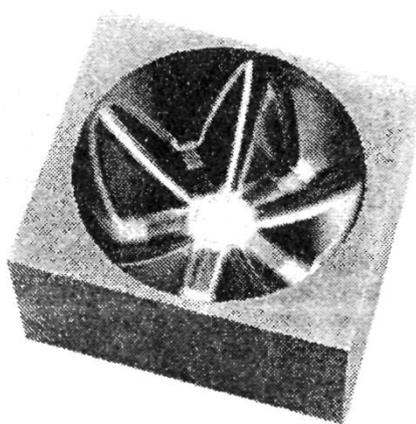


Рисунок 17 - Деталь формы для пластиковой бутылки, изготовленная с применением методов высокоскоростной резки

Для данной детали, при твердости материала заготовки HRC 40, обработка велась на подачах 2-4 м/мин, общее время обработки составило 75 мин. Высокое качество получаемой рабочей поверхности не требует последующего шлифования или полирования.

Затронем еще один вопрос - о методах разработки постпроцессоров для станков с ЧПУ. Постпроцессор представляет собой программу, которая транслирует рассчитанную CAD/CAM-

системой траекторию инструмента в управляющую программу для конкретной модели оборудования с ЧПУ (например, для станка МАНО 800 с УЧПУ TNC 415). Как было отмечено выше, разработка постпроцессоров выполняется с помощью генератора IMSpost.

Генератор **IMSpost** позволяет быстро и эффективно создавать постпроцессоры для любых видов оборудования с ЧПУ - фрезерных обрабатывающих центров, многокоординатного оборудования, электроэрозионных и токарных станков. Постпроцессоры, разрабатываемые в IMSpost, представляют собой автономные программные модули, входом которых является описание траектории инструмента в стандартном формате **CLDATA (Cutter Locations DATA - данные о положении инструмента)**. Таким образом, с помощью генератора IMSpost можно разрабатывать постпроцессоры не только к Cimatron, но и к другим CAD/CAM-системам, которые формируют на выходе данные CLDATA.

IMSpost реализует наиболее передовые идеи в области проектирования постпроцессоров. Эти идеи состоят в следующем:

- Действия постпроцессора по преобразованию траектории инструмента в управляющую программу описываются на специальном языке высокого уровня, в котором имеется возможность оперировать параметрами траектории инструмента и управляющей программы, как понятиями языка. Этим достигается максимальная гибкость проектирования при одновременной простоте и компактности программы действий постпроцессора;
- Параметры, определяющие формат кадра, начала и конца УП, подготовительные и вспомогательные функции и другие характеристики управляющей программы, задаются в специальных настроечных таблицах (диалоговых окнах), что дополнительно упрощает проектирование и модификацию (редактирование) постпроцессора. Во многих случаях для разработки нового

постпроцессора достаточно выполнить изменения в диалоговых окнах постпроцессора, взятого в качестве аналога;

- С помощью специальных таблиц можно описать геометрию и взаимное расположение исполнительных органов и узлов станка с ЧПУ. Это обеспечивает автоматический расчет значений линейных и поворотных координат станка для каждого текущего положения инструмента, чем облегчается разработка постпроцессоров для многокоординатного оборудования с ЧПУ. Описание станка можно просматривать и редактировать в реалистичном графическом режиме. Этот режим позволяет также выполнять имитацию перемещений исполнительных органов станка при обработке УП;

Наиболее сложные алгоритмы постпроцессорирования встроены в ядро IMSpost, что избавляет разработчика от необходимости решать такие задачи, как проблема нелинейности при многокоординатной обработке, «сборка» дуги окружности путем аппроксимации серии точек и др.

Предприятие может либо приобрести генератор и разрабатывать постпроцессоры самостоятельно, либо заказать необходимые постпроцессоры у поставщика CAD/CAM-системы. Решение этого вопроса зависит от числа постпроцессоров, от их общей стоимости и от наличия на предприятии соответствующего специалиста.

## **ЛЕКЦИЯ 16. ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ (CAD/CAM/CAE – СИСТЕМ). ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМ КОНСТРУКТОРСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

### **Этапы проектирования**

Остановимся подробнее на проблемах, связанных с сектором инженерного анализа и проектирования, поскольку именно он определяет эффективность цикла производство-потребление.

Создание конкурентоспособных изделий машиностроения представляет собой большую техническую систему, имеющую иерархическую структуру задач проектно-конструкторских, инженерных, технологических, организационно-технических, экономических и производственных, связанных множеством прямых и обратных связей. Оно происходит во времени (продолжительность части жизненного цикла создаваемого изделия) и пространстве (производственные площади с расположенными на них средствами производства).

Время создания изделия составляет начальную часть жизненного цикла. Оно состоит из двух компонент. Времени инженерного анализа и проектирования и времени собственно производства изделий в необходимом для пользователей (покупателей) количестве. Период времени окончательного формирования облика изделия и технологии его производства зависит от уровня научно-технического обеспечения этапа инженерного анализа и проектирования. Чем выше этот уровень, тем короче этот период. Сокращение времени создания изделий, наиболее полно отвечающих потребностям пользователей, обеспечивает быстрый их выход на рынок; повышает конкурентоспособность и, как следствие, коммерческий интерес пользователей к разработанному изделию, что в свою очередь способствует быстрой окупаемости средств, вложенных в создание изделия.

Процесс проектирования многовариантен и имеет итерационный характер с обратными связями разной глубины. Для сокращения времени создания изделий (от формирования потребности в изделии, сформулированном в виде общих требований к эксплуатационным характеристикам, до начала эксплуатации спроектированной и изготовленной машины) были разработаны положения, определяющие порядок создания машин, в виде стандартов (государственных, отраслевых). Эти положения для каждой конкретной области машиностроения предопределяют алгоритмы инженерного анализа и проектирования, а также подготовки производства, разделенные на этапы, с указанием последовательности процедур проектирования и решаемых задач на каждом из них. Этапы и задачи проектирования машин нашли отражение в отраслевых положениях и ГОСТ ЕСКД.

Начальным этапом является формирование и формулирование *технического задания (ТЗ)*, в котором отражаются эксплуатационные и технические характеристики разрабатываемой машины и ее составных частей, условия и сценарии эксплуатации.

Результатом этапа *технического предложения (ТПредл)* являются чертежи общих видов компоновки машины, технические задания на эскизные проекты элементов машины, директивная технология общей сборки, технические задания на проектирование оснащения для общей сборки, транспортировки, технологического оснащения для обслуживания машины в процессе эксплуатации.

Результаты проектирования на этапах *эскизного (ЭП) и технического (ТП) проектов* оформляются в виде чертежей общих видов, таблиц элементов конструкции, технических условий (ТУ) на изготовление и приемку составных частей. Уровень детализации разработки чертежей общих видов и сопровождающих их документов (таблиц, технических требований) на завершающей фазе этапа эскизного (технического) проекта должен быть достаточным для разработки всего комплекта рабочей документации (чертежей деталей и сборочных единиц с полным объемом технических требований) без

привлечения авторов предшествующего этапа разработки. Помимо конструкторской документации на этих же этапах формируется технологический процесс сборки агрегатов, формулируются технические задания на оснащение агрегатной сборки.

*Рабочий проект (РП)* завершается выпуском комплекта рабочей документации для производства: чертежей деталей и сборочных единиц. На чертежи деталей наносят всю информацию, относящуюся к представляемой на приемку готовой детали, как по геометрическим параметрам, так и по параметрам свойств материала, массе, геометрии масс с допустимыми их отклонениями (допусками). На сборочные чертежи наносят информацию, относящуюся к выполнению соединений, выходным геометрическим параметрам, подлежащим техническому контролю, с допусками. Сборочные чертежи сопровождаются спецификациями. На чертежи деталей и сборочных единиц выносят многочисленные *технические требования*, определяющие правила приемки и технического контроля. Разрабатываются и дополняются *технические условия (ТУ)* на изготовление и приемку составных частей.

Технологическая документация начинает разрабатываться задолго до завершения рабочего проекта. На этапе *технического предложения* параллельно с конструкторской документацией разрабатывается технология общей сборки с полным комплектом технологической документации и технических заданий на разработку технологического оснащения для общей сборки.

На этапе *эскизного (технического) проекта* разрабатывается технология сборки сборочных единиц разной сложности также с полным комплектом технологической документации и технических заданий на разработку технологического оснащения для сборки сборочных единиц.

По завершении этапа *рабочего проекта* разрабатывается *рабочая технология изготовления деталей* с техническими заданиями на разработку оснастки для обработки деталей, а также *рабочая технология агрегатной и общей сборки* со ссылкой на разработанное (разрабатываемое) или готовое к

этому времени технологическое оснащение. Этап разработки технологической документации завершается созданием полного комплекта конструкторской документации на технологическое оборудование, приспособления и инструмент для дооснащения действующего производства.

*Организационно-техническая документация (ОТД)* разрабатывается на основе полного комплекта технологической документации и документированного технологического оснащения, позволяющих разработать систему управления производством, отслеживающую движение заказов на производстве, поставку материалов и комплектующих изделий, оптимизирующих производственные затраты и непроизводственные потери.

### **Использование интегрированных систем по этапам проектирования**

Накопленный опыт разработки и эксплуатации современных интегрированных систем позволяет выделить основные компоненты автоматизации в секторе инженерного анализа и проектирования. Ими являются:

- инструментальный комплекс интегрированных программных средств для автоматизированного проектирования геометрического облика машины (Computer Aided Design - CAD);
- комплекс интегрированных программных средств для автоматизированного инженерного анализа (Computer Aided Engineering - CAE);
- системы автоматизации технологической подготовки производства (Computer Aided Manufacturing- CAM );
- системы автоматизированного управления производством (Computer Integrated Manufacture- CIM);
- технологическая среда (Concurrent Art-to-Product Environment - CAPE) с программными средствами, позволяющими осуществлять параллельный санкционированный доступ к информационной модели изделия и движение по структуре изделия всех участников проекта;

- системы управления проектными и инженерными данными (Product Data Management);
- сетевая связь между рабочими местами.

По мере уточнения представления о машине, ее составных частях и технологии производства в САПР формируется *полное электронное определение изделия* (Electronic Product Definition - EPD), позволяющее связать все подразделения, участвующие в проектировании, технологической подготовке, производстве, снабжении, сбыте готовой продукции и ее обслуживании у пользователя оперативным доступом к информации об изделии на любом этапе его жизненного цикла.

Прежде чем перейти к анализу методов и средств осуществления и обеспечения непрерывного процесса поддержания жизненного цикла с помощью современных систем остановимся на кратком описании содержания задач его этапов и формулирования требований, предъявляемых к их компонентам.

Каждая из задач проектирования имеет свою базу знаний (методов и алгоритмов расчета), а также свое программно-математическое обеспечение, позволяющее сократить время выполнения великого множества рутинных вычислительных и логических процедур. Использование ВТ соответствовало этапам, установленным ранее в положениях по проектированию, имело в основном специализированный объектно-ориентированный характер. Для каждого вида техники (двигателестроение, автомобиле-, авиа- или ракетостроение и т. п.) разрабатывались свои специализированные системы инженерного анализа (САЕ), обслуживавшие ранние этапы проектирования облика машин, а также развивались работы по универсальным системам автоматизированного проектирования элементов конструкций машин, пригодным для использования во всех областях машиностроения.

По мере развития этих работ возникали и решались проблемы разделения задач и технических средств между этапами проектирования облика машины, технологии и производства с учетом возможностей средств ВТ и связей между

ними, а также разработки новых и использования разработанных ранее универсальных пакетов прикладных программ с библиотеками (базами) данных.

Одной из таких проблем стала привязка разработанных программных средств к этапам проектирования и техническим средствам. Опытная эксплуатация универсальных систем, ориентированных на использование одной (но мощной и дорогой!) вычислительной машины с большим количеством вынесенных к рабочим местам пользователей терминалов, показала полную бесперспективность такого пути автоматизации из-за сложности распределения времени решения огромного количества задач, одновременно ставящихся многочисленными пользователями. Решение проблемы - в децентрализации решаемых задач и распределении ресурсов ВТ разной мощности на разных этапах инженерного анализа.

На этапе формирования технического задания и технического предложения используются специализированные проблемно - ориентированные CAE пакеты прикладных программ, позволяющие с одной стороны произвести экспертные оценки экономически целесообразных параметров технического задания на машину с учетом пожеланий большого количества пользователей и соисполнителей, а с другой - сформировать геометрию облика и компоновку (CAD) будущей машины. CAE - системы изначально объектно - ориентированы. Они стоят несколько обособлено по отношению как CAD, так и к САМ системам. Будучи самостоятельными, в процессе работы над проектом они должны обмениваться с CAD и САМ системами графической и текстовой информацией, содержащей результаты инженерного анализа. Уровень детализации геометрической информации в CAD системах, встроенных в CAE системы, невысок, так как в них отображаются расчетные схемы или определяются параметры только номинальной (абстрактной, идеальной) геометрии. Формирование геометрии компоновки связано как с функционированием проектируемого объекта, так и с определением действующих на него статических и динамических

сосредоточенных и распределенных нагрузок, имеющих различную природу (гравитационную, термическую, аэрогидромеханическую, электромагнитную и т. п.). Оно выполняется с помощью геометрического трехмерного поверхностного и твердотельного моделирования.

На этапе эскизного проекта круг задач существенно расширяется. Это уточнение номинальной геометрии агрегатов и входящих в них элементов (деталей) с помощью геометрического (CAD) трехмерного (3D) твердотельного (Solid) моделирования с оценкой в САЕ состояния материала конструкции (напряжений: запасов прочности, ресурса работы при определенных ранее нагрузках и т. п.). И для первого и для второго этапов необходимо адекватное описание номинальной (абстрактной) геометрии проектируемого объекта: поверхностей, ограничивающих объемы элементов конструкции, определения объемов, координат центров масс и параметров тензора инерции. Для их определения были разработаны и непрерывно совершенствуются методы, использующие достижения естественных наук, среди которых наиболее универсальным является метод конечных элементов (МКЭ). Множество объектов проектирования по пути своего развития обрастало инженерными методиками расчетов, обладающих той или иной точностью определения нагрузок (например, при расчете газовых турбин, компрессоров, поверхностей летательных аппаратов, магнитострикционных вибраторов, электромагнитов и т. п.), а также оценки состояния элементов конструкции при действующих нагрузках. Достаточно заглянуть в перечень методов расчетов, используемых в строительной механике машин различного назначения.

Для обеспечения безопасности использования по служебному назначению частные методики расчета и моделирования нагрузок по мере их проверки в работающих конструкциях проходили утверждение и становились обязательными к применению. Использование любых других методик, не прошедших всесторонних испытаний, не допускалось. Унификация методик - проблема больше политическая, чем инженерная. Поэтому частные методики расчета, оформленные в виде конкретных программных продуктов, являются

собственностью организаций и фирм, их разрабатывающих и использующих. Они, как правило, составляют ноу-хау этих фирм.

В процессе проектирования возникает необходимость корректировки геометрии объекта проектирования для приведения в соответствие нагрузок и состояния материала конструкции, обеспечивающего необходимые запасы прочности, ресурс и т. п. Пользователю - проектировщику необходимо не только представить 3D Solid - модель, но и вносить в нее множество частных изменений, по возможности не создавая модели заново. Этот принцип - *параметризация* - является неотъемлемой частью оболочки CAD.

По завершении необходимых расчетов, позволяющих сформировать номинальную геометрию элементов конструкции, с помощью специализированной CAM/CAD/CAE - системы производится деление конструкции на технологически целесообразные элементы (например, крупногабаритной оболочки на обечайки, подкрепления и т. п.).

Таким образом для обеспечения этапов технического предложения и эскизного проекта достаточно иметь CAD, содержащий средства 3D Solid моделирования с параметризацией, CAE с методом конечных элементов и большое количество специализированных пользовательских программ, определяющих нагрузки, состояние материалов в конструкциях и их поведение в условиях эксплуатации и CAM деления объекта производства на составные части. Все системы такого типа являются открытыми для пользовательских (User) программ.

В виду сложности решаемых задач безусловно необходимы мощные программные средства, позволяющие не только отображать геометрию облика машины в пространстве, но и осуществлять моделирование ее поведения в условиях эксплуатации для уточнения параметров ТЗ на последующие этапы проектирования. Это в первую очередь "тяжелые" CAD /CAE/CAM – системы, предназначенные для автоматизации конструкторских работ, использующие как основу пространственные 3D модели, размещаемые на рабочих станциях . Правда, по мере совершенствования средств ВТ, операционных систем и

программ самих САПР необходимость использования мощных рабочих станций снижается.

На этапе технического проекта возникает необходимость специфического поверхностного моделирования, переходящего в твердотельное, для моделирования пространственных размерных цепей с целью согласования и уточнения допусков на сопрягаемые поверхности и параметры геометрии масс. Решение этой задачи требует проведения существенных изменений в форме задания, хранения и передачи информации о поверхностях, ограничивающих объемы элементов конструкции.

Полная информация о поверхности включает помимо номинальных сведений о виде поверхности (нормированных параметрах "примитива", заданного в связанной с ним системе координат), масштабах по всем трем осям и положения собственной системы координат поверхности в системе координат элемента конструкции, все допустимые с точки зрения работоспособности отклонения формы, масштабов (размеров поверхности) и положения - так называемый *статус поверхности*. Моделируя выходные параметры элементов конструкции, определяющие ее работоспособность, в пределах допусков поверхностей и соразмеряя эти допуски с технологическими возможностями, можно обоснованно их назначить и в дальнейшем выполнить и проконтролировать наилучшим образом. Такие системы моделирования находятся в стадии разработки и их появление среди САД систем существенно повысят эффективность производства в рамках CALS - технологии.

Кроме того к этому этапу проектирования должен подключаться технологический (САМ) пакет, позволяющий разработать структуру состава промежуточных сборочных единиц, которая ляжет в основу разработки сборочных чертежей, и директивную документированную технологию сборки с оценкой продолжительности цикла сборки, позволяющего осуществить его в приемлемые сроки. На этом этапе завершается разработка директивного технологического процесса сборки, формулируются ТЗ на необходимую для его осуществления технологическую оснастку.

На этапе рабочего проекта задача сводится к разработке рабочих чертежей деталей и заготовок с помощью геометрического (CAD) объемного (3D) и плоского (2D) моделирования, технологического (CAM) проектирования и моделирования обработки заготовок на станках с ЧПУ с полным комплектом технологической и технико-экономической документации. Полное рабочее документирование сборочной фазы производства можно выполнять параллельно (одновременно) с проектированием технологии обработки. Для сборки агрегатов выполнять его целесообразно на ВТ и персоналом, занимавшимся эскизным (техническим) проектированием, а для проектирования общей сборки - ВТ и персонала, занимавшегося техническим предложением. Это "легкие" CAD/CAM – системы, предназначенные для автоматизации конструкторских и технологических работ, в основе которых лежат объемное (3D) и плоское 2D моделирование.

Специфические проблемы возникают при интегрировании CAD и CAM систем на этапе формирования технологического процесса, поскольку возникает необходимость ввода большого объема точной геометрической информации, учитывающей не только номинальные параметры, но и допуски на них. В современных CAM - системах проработано огромное количество задач, решение которых достаточно полно автоматизировано. При этом каждая из задач решается отдельным программным продуктом, который в общем случае не совместим ни с какими другими. Для связи с CAD системами недостаточно ряда разнообразных фильтров и конверторов. Подобный способ связи всегда работает с определенной долей вероятности и неизбежно приводит к потерям или искажению данных. Это объясняется отсутствием общепринятых стандартов для обмена и представления информации. Существующие форматы обмена данными DXF, IGES, VDA-FS, SET, DHF и ряд специализированных форматов, например, CGM, STL, PATRAN и др., к сожалению, до сих пор такими стандартами не являются. Не решает проблемы и существующая редакция стандарта STEP (ISO 1033), являющегося в большей степени

методикой работы, чем стандартом обмена информацией в обычном понимании этого слова.

На этапе разработки организационно-технической документации задача сводится к размещению заказов на производственных мощностях с учетом сроков их выполнения; планированию и диспетчеризации снабжения; планированию на основе технологического (САМ) проектирования и сопровождения производственного процесса, загрузки персонала; учету состояния производственной системы; моделированию оптимального поведения производственной системы при нарушении планов; оценке эффективности работы производственной системы. Для этих целей используются мощные СИМ системы, размещаемые на достаточно мощных персональных компьютерах.

При выполнении проекта все системы объединяются вокруг решаемой технической задачи. Возникает серьезная проблема связей между системами и обмена данными между отдельными программными модулями при решении комплексной задачи проектирования. Отсюда понятны требования, предъявляемые к степени интегрированности среды, в которой предполагается вести работу. Это обстоятельство послужило движущим мотивом создания интегрированных САЕ/САD - систем универсального применения (например, для расчета параметров типовых элементов конструкции: валов, балок, ферм, упругих элементов конструкции, пластин, оболочек, соединений, подшипников, кулачков, рычажных механизмов, передач всех видов). Одновременно велись и ведутся работы по созданию САD/САМ систем, базирующихся как на идеологии пространственного (трехмерного) моделирования, то есть на идеологии "тяжелых" САD, так и на идеологии плоского моделирования, то есть на идеологии "легких" САD. Так, например, для этапа рабочего проекта САD/САМ это не САD плюс САМ. Наибольшую эффективность здесь имеют интегрированные САD/САМ системы, в которых геометрическая модель автоматически передается из графической (САD) в технологическую (САМ) систему.

Подводя итоги изложенному выше, можно отметить, что в САПР сектора инженерного анализа и проектирования необходимо либо интегрировать модули различных систем, либо использовать целостную интегрированную систему. Однако вследствие большого разнообразия и сложности задач проектирования для каждой производственной системы нельзя определить однозначно предпочтительности модульной или целостной систем. По-видимому более предпочтителен вариант, когда в зависимости от уровня сложности проекта в САПР интегрируются как модули различных систем, так и как целостные интегрированные системы.

Следует обратить внимание на различную трудоемкость этапов проектирования и различное число занятых на этих этапах разработчиков информации.

Этап технического предложения имеет глубокую проблемно - и объектно - ориентированную специализацию и имеет весьма малочисленный круг пользователей - проектантов.

Этапы эскизного и технического проектов обслуживается существенно большим числом пользователей - проектировщиков агрегатов. Этот этап использует гораздо более универсальные программные продукты: САД системы поверхностного и твердотельного трехмерного моделирования с дополнением универсальными пакетами САЕ для анализа прочности, согласования точностных требований, проектирования и документирования технологии сборки. Ввиду высоких требований к ВТ этих этапов проектирования и, соответственно их возможностям, на них возлагается также и разработка программ для многокоординатных (свыше трех координат) станков с ЧПУ.

Наконец, к этапу рабочего проекта и разработке технологии изготовления деталей привлекается самое большое число пользователей. На этом этапе выполняется большое число относительно несложных графических работ (чертежи деталей, операционные эскизы), для выполнения которых достаточно “легких” но высокопроизводительных и удобных для неквалифицированного в

области ВТ пользователя 2D-3D CAD систем, объединенных с САМ системами, обеспечивающими 2х - 3х координатную обработку на станках с ЧПУ и подготовку всего комплекта технологической документации.

Проведенный анализ этапов проектирования и их информационного, программного и технического обеспечения показал, что число рабочих мест, на которых сосредоточено формирование проекта, стремительно возрастает от самых ранних этапов проектирования к более поздним этапам. Научоемкость постепенно снижается, а количество рутинных процедур возрастает. Наиболее универсальными и «многолюдными» с точки зрения состава решаемых задач является этапы рабочего проектирования и разработки технологической документации, где широко используются как САД и САМ системы, связывающие объект производства с технологией, так и САЕ системы, используемые при проектировании технологического оснащения.

Сегодня достаточно хорошо разработан и представлен на рынке программных продуктов широкий спектр систем, работающих в направлении автоматизации проектирования.

На ранних этапах проектирования для формирования и отображения облика объекта производства (техническое предложение и эскизный проект) получили распространение САД системы, предназначенные для автоматизации конструкторских работ. В их число входят зарубежные Solid Edge, MicroStation, AutoCAD, Solid Works MegaCAD Eureka Helix Microcadam, и отечественные: T-FLEX CAD, КОМПАС, Графика - GL, Credo, BCAD34. Эти же системы используются для разработки документации этапа рабочего проекта. Перечисленные системы имеют модули 2D и 3D поверхностного и твердотельного моделирования. Только отечественные системы поддерживают графические и текстовые стандарты документации ЕСКД. Ни одна из систем не позволяет оценить влияния отклонений геометрических параметров поверхностей элементов конструкции на функционирование разрабатываемой конструкции на этапе технического проекта.

CAE системы ранних этапов проектирования в большинстве своем являются узко специализированными, не универсальными. Они как правило содержат ноу-хау фирмы-разработчика продукции и поэтому крайне редко выходят на рынок. Чаще всего на рынке САПР встречаются оболочки CAE - систем, содержащие универсальный метод конечных элементов, с помощью которого пользователи решают частные задачи по собственным методикам. Для этапов эскизного и технического проектов известна по крайней мере одна отечественная CAE - система APM WinMachine, универсального применения, в которой помимо метода конечных элементов имеются специализированные модули для расчета параметров типовых элементов конструкции: валов, балок, ферм, пластин, упругих элементов, оболочек, соединений, подшипников, кулачков, рычажных механизмов, передач всех видов. Интерфейс этой системы с CAD осуществляется через файлы данных результатов расчетов и частично - через графические DXF- файлы.

Для этапа технологического проектирования обработки заготовок разработаны узко специализированные CAM системы. Они автоматизируют подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ и разработку комплекта технологической документации. В основном это либо самостоятельные системы, как КАТРАН, Virtual Gibbs, PowerMill, либо приложения к графическим системам. Перечисленные системы формируют только тексты программ для станков с ЧПУ как в CLDATA так и в кодах соответствующих систем управления. Особую группу среди CAM систем представляют системы КАРУС, АВТОПРОЕКТ 7.0, ГАСПОТ-ЭКСПРЕСС, предназначенные для проектирования операционных технологических процессов изготовления деталей машин и оформления необходимой технологической документации: маршрутных и маршрутно-операционных карт, эскизов и текстовых частей операционных карт. Эти системы имеют собственные встроенные CAD системы для оформления эскизов, расчетных схем, чертежей инструмента и т. п.

Интегрированные системы представлены много шире.

Это прежде всего CAD/CAM системы, объединяющие в себе как конструкторские, так и технологические функции (Cimatron, ADEM и др.). Из них только ADEM обеспечивает поддержку разработки полного комплекта технологической документации в соответствии со стандартами ЕСТД, включающей и программы для обработки на фрезерных (2х, 2,5х, 3х, 5х), токарных (2х) электроэрозионных (2х, 4х) станках с ЧПУ, а также на листопробивных прессах.

Затем CAE/CAD/CAM системы, обеспеченные дополнительно поддержкой инженерного анализа: CATIA V5, IDEAS Master Series, Pro/ENGINEER, CADD5 5, EUCLID 3, EDS UNIGRAPHICS, DUCT, EMS INTERGRAPH. Перечисленные системы обладают широким спектром функций и технических возможностей, однако они также не способны обеспечить поддержку проектирования на этапе технического проекта. Вся документация, оформляемая в этих системах не поддерживает стандартов ЕСКД и ЕСТД.

Зарубежные системы CATIA, IDEAS Master Series, Pro/ENGINEER, CADD5 5, EUCLID, EDS UNIGRAPHICS, DUCT, EMS Intergraph, Solid Edge Intergraph, Cimatron, в полном объеме могут быть размещены на персональных компьютерах.

Из систем *российской разработки* наибольшее развитие получили CAE - APM WinMachine, CAD - КОМПАС, T-FLEX CAD, CAD/CAM/CAPP ADEM, размещаемые на персональной технике. Системы APM WinMachine и CAD/CAM/CAPP ADEM получили признание на международном уровне. Последняя трансформирована из русскоязычной в англо- и германоязычную и способна в CAD части поддерживать стандарты ЕСКД и ANSI, а в CAM - стандарты ЕСТД.

Особое место среди российской разработки CAE/CAD/CAM систем занимают специализированные программные продукты, разработанные с помощью инструментальной системы СПРУТ. Это не универсальные CAE/CAD/CAM/CIM системы, выполненные по заказам отдельных

пользователей, но потенциально обладающие всем набором необходимых атрибутов для удовлетворения требований каждого из этапов проектирования.

Среди CIM - систем следует отметить мощные зарубежные системы классов MRP, MRP-2. Аналогичные отечественные системы находятся в стадии разработки.

### **Основы автоматизированного проектирования технологических процессов.**

Привлечение ЭВМ к решению задач технологического проектирования связано с комплексом специфичных вопросов, касающихся особенностей работы ЭВМ. Электронно-вычислительные машины работают по строгим формальным алгоритмам, подчиняющимся законам математической логики, поэтому процесс технологического проектирования также должен быть описан с помощью формальных алгоритмов. Однако пока не удалось достичь уровня полной формализации всех решаемых в технологической подготовке производства (ТПП) задач.

Поэтому современные технологические алгоритмы используемых в промышленности систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) отличаются между собой той или иной степенью приближенности в решении проектных вопросов. Эта приближенность объясняется недостаточностью нормативной базы по режимам резания, а именно отсутствием в нормативах резания численных связей для выбора подач, глубин резания и числа рабочих ходов инструментов, а также трудностями выбора однозначных путей проектирования из-за многовариантности ряда основных проектных решений. Несмотря на то, что САПР ТП разрабатывается, как правило, для отдельных классов деталей (тела вращения, корпусные детали и т. д.), а зачастую и для более узкой группы конкретных деталей (групповые процессы), не удается однозначно определить расчетами структуры процесса, т. е. требуемое для обработки точное число операций и станков, а также проектную трудоемкость каждой операции и всего процесса.

При традиционном проектировании технолог обычно разрабатывает и сравнивает «в уме» несколько вариантов, стремясь к процессу с минимальным числом операций и станков (это называют структурной оптимизацией) и минимальной трудоемкости и стоимости операции (параметрическая оптимизация). Неоднозначность решений при структурной и параметрической оптимизации объясняется рядом причин. Поэтому прежде чем излагать применяемые на практике методы автоматизированного проектирования технологических процессов, рассмотрим причины методической и расчетной неоднозначности проектных решений, характерных для современного состояния проектирования, которые в свою очередь обуславливают ту или иную степень приближенности автоматизированного проектирования.

Ниже приведен анализ двух главных методических направлений, по которым требуется быстрее разработка технологических алгоритмов:

-структурной оптимизации и однозначной формализации размерносточностного проектирования операций единичных процессов, особенно необходимых сегодня (по тщательности разработки) для условий массового производства, т. е. с учетом индивидуальных особенностей заготовок и требований к готовой детали;

-параметрической оптимизации (главным образом, оптимизации технологических элементов режимов резания) отдельных операций.

### **Основные направления совершенствования технологической подготовки производства**

*Единая система технологической подготовки производства.*

Особенности развития современного машиностроения обуславливают широкое применение методов унификации изделий, типизации технологических процессов, стандартизации переналаживаемых средств технологического оснащения и автоматизации производственных процессов и инженерно-технических работ. Средством обобщения и комплексного внедрения достижений науки, техники и передового опыта в народное хозяйство является Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП),

разработанная Госстандартом СССР совместно с министерствами и ведомствами.

Стандарты ЕСТПП определяют принципы и направления совершенствования технологической подготовки производства на предприятиях и вместе с тем позволяют каждому предприятию учесть специфические особенности путем разработки на базе стандартов ЕСТПП стандартов предприятий. Таким образом, ЕСТПП обладает необходимой гибкостью.

ЕСТПП базируется на трех основных положениях:

- унификации и отработке изделий на технологичность;
- типизации технологических процессов;
- механизации и автоматизации производственных процессов и инженерно-технических работ.

Комплекс стандартов ЕСТПП и систем, взаимодействующих с ней, служит основой повышения эффективности производства — сокращения сроков и затрат на его технологическую подготовку. При внедрении стандартов это достигается совершенствованием проектирования технологических процессов, проектирования и изготовления средств технологического оснащения, а также совершенствования организации и управления технологической подготовкой производства.

Сроки ТПП на базе технологической унификации в большой степени зависят от скорости переработки информации. Поэтому для сокращения этих сроков необходимы способы быстрее ее переработки. Стандарты ЕСТПП предусматривают приведение всей информации, используемой при технологическом проектировании, к единому виду формального представления, что создает объективные предпосылки использования ЭВМ для ее переработки.

В ЕСТПП предусмотрена группа стандартов по правилам применения технических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ, регламентирующая основные принципиальные вопросы автоматизации технологической подготовки производства.

Основопологающим стандартом этой группы является ГОСТ 14.401—73 ЕСТПП «Правила организации работ по механизации и автоматизации решения инженерно-технических задач и задач управления технологической подготовкой производства». Этим ГОСТом регламентированы порядок проведения работ по автоматизации, установлены их этапы, состав работ на каждом этапе и требования, которым должен удовлетворять полученный результат. В самом процессе автоматизации предусмотрено создание математического, информационного и технического обеспечения автоматизированных методов, которые регламентированы остальными стандартами этой группы.

В истории развития автоматизации технологической подготовки производства можно выделить три этапа. Первый этап (период зарождения) длился с конца пятидесятых годов до 1966 г. На этом этапе с помощью ЭВМ решали частные задачи технологической подготовки, в основном расчетного характера. В Академии наук БССР (г. Минск) под руководством Г. К. Горанского были начаты работы по автоматизации конструирования и технологического проектирования: расчет деталей машин, конструирование сложных машиностроительных объектов, расчет режимов резания и норм времени, проектирование режущих инструментов и станочных приспособлений, работ по автоматизации вычерчивания и т. д. Были проведены функциональные исследования, которые в значительной степени предопределили дальнейшее развитие проблемы.

В Институте автоматики (г. Киев) под руководством Г. А. Спыну проводили работы по автоматизации подготовки программ для станков с числовым программным управлением, по автоматизации проектирования технологических процессов. В научно-исследовательском институте прикладной математики и кибернетики (г. Горький) под руководством А. М. Гильмана выполнены исследования по автоматизации проектирования технологических процессов. Важным событием стало создание в стране межотраслевой головной организации по применению математических методов

и средств вычислительной техники для автоматизации процессов технической подготовки производства — Института технической кибернетики Академии наук Белорусской ССР.

Второй этап (1967—1970 гг.) характеризуется бурным ростом числа организаций, занимающихся проблемой автоматизации технологической подготовки производства, и переходом от решения отдельных задач к созданию систем и подсистем технологического проектирования. Системный подход к технологическому проектированию позволил выявить перечень задач, для решения которых целесообразно привлекать ЭВМ, а также принципиальный состав и структуру автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Наибольшее распространение в машиностроении получил принцип автоматизации технологической подготовки производства на основе типовых (ГОСТ 14.303—73) и групповых (ГОСТ 14.316—75) технологических процессов. В соответствии с таким принципом автоматизации на многих машиностроительных предприятиях были проведены работы по унификации процессов, созданию классификационных групп деталей, унификации технологической оснастки и приспособлений, в том числе и штампов, специализации рабочих мест и другие подготовительные работы, определяющие по ГОСТ 14.312—74 основные признаки групповой формы организации производства.

На базе унификации технологических приспособлений и их функциональных элементов в виде нормализованных деталей и конструкций, типовых конструктивных решений и прочих данных подобного рода получили развитие принципы и алгоритмы автоматизированного конструирования приспособлений.

В составе функциональных возможностей системных пакетов прикладных программ (ППП) автоматизированного проектирования маршрутов и операций обработки эффективно стали решаться задачи подбора унифицированного и проектирования специального инструмента. При этом, как

показала практика, инструментальная подготовка производства должна базироваться в рамках единого комплекса технологической подготовки производства на основе гибких (многовариантных) алгоритмов выбора и проектирования инструментов.

Практический опыт эксплуатации систем автоматизированного проектирования в машиностроении позволил уточнить ранее известные и отработать новые принципы построения комплексных систем (подсистем) автоматизированного проектирования промышленных изделий. Некоторые из этих принципов, определившие тенденции создания следующих поколений систем автоматизированного проектирования в машиностроении, состоят в следующем:

- применение в составе технического обеспечения автоматизации базовых (центральных) ЭВМ высокой производительности с последующим переходом на двухуровневые машинные комплексы коллективного пользования;

- повышение уровня унификации и стандартизации операционных систем (ОС) проектирования, а также лингвистического и информационного обеспечения в рамках объектно-ориентированных систем автоматизированного проектирования;

- создание комплексов средств, ориентированных преимущественно на автоматизированное проектирование (интерактивный режим работы);

- организация программного обеспечения автоматизированного проектирования и ППП по принципу модульных наборов с возможностью их корректировки и пополнения с целью совершенствования выполнения любых проектных операций и процедур;

- автономность разработок и ввода в эксплуатацию по мере готовности объектных ППП (объектных подсистем) автоматизированного проектирования;

- повышение роли методического обеспечения автоматизированного проектирования и требований к его стандартизации;

- создание на предприятиях, занимающихся автоматизацией проектирования, специальных подразделений (групп) специалистов

сопровождения комплексов средств автоматизации проектирования;

-разработка и стандартизация состава и форм выходных документов автоматизированного проектирования для подразделений и сторонних предприятий-изготовителей объектов автоматизированного проектирования;

-оснащение подразделений и предприятий-изготовителей комплексом средств для автоматизированной корректировки проектных решений, полученных автоматизированными методами, и самостоятельной подготовки машинкой информации для управления технологическим оборудованием;

-организация новых разработок в промышленном освоении комплексов средств автоматизированного проектирования силами творческих коопераций специалистов различных предприятий и отраслей.

В отличие от периода создания первых АСТПП в настоящее время нет необходимости программировать всю систему "с нуля", используя лишь такие инструментальные средства как высокоуровневые языки программирования и системы управления базами данных. Использование PLM-решений во многом сводит задачу построения АСТПП к правильному выбору и конфигурированию инструментальных средств, их адаптации к условиям конкретного предприятия, настройке баз данных и баз знаний, разработке необходимых приложений, определению числа и видов автоматизированных рабочих мест, организации бизнес-процессов ТПП с использованием механизмов управления потоками производственных заданий.

## Список источников

1. Грегори Мэнкью. Макроэкономика [Текст]/ Грегори Мэнкью. - МГУ, 1994. - 734с.
2. Батищев, Д.И. Оптимизация в САПР [Текст]/ Д.И. Батищев, Я.Е. Львович, В.Н. Фролов. - Воронеж, Изд-во Воронежского государственного университета, 1997.
3. Дж. К. Джонс Методы проектирования (2-е изд., перераб.и доп.) [Текст]/ Дж. К. Джонс.- М.: Мир, 1986. - 326с.
4. ГОСТ 22487
5. ISO 9004-1
6. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для вузов: В 9 кн./ Под ред. И.П. Норенкова. — М.: Высш.шк., 1986.
7. Норенков, И.П. Телекоммуникационные технологии и сети [Текст]/ И.П. Норенков, В.А. Трудоношин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
8. Колчин, А.Ф. Управление жизненным циклом продукции [Текст]/ А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. — М.: Анахарсис, 2002.
9. Золотогоров, В.Г. Инвестиционное проектирование. [Текст]/ В.Г. Золотогоров. - Книжный Дом, Минск, РБ 2005. - 368с.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СТАКАНА ИЗ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ

## Цели работы:

- освоение методов построения пространственных графиков и графиков с областями
- освоение основных методов поиска решений средствами Excel
- исследование влияния силы прижима, радиуса матрицы и толщины заготовки на напряжение в опасном сечении.

## Постановка задачи:

Исследуется влияние силы прижима, радиуса матрицы и толщины заготовки на напряжение в опасном сечении на основании классических формул, полученных Е.А.Поповым [6].

Максимальную величину растягивающего напряжения  $\sigma_{\max}$ , действующую на границе пластически деформируемой части заготовки, без учета упрочнения материала можно определить по формуле

$$\sigma_{\rho_{\max}} = \sigma_s \left( \ln k + \frac{\mu Q}{\pi R s \sigma_s} + \frac{s}{2r_m + s} \right) (1 + 1,6\mu) \quad (1)$$

Здесь  $\sigma_s$  – напряжение текучести,  $k=R/r$  – коэффициент вытяжки,  $R$  – радиус заготовки,  $r=0,5(d_p+s)$  – радиус вытягиваемого стакана,  $d_p$  – диаметр пуансона,  $s$  – толщина заготовки,  $Q$  – сила прижима,  $r_m$  – радиус кромки матрицы,  $\mu$  - коэффициент трения.

Первое слагаемое в скобках отражает влияние напряженно-деформированного состояния во фланце заготовки, второе – влияние сил трения на фланце заготовки от силы прижима, третье – влияние изгиба-спрямления на кромке матрицы. Дополнительный множитель  $1+1,6\mu$  учитывает силы трения на кромке матрицы.

Сила прижима  $Q$  препятствует потере устойчивости заготовки во фланце (складкообразование) одновременно увеличивая напряжения в опасном

сечении. Различные исследователи предлагают различные эмпирические формулы для определения рациональной силы прижима. Так, например, И.А. Норицыным [8] предложена простая оценка рациональной силы прижима [7], как  $\frac{1}{4}$  от силы вытяжки.

$$Q_p = 0,25P; \quad P = 2\pi r s \sigma_{\rho \max} \quad (2)$$

С учетом упрочнения формула (1) принимает следующий вид[8]:

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_B \left\{ \left[ \ln k \left( \frac{1+k}{2} \right)^{\psi_{ш}} \right]^{\frac{1}{1-\psi_{ш}}} + \frac{\mu Q}{\pi R s \sigma_B} + \frac{s}{2r_m + s} \right\} (1 + 1,6\mu) \quad (3)$$

Здесь  $\sigma_B$  – предел прочности материала,  $\psi_{ш}$  – относительное уменьшение площади поперечного сечения к моменту образования шейки.

При проведении занятия необходимо средствами Excel решить следующие задачи:

1. Для заданных геометрических параметров заготовки, матрицы и пуансона, а также свойств материала определить, исходя из формулы (1) максимальную силу прижима, при которой отсутствует разрушение, а также, исходя из формул (1) и (2) – рациональную силу прижима.
2. Проанализировать вклад различных составляющих формулы (1), отражающих влияние напряженно-деформированного состояния во фланце, сил трения во фланце и изгиба-спрямления на кромке матриц, при изменении силы прижима от  $\approx Q_p$  до  $\approx Q_{\max}$  с шагом 10000 Н.
3. Определить максимальный коэффициент вытяжки для заданных условий по формуле (3).
4. Построить пространственный график взаимного влияния толщины заготовки и радиуса матрицы на величину максимального напряжения в опасном сечении при рациональном значении силы прижима.

#### **Методы решения с использованием Excel:**

Для поиска решений в Excel применяются два основных средства, доступных из меню Сервис: Подбор параметра... и Поиск решения... .

Средство Подбор параметра используют в том случае, когда необходимо

найти определенный числовой результат в какой-либо ячейке путем подбора значения другой ячейки. Типичный пример – решение алгебраических уравнений: необходимо подобрать такое значение неизвестного, при котором правая и левая часть уравнения равны между собой. В нашем случае это средство в наилучшей степени подходит для решения задачи определения максимальной и рациональной силы прижима.

При выборе этого средства раскрывается диалоговое окно, имеющее несколько полей:

- В поле Установить в ячейке введите ссылку на ячейку, содержащую необходимую формулу.
- В поле Значение введите искомый результат.
- В поле Изменяя значение ячейки введите ссылку на ячейку, содержащую подбираемое значение.

Средство Поиск решения имеет более общее назначение. Процедуру поиска решения можно использовать для определения значений влияющих ячеек, которое соответствует экстремуму зависимой ячейки (например, максимальный коэффициент вытяжки). Влияющие и целевая ячейки должны быть связаны формулой на одном листе, иначе при изменении значения одной не будет изменяться другая. Надстройка Поиск решения позволяет задавать большое количество ограничений как на зависимую, так и на влияющие ячейки, что делает его мощным орудием анализа данных в Excel.

При выборе пункта Поиск решения из меню Сервис открывается диалоговое окно следующего вида:

В поле Установить целевую необходимо занести ссылку на зависимую ячейку – т.е. на ту ячейку, значение которой будет подбираться путем изменения значений во влияющих ячейках – их адреса заносятся в поле Изменяя ячейки. Можно осуществить поиск значений влияющих ячеек сообщающих целевой ячейке максимальное, минимальное значения, либо значения, равные конкретному числу (аналог Подбора параметра). Для этого необходимо выбрать нужный пункт в группе радиокнопок Равной. В поле Ограничения следует записать ограничения на влияющие и целевую ячейки. Добавление новых ограничений осуществляется после нажатия на экранную кнопку Добавить. Открывающееся диалоговое окно позволяет накладывать ограничения в виде равенств и неравенств на значения в ячейках, а также требовать их целочисленности. После заполнения всех полей следует нажать экранную кнопку Выполнить.

При оформлении таблиц в заголовках часто приходится использовать греческие символы. К сожалению, в Excel отсутствует команда меню Вставить...Символ, как в Word. Поэтому рационально использовать следующую методику:

- Вместо греческих символов ввести латинский эквивалент (наиболее распространенные греческие символы на латинской клавиатуре имеют следующий эквивалент:

- a – □ ; b – □ ; d – □ ; D – □ ; e – □ ; h – □ ; g – □ ; l – □ ; m – □ ; n – □ ; w – □ ; j – □ ;  
- □ ; р – □ ;  
y – □ ; r – □ ; s – □ ; t – □ ; q – □ ; x – □ ).
- Выделить набранный символ и воспользовавшись полем Шрифт панели инструментов Форматирование изменить для этого символа тип шрифта на Symbol

Для создания верхних и нижних индексов следует воспользоваться аналогичной методикой. Сначала набрать символы, помещаемые в индексы, затем выделить их в строке формул, нажать клавиатурную комбинацию Ctrl-1 (либо выполнить команду меню Формат – Ячейки) и в открывшемся диалоговом окне щелкнуть мышью по флажку нижний индекс в группе Эффекты, после чего нажать экранную кнопку ОК.

**Последовательность выполнения:**

1. Запустить EXCEL.
2. На листе 1 создать таблицу с исходными данными эксперимента и поясняющими надписями по следующему образцу (при заполнении таблиц пользуйтесь способами копирования и автозаполнения):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Исследование операции вытяжки								
2	Исходные данные								
3	□ <sub>s</sub> , МПа	200	□ <sub>B</sub> , МПа	250	□ <sub>ш</sub>	0,35			
4	D, мм	62	s, мм	2					

5	d <sub>п</sub> , мм	37	r <sub>м</sub> , мм	3	<input type="checkbox"/>	0,15			
6	Результаты расчета								
7	d		k		1+1,6*	<input type="checkbox"/>			
8	Q <sub>max</sub> , Н	<input type="checkbox"/> <sub>ф</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>п</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>м</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>□</sub> max				
9									
10	Q <sub>рац</sub> , Н	<input type="checkbox"/> <sub>ф</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>п</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>м</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>□</sub> max	Р, Н	0.25*Р	<input type="checkbox"/>	
11									
12	Q, Н	<input type="checkbox"/> <sub>ф</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>п</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>м</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>□</sub> max	фланец %	прижи м%	матрица %	
13	20000								
14	30000								
15	40000								
16	50000								
17	60000								
18	70000								
19	80000								
20	k	Q <sub>рац</sub> , Н	<input type="checkbox"/> <sub>ф</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>п</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>м</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>□</sub> max	Р, Н	0.25*Р	<input type="checkbox"/>

3. Занести в следующие ячейки формулы для определения диаметра стаканчика и коэффициента вытяжки

B7	=B5+D 4
D7	=B4/B7

4. Занести в ячейку F7 формулу для определения коэффициента  $1+1,6*\mu$ , в выражениях (1) и (3).
5. В следующие ячейки занести формулы для определения составляющих максимального напряжения в опасном сечении по формуле (1) (предварительно внесите в ячейку A9 значение 10000, которое будет являться начальным для подбора максимальной силы прижима)

Ячейк а	Формула	Вид формулы в Excel	Значение в ячейке (для контроля правильности ввода)
B9	$\sigma_{\phi} = \sigma_s (\ln k)(1 + 1,6\mu)$	=B\$3*LN(\$D\$7)*F\$7	114,966
C9	$\sigma_{\pi} = \left(\frac{\mu Q}{\pi R s}\right)(1 + 1,6\mu)$	=F\$5*A9*2/(ПИ()*B\$ 4 *\$D\$4)*F\$7	9,549
D9	$\sigma_m = \sigma_s \left(\frac{s}{2r_m + s}\right)(1 + 1,6\mu)$	продумать самостоятельно	

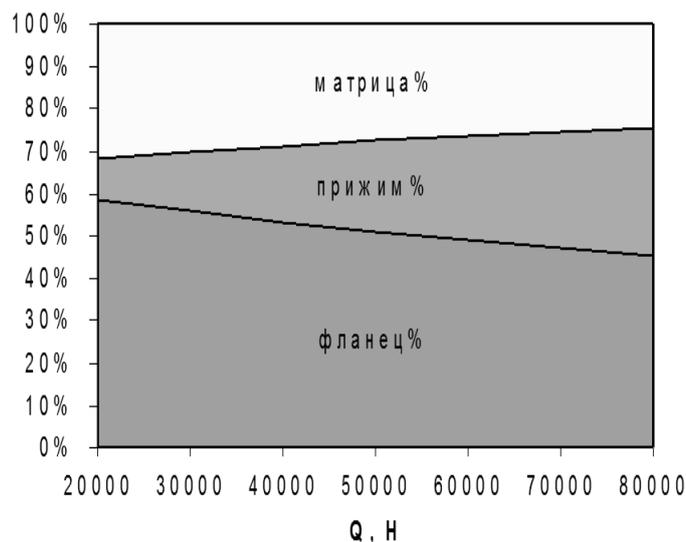
6. В ячейку E9 занести формулу для вычисления максимального напряжения в опасном сечении как сумму значений в ячейках B9:D9
7. Подобрать значение  $Q_{max}$ , воспользовавшись командой Сервис-Подбор параметра. В открывшемся диалоговом окне заполнить поля следующим образом

Подбор параметра		?	×
Установить в ячейке:	E9		ОК
Значение:	250		Отмена
Изменяя значение ячейки:	\$A\$9		

Значение 250 соответствует пределу прочности материала, что определяет предельное состояние в опасном сечении. Нажать экранную кнопку ОК. После подбора параметра в окне Результаты подбора параметра также нажать экранную кнопку ОК

8. Подобрать рациональное значение силы прижима, для чего предварительно выполнить следующие действия:
  - 8.1. Скопировать формулы и значения из диапазона A9:E9 в диапазон A11:E11.
  - 8.2. Занести в ячейку F11 формулу  $=\text{ПИ}()*\$B\$4*\$D\$4*E11$  для определения максимальной силы вытяжки по формуле (2)
  - 8.3. Занести в ячейку G11 формулу для определения силы прижима как  $\frac{1}{4}$  от силы вытяжки.
  - 8.4. Занести в ячейку H11 формулу для определения ошибки, как разницы между предположенным значением силы прижима в ячейке A11 и полученным значением рациональной силы прижима в ячейке G11.
  - 8.5. С помощью Сервис – Подбор параметра определить величину рациональной силы прижима, поставив задачу следующим образом: «Изменяя значение предположенной величины силы прижима в ячейке A11 добиться того, чтобы ошибка вычисления силы была равна 0»
9. В ячейках A13:H19 подготовить данные для построения графика степени влияния различных слагаемых в формуле (1) на величину максимального напряжения в опасном сечении при изменении силы прижима в диапазоне 10000...80000 Н с шагом 10000Н. Указания:
  - ☞ для заполнения ячеек B13:E19 воспользуйтесь уже готовыми формулами в ячейках A11:E11;

- ↪ для быстроты заполнения ячеек F13:H19 воспользуйтесь смешанной адресацией введя в ячейку F13 следующую формулу для вычисления относительного влияния фланца =B13/\$E13;
  - ↪ распространите формулу в ячейке F13 на диапазон F13:H19;
  - ↪ задайте в диапазоне F13:H19 процентный формат представления числа, воспользовавшись кнопкой % на панели Форматирование.
9. Отобразите графически результаты, представленные в ячейках F13:H19, воспользовавшись следующей последовательностью операций:
- 9.1. Выделите диапазон F12:H19 и нажмите экранную кнопку Мастер диаграмм на Основной панели инструментов.
  - 9.2. В открывшемся диалоговом окне выберите Тип диаграммы: С областями, Вид: Нормированная диаграмма (третья слева в верхнем ряду), нажмите кнопку Далее.
  - 9.3. На вкладке Ряд (Шаг 2 мастера диаграмм) в поле Подписи оси X внесите диапазон: =Лист1!\$A\$13:\$A\$19, нажмите кнопку Далее;
  - 9.4. На вкладке Подписи данных (Шаг 3 мастера диаграмм) щелкните мышью в пункте категория группы Подписи значений; на вкладке Легенда уберите флажок в пункте Добавить легенду; на вкладке Заголовки в поле Ось X наберите: Q, H, нажмите экранную кнопку Готово
  - 9.5. Переместите полученную диаграмму в диапазон A22:F39, изменив размеры с помощью размерных маркеров.
  - 9.6. Измените цвет заливки областей так, чтобы были хорошо видны надписи внутри. Для этого сначала необходимо щелкнуть мышью по области так, чтобы она выделилась, а затем использовать кнопку Цвет заливки на панели инструментов Форматирование. Примерный вид получившейся диаграммы приведен ниже:



10. Определите максимальное значение коэффициента вытяжки для заданных значений параметров материала, параметров заготовки и матрицы, используя формулу (3). Для этого выполните следующую последовательность действий:

10.1. В ячейки A21 и B21 занесите начальные значения коэффициента вытяжки и величины силы прижима (соответственно 1,5 и 10000).

10.2. В ячейки C21:E21 занесите следующие формулы:

Ячейк а	Формула	Вид формулы в Excel	Значение в ячейке (для контроля правильности ввода)
C21	$\sigma_{\phi} = \sigma_B \left[ \ln k \left( \frac{1+k}{2} \right)^{\psi_{\mu}} \right]^{\frac{1}{1-\psi_{\mu}}} (1+1,6\mu)$	=D\$3*(LN(\$A\$21 )*) ((1+\$A\$21)/2)^\$F\$ 3)^ (1/(1-\$F\$3))*\$F\$7	87,17572
D21	$\sigma_{\Pi} = \left( \frac{\mu Q}{\pi R s} \right) (1+1,6\mu)$	продумать самостоятельно	9,549297

E21	$\sigma_M = \sigma_B \left( \frac{s}{2r_M + s} \right) (1 + 1,6\mu)$	продумать самостоятельно	77,5
-----	--	-----------------------------	------

10.3. Ввести в ячейки F21:I21 формулы аналогично ячейкам E11:H11.

Результаты в ячейках должны получиться следующими:

<input type="checkbox"/> max	P, H	0.25*P	<input type="checkbox"/>
174,225	67870,6	16967,6	-
	6	6	6967,66

10.4. Воспользоваться надстройкой Поиск решения. В диалоговом окне Поиск решения внести следующие данные:

**Поиск решения** [?] [X]

Установить целевую:  [fx]

Равной:  максимальному значению  значению:

минимальному значению

Изменяя ячейки:  [fx]

Ограничения:

10.5. Нажать кнопку Выполнить и после окончания процесса поиска решения, который может продлиться несколько секунд, нажать кнопку ОК в окне Результаты поиска решения.

11. Построить пространственный график влияния толщины заготовки и радиуса кромки матрицы на величину напряжения в опасном сечении, для чего выполнить следующие подготовительные действия:

11.1. Скопировать данные и формулы из диапазона A1:H11 листа 1 в тот же диапазон на листе 2 (воспользуйтесь кнопками Копировать и Вставить

на панели инструментов Основная). Все дальнейшие действия производить на листе 2

11.2. Удалите строки с 8 по 9

11.3. Перенесите (не копировать!) содержимое следующих ячеек: из C5 в I8; из D5 в I9

11.4. В формуле, содержащейся в ячейке D9 замените абсолютный адрес ячейки  $\$I\$9$  на смешанный  $\$I9$  (это позволит в дальнейшем воспользоваться приемом автозаполнения).

11.5. В ячейки I9:I13 занесите варьируемые значения радиуса скругления кромки матрицы 3; 5; 7; 9; 11

11.6. Используя прием автозаполнения, распространите формулы и значения из диапазона A9:H9 на диапазон A9:H13.

11.7. Убедитесь в том, что значения силы прижима для радиусов матрицы отличных от 3 нерациональны (ошибка  $\neq 0$ ). Для построения требуемых зависимостей следует подобрать рациональное значение силы прижима для всех радиусов матрицы, в противном случае результаты будет трудно сравнивать. Для подбора рациональных значений силы прижима можно воспользоваться средством Подбор параметра, как это было сделано выше. Однако быстрее результат будет получен, если использовать Поиск решения:

11.7.1. Занесите в ячейку H14 формулу суммарной ошибки определения силы прижима для всех 5-и значений радиусов матриц

11.7.2. Сформулируйте задачу поиска решения так, как это показано ниже и выполните поиск. Убедитесь в том, что нужное решение было найдено сразу для всех значений радиусов матриц.

**Поиск решения** [?] [X]

Установить целевую  [F4]

Равной:  максимальному значению  значению:

минимальному значению

Изменяя ячейки:

[F4]

Ограничения:

11.8. Создайте в ячейках A15:G21 следующую вспомогательную таблицу

	A	B	C	D	E	F	G
15		1	2	3	4	5	s, мм
16	3						
17	5						
18	7						
19	9						
20	11						
21	гм, мм						

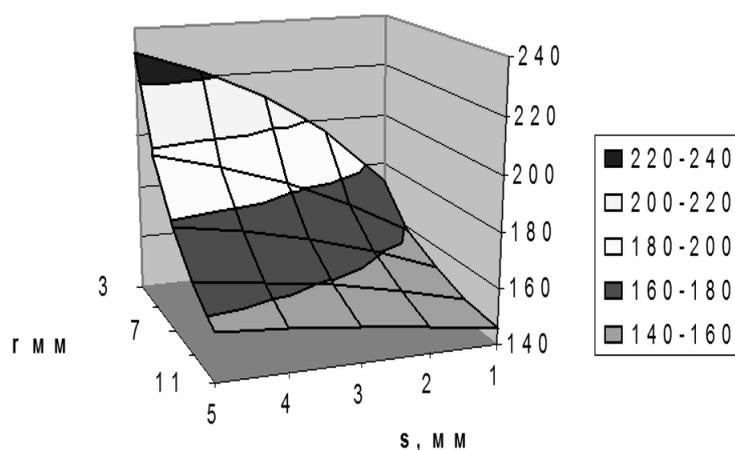
11.9. Скопируйте значения (а не формулы!) из диапазона E9:E13 в диапазон C16:C20 (поскольку значения максимального напряжения в опасном сечении были получены для толщины заготовки 2 мм – см. значение в ячейке D4). Для копирования значений пользуются следующим приемом:

11.9.1. Выделите копируемый диапазон E9:E13 и нажмите кнопку копировать

- 11.9.2. Перейдите в ячейку С16 (начальная ячейка диапазона куда копируют) и выполните команду меню Правка-Специальная вставка
- 11.9.3. В открывшемся диалоговом окне щелкнуть мышью в пункте Значения группы Вставить и нажать экранную кнопку ОК.
- 11.10. Меняя последовательно значения толщины заготовки в ячейке D4 на 1, 3,4,5 выполните подбор силы прижима в соответствии с п.12.7.2 и скопируйте полученные значения напряжений в соответствующий столбец таблицы п12.8 по методике 12.9.
- 12.Отобразите графически результаты, представленные в ячейках В16:F20, воспользовавшись следующей последовательностью операций:
- 12.1.Выделите диапазон А15:F20 и нажмите экранную кнопку Мастер диаграмм на Основной панели инструментов.
- 12.2.В открывшемся диалоговом окне выберите Тип диаграммы: Поверхность, Вид: Поверхность (пиктограмма в верхнем левом углу группы вид), нажмите кнопку Далее.
- 12.3.Ничего не меняя на Шаге 2 мастера диаграмм, нажмите кнопку Далее;
- 12.4.На вкладке Заголовки (Шаг 3 мастера диаграмм) в поле Ось X наберите: s, мм, в поле Ось Y – r, мм и нажмите экранную кнопку Готово
- 12.5.Переместите полученную диаграмму в диапазон А22:F39, изменив размеры с помощью размерных маркеров.
- 12.6.Выполните форматирование полученной диаграммы:
- 12.6.1. Измените диапазон изменения по оси Z. Щелкните мышью по оси так, чтобы она выделилась
- 12.6.2. Выполните команду меню Формат – Выделенная ось.
- 12.6.3. В открывшемся диалоговом окне на вкладке Шкала в поле Минимальное значение введите 140, в поле максимальное значение – 240, в поле цена основных делений – 20. Нажмите экранную кнопку ОК.

12.6.4. Щелкните правой клавишей мыши по пустому полю диаграммы вблизи правого верхнего угла. В открывшемся контекстном меню выберите пункт Объемный вид...

12.6.5. Изменяя значения в полях Возвышение, Перспектива и Поворот (это можно сделать с помощью экранных кнопок с соответствующими пиктограммами) добейтесь наиболее информативного вида диаграммы. Результаты изменения объемного вида можно просмотреть не закрывая диалогового окна, нажав на экранную кнопку применить. По нашему мнению неплохой вид диаграмма получит при значениях Возвышение=15, Перспектива=30, Поворот=160. Примерный вид диаграммы приведен ниже



12.6.6. Попробуйте поэкспериментировать с другими возможностями форматирования объемной диаграммы, не забывая, что прежний вид всегда можно вернуть, нажав на экранную кнопку Отменить (не более 3-х шагов назад)

13. Завершить работу, сохранив ее в файле work3.xls.

14. Запустить EXCEL, вернуться к документу work3.xls и предъявить его преподавателю.

15. Предъявить преподавателю краткий конспект занятия.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ВЫРУБКИ ЛИСТОВЫХ ОБРАЗЦОВ**

### **Цели работы:**

- ↪ закрепление основных приемов создания и форматирования таблицы
- ↪ закрепление методов построения точечных графиков
- ↪ освоение основных методов обработки многофакторных экспериментов

### **Постановка задачи:**

Исследуется влияние величины зазора  $Z$  между пуансоном и матрицей на качество среза и силу  $P$ , необходимую для вырубки листовых образцов.

Заготовки после вырубки осматривают и оценивают качество среза по 3-х бальной шкале. Наилучшим срезом, оцениваемым в 3 бала, считается состоящий из трех зон (I – зона скругления, II – блестящий поясок, III – зона скола) При этом зона I должна иметь незначительный размер. Если эта зона возрастает по сравнению с наименьшей, полученной при вырубке заготовки из данного материала, или вырубленный образец имеет заметный прогиб, то качеству среза присваивают оценку 2 бала. Если же поверхность рваная, с дополнительными поясками, то качеству среза присваивают оценку 1 балл.

Вырубаются кружки из стали 45 и меди в матрице диаметром 25 мм. Толщина заготовок 7 мм. Уровни варьирования зазора, по отношению к толщине заготовки составляют 0.03, 0.05 и 0.1.

По результатам опыта необходимо построить зависимость качества реза и силы вырубки от зазора между пуансоном и матрицей для каждого из используемых материалов и определить оптимальные величины зазоров.

### **Методы решения с использованием Excel:**

При использовании методов планирования эксперимента изучаемый объект представляют в виде некоторого «черного ящика», выходные параметры которого зависят от входных параметров. Математическая модель, отражающая связь между выходными и контролируруемыми входными параметрами

записывают в виде полинома следующего вида [9]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (1)$$

Задачей обработки эксперимента является определение значений коэффициентов регрессионной модели. Расчет коэффициентов производят на основе метода наименьших квадратов, путем минимизации суммы квадратов разностей между экспериментальными и рассчитанными по модели значениями. Естественно, что количество опытов в эксперименте должно быть не меньше количества неизвестных коэффициентов в модели.

Для нахождения коэффициентов моделей типа (1) в Excel применяют встроенную функцию ЛИНЕЙН. Функция ЛИНЕЙН рассчитывает статистику для ряда с применением метода наименьших квадратов, чтобы вычислить прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные. Функция возвращает массив, который описывает полученную прямую. Поскольку возвращается массив значений, функция должна задаваться в виде формулы массива. Уравнение для прямой линии имеет следующий вид:

$$y = b + m_1 d_1 + m_2 d_2 + \dots \quad (2)$$

где зависимое значение  $y$  является функцией независимых значений  $d_i$ . Значения  $m_i$  - это коэффициенты, соответствующие каждой независимой переменной  $d_i$ , а  $b$  - это постоянная.

Сравнение формул (1) и (4) показывает, что если в качестве переменных  $d_i$  использовать значения переменных  $x_i$ , а также различные функции от  $x_i$ , то коэффициент  $b$  в формуле (2) имеет смысл коэффициента  $b_0$  в формуле (1), а коэффициенты  $m_i$  - соответственно коэффициентов  $b_i, b_{ij}, b_{ii}$

Функция ЛИНЕЙН возвращает массив значений коэффициентов в обратном порядке  $\{m_n; m_{n-1}; \dots; m_1; b\}$ . ЛИНЕЙН может также возвращать дополнительную регрессионную статистику.

Синтаксис функции: ЛИНЕЙН(У;D;K;С)

Здесь: У - множество (обычно столбец) известных значений  $y$

D - множество (обычно диапазон) известных значений  $d$ . Если множество

Y – столбец, то диапазон D должен иметь столько же строк, сколько столбец значений Y. Количество столбцов диапазона D определяет количество n неизвестных коэффициентов  $m_i$  регрессионной модели

K - логическое значение, которое указывает, требуется ли, чтобы константа b была равна 0. Если K=1 (имеет значение ИСТИНА), то b вычисляется обычным образом. Если K=0 (имеет значение ЛОЖЬ), то b полагается равным 0.

C - логическое значение, которое указывает, требуется ли вернуть дополнительную статистику по регрессии. Если C=1 (ИСТИНА), то функция ЛИНЕЙН возвращает дополнительную регрессионную статистику (дополнительную информацию о регрессионной статистике можно получить воспользовавшись справкой Excel). Если C=0 (ЛОЖЬ) то функция ЛИНЕЙН возвращает только коэффициенты m и постоянную b.

В настоящей работе математическая модель качества среза  $y_1$  и силы вырубки  $y_2$  записывают в виде полинома следующего вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}z_1 + b_{12}x_1x_2 + b_{211}x_2z_1 \quad (3)$$

Здесь  $x_1$  – значение зазора в кодовом масштабе,  $x_2$  – код материала,  $z_1$  – квадратичная функция от  $x_1$ .

В натуральном масштабе матрица плана эксперимента выглядит следующим образом:

Номер опыта	X1	X2	Качество среза, $y_1$	Сила вырубки [кН], $y_2$
1	0,03	0	2	197
2	0,05	0	1	195
3	0,1	0	1	192
4	0,03	1	3	100

5	0,05	1	2	98
6	0,1	1	1	96

Для обработки данных эксперимента переходят к кодированному масштабу. В данной задаче по методике, изложенной в [1] получены следующие формулы для перехода от натурального к кодированному масштабу:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 100(X_1 - 0,06) \\
 z_1 &= (x_1^2 - 1,4x_1 - 8,7) \\
 x_2 &= 2(X_2 - 0,5)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Оптимизацию полученных регрессионных моделей можно осуществить двумя способами: либо визуально, построив графики, либо используя методы оптимизации, реализованные в Excel.

### Последовательность выполнения

1. Запустить EXCEL
2. Переименуйте листы книги следующим образом: Лист1 – Модель, Лист2 – Сталь, Лист3 – Медь. Для этого необходимо щелкнуть правой клавишей мыши по ярлычку листа и в открывшемся контекстном меню выбрать пункт Переименовать.
3. На листе Модель создать таблицу с исходными данными эксперимента и поясняющими надписями по следующему образцу (при заполнении таблиц пользуйтесь способами копирования и автозаполнения):

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Исследование операции вырубki листовых образцов							
2	Матрица плана в натуральном масштабе							

3	N опыта	X1	X2					
4	1	0,03	0					
5	2	0,05	0					
6	3	0,1	0					
7	4	0,03	1					
8	5	0,05	1					
9	6	0,1	1					
10	Матрица плана в кодированном масштабе							
11	N опыта	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
12		d1	d2	d3	d4	d5		
13	1						2	197
14	2						1	195
15	3						1	192
16	4						3	100
17	5						2	98
18	6						1	96
19	Коэффициенты регрессионных моделей вида							

20	$y=b+m1*d1+m2*d2+m3*d3+m4*d4+m5*d5$							
21		m5	m4	m3	m2	m1	b	
22	y1							
23	y2							

4. На листе Сталь и Медь

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Варьирование зазором							
2	X1	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
3	0,1							
4	0,09							
5	0,08							
6	0,07							
7	0,06							
8	0,05							
9	0,04							
10	0,03							
11	Поиск оптимального зазора							
12	X1	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН

5. Заполните диапазон B13:D18 формулами (4) для перехода от натурального масштаба к кодированному. Для ячейки B13 формула будет выглядеть следующим образом:  $=100*(B4-0,06)$
6. Заполните диапазон E13:F18 формулами для подсчета произведений  $x_1x_2$  и  $x_2z_1$
7. В диапазон B22:G22 введите формулу для определения коэффициентов регрессии для модели качества среза ( $y_1$ ) с помощью мастера функций. Последовательность действий приведена ниже:
  - ↪ Выделить B22:G22
  - ↪ Меню Вставка-Функция (или кнопка Вставка функции)
  - ↪ Категория – Статистические, Функция – ЛИНЕЙН, Кнопка ОК
  - ↪ Окно Изв\_знач\_y - G13:G18 (мышью или с клавиатуры)
  - ↪ Окно Изв\_знач\_x - B13:F18 (мышью или с клавиатуры)
  - ↪ Окно Константа – 1
  - ↪ Окно Стат – 0
  - ↪ Нажать клавиатурную комбинацию Ctrl-Shift-Enter
  - ↪ Формула массива вставится в выделенный диапазон и в нем появятся значения коэффициентов
8. Аналогично введите формулу для определения коэффициентов модели для силы вырубки ( $y_2$ ) в диапазон B23:G23. В качестве диапазона известных значений  $y$  используйте столбец со значениями  $y_2$  в матрице плана в кодированном масштабе.
9. Постройте графики изменения качества реза и силы деформирования для стали на основании полученной модели. Для этого сначала необходимо заполнить таблицу данных на Листе Сталь. Используйте следующую последовательность действий:
  - ↪ В ячейку Сталь!B3 занесите формулу  $=100*(A3-0,06)$  для перехода в кодированный масштаб
  - ↪ В диапазон Сталь!C3:C10 занесите значение  $-1$  (минус 1), соответствующее коду стали в кодированном масштабе.

- ↪ Скопируйте формулы из диапазона Модель!D13:Модель!F13 в диапазон Сталь!D3:Сталь!F3, для чего:
  - Выделите диапазон D13:F13 на листе Модель и нажмите кнопку Копировать
  - Выделите ячейку D3 на листе Сталь и нажмите кнопку Вставить
- ↪ Распространите формулы диапазона В3:F3 на диапазон В3:F10
- ↪ Занесите в ячейку G3 на листе Сталь формулу для определения качества реза:
 
$$=Модель!\$G\$22+Модель!\$F\$22*В3+Модель!\$E\$22*С3+Модель!\$D\$22* D3+ Модель!\$C\$22*Е3+Модель!\$B\$22*F3$$
- ↪ Аналогично занесите в ячейку H3 на листе Сталь формулу для определения силы вырубki (вид формулы продумайте сами)
- ↪ Распространите формулы из диапазона G3:H3 на диапазон G3:H10
- ↪ Проверьте себя: для строк со значениями  $x_1=4,-1,3$  величины  $y_1$  и  $y_2$  должны точно совпадать с исходными данными

10. Постройте точечные графики  $y_1=f(X_1)$ ,  $y_2=f(X_1)$  на различных диаграммах и расположите их на том же листе Сталь и отформатируйте так, как показано в приложении. Область диаграммы  $y_1=f(X_1)$  должна занимать диапазон A15:D28, а  $y_2=f(X_1)$  – диапазон E15:H28. Указание: Прежде чем начать строить диаграммы с помощью мастера диаграмм выделите сначала диапазон значений аргумента A3:A10, а затем держа нажатой клавишу Ctrl на клавиатуре – диапазон значений аргумента (соответственно G3:G10 для  $y_1$  и H3:H10 для  $y_2$ ). Выделение с нажатой клавишей Ctrl позволяет выделить несмежные диапазоны данных.

11. Проанализируйте график качества среза. Очевидно, что наилучшее качество достигается при минимальном зазоре 0.03. Значение оптимального зазора можно было найти не прибегая к построению графика, воспользовавшись встроенными в Excel средствами поиска оптимальных решений.

- ↪ Скопируйте формулы из диапазона В3:H3 в диапазон В13:H13
- ↪ Выполните команду меню Сервис-Поиск решения

↪ В открывшемся окне Поиск решения занесите в окошки ввода следующие величины (мышью или с клавиатуры):

- Установить целевую -  $\$G\$13$
- Равной – максимальному значению
- Изменяя ячейки -  $\$A\$13$
- Ограничения -  $\$A\$13 \geq 0.03$ ;  $\$A\$13 \leq 0.1$  (Воспользуйтесь кнопкой Добавить справа от окна Ограничения. При вводе десятичной точки строго пользуйтесь точкой на основной клавиатуре)

↪ Нажмите кнопку Выполнить

↪ Excel выполнит поиск оптимального решения с заданными ограничениями, после чего появится окно Результаты поиска решений, в котором следует нажать кнопку ОК. Убедитесь, что Excel самостоятельно нашел правильное решение.

↪ Попытайтесь найти самостоятельно зазор, обеспечивающий наихудшее качество

12. Постройте графики для Меди повторив пункты 9-11 на листе Медь (столбец x2 должен иметь значение 1, соответствующее коду меди). Пункт 12 можно выполнить проще. Если догадаетесь как – то сэкономите себе время.

13. Отформатируйте таблицы и графики так, как это показано в приложении. Если сможете – сделайте внешний вид полученных таблиц более привлекательным.

14. Завершить работу, сохранив ее в файле work3.xls.

15. Запустить EXCEL, вернуться к документу work3.xls и предъявить его преподавателю.

16. Предъявить преподавателю краткий конспект занятия.

## Приложение

### Лист Модель:

Исследование операции вырубki листовых образцов

Матрица плана в натуральном масштабе

N опыта	X1	X2
1	0,03	0
2	0,05	0
3	0,1	0
4	0,03	1
5	0,05	1
6	0,1	1

Матрица плана в кодированном масштабе

N опыта	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
	d1	d2	d3	d4	d5		
1	-3	-1	4,5	3	-4,5	2	197
2	-1	-1	-6,3	1	6,3	1	195
3	4	-1	1,7	-4	-1,7	1	192
4	-3	1	4,5	-3	4,5	3	100
5	-1	1	-6,3	-1	-6,3	2	98
6	4	1	1,7	4	1,7	1	96

Коэффициенты регрессионных моделей вида

$$y = b + m_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot d_2 + m_3 \cdot d_3 + m_4 \cdot d_4 + m_5 \cdot d_5$$

	m5	m4	m3	m2	m1	b
y1	-0,01429	-0,07714	0,057143	0,332857	-0,19143	1,668571
y2	0,014286	0,077143	0,071429	-48,3329	-0,61429	146,3357

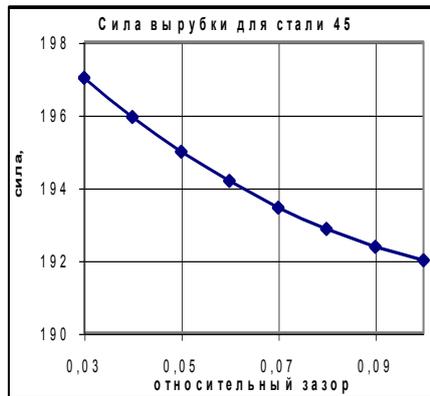
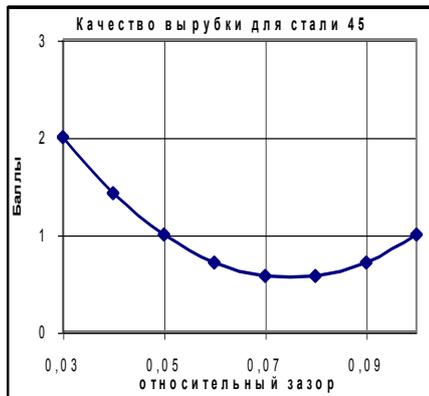
# Лист Сталь:

Варьирование зазором

X1	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
0,1	4	-1	1,7	-4	-1,7	1,0000	192,0000
0,09	3	-1	-3,9	-3	3,9	0,7143	192,3714
0,08	2	-1	-7,5	-2	7,5	0,5714	192,8571
0,07	1	-1	-9,1	-1	9,1	0,5714	193,4571
0,06	0	-1	-8,7	0	8,7	0,7143	194,1714
0,05	-1	-1	-6,3	1	6,3	1,0000	195,0000
0,04	-2	-1	-1,9	2	1,9	1,4286	195,9429
0,03	-3	-1	4,5	3	-4,5	2,0000	197,0000

Поиск оптимального зазора

X1	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
0,03	-3	-1	4,5	3	-4,5	2,0000	197,0000



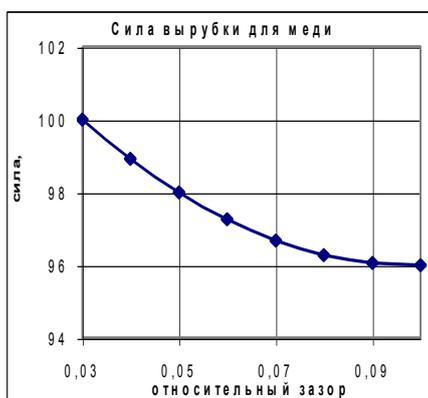
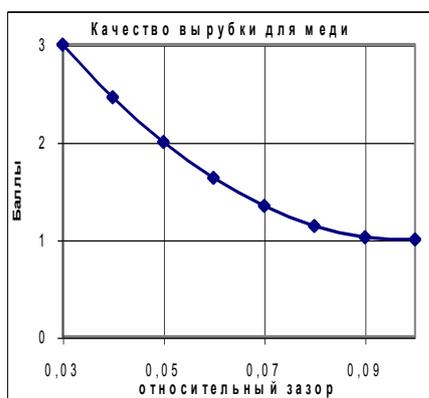
# Лист Медь:

Варьирование зазором

X1	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
0,1	4	1	1,7	4	1,7	1,0000	96,0000
0,09	3	1	-3,9	3	-3,9	1,0286	96,0571
0,08	2	1	-7,5	2	-7,5	1,1429	96,2857
0,07	1	1	-9,1	1	-9,1	1,3429	96,6857
0,06	0	1	-8,7	0	-8,7	1,6286	97,2571
0,05	-1	1	-6,3	-1	-6,3	2,0000	98,0000
0,04	-2	1	-1,9	-2	-1,9	2,4571	98,9143
0,03	-3	1	4,5	-3	4,5	3,0000	100,0000

Поиск оптимального зазора

X1	x1	x2	z1	x1x2	x2z1	y1	y2, кН
0,03	-3	1	4,5	-3	4,5	3,0000	100,0000





$$\eta = \frac{\pi D^2 N}{4BL}$$

Здесь  $N$  – количество заготовок, помещающихся на листе.

Для сравнения вариантов, одинаковых по величине коэффициента использования металла, можно использовать дополнительный показатель – площадь концевой отхода, остающегося при раскрое полосы. Можно ожидать, что чем больше эта площадь, тем с большей эффективностью можно использовать концевой отход для других производственных нужд. Для приведения этого критерия к безразмерному виду можно отнести величину площади концевой отхода к максимальной площади листа, который может быть использован. Как следует из изложенного выше, максимальная площадь листа составляет  $B_{\max} \times L_{\max} = 1100 \times 3000$  мм<sup>2</sup>. Тогда критерий площади концевой отхода может быть рассчитан как:

$$\zeta = \frac{B_o L}{1100 \times 3000}$$

В качестве обобщенной целевой функции  $F$  (критерия качества), может быть использована аддитивная функция, в которой критерий площади концевой отхода  $\zeta$  взят с весовым коэффициентом 0.1, как менее важный, по сравнению с критерием использования материала  $\eta$ .

$$F = \eta + 0.1\zeta$$

В такой постановке целевая функция зависит от ширины и длины исходного листа, которые могут изменяться с определенным шагом и угла косоугольного раскроя  $\alpha$ , который может изменяться в общем случае в пределах от 0 до 90 градусов непрерывно.

Таким образом, задача оптимизации сформулирована следующим образом (см. курс «Основы автоматизированного проектирования»):

- Целевая функция:  $F \rightarrow \max$
- Вектор управляемых параметров:  $B, L, \alpha$
- Ограничения на управляемые параметры:  $B=600 \dots 1100$  с шагом 50,  $L=2000 \dots 3000$  с шагом 100,  $0 \leq \alpha \leq 90$

Ниже приведен возможный алгоритм вычисления целевой функции в рамках поставленной задачи. Для определенности варьируемым (управляемым) параметрам заданы начальные значения. Величина ширины перемычек  $a$  и  $a_1$  (см. чертеж) приняты постоянными для диаметров детали в пределах 100...200 мм.

	Наименование	Формула (пояснение)
	Кратность по ширине *	$iB=5$ (варьируемый параметр $iB=0...10$ )
	Кратность по длине *	$iL=5$ (варьируемый параметр $iL=0...10$ )
	Угол косога раскроя	$\alpha=60$ (варьируемый параметр $0 \leq \alpha \leq 90$ )
	Ширина листа	$B=600+50iB,$
	Длина листа	$L=2000+100iL,$
	Диаметр детали	$D=141$
	Ширина перемычек	$a_1=2$
		$a=2,5$
	Мин. ширина полосы	$B_{\Pi_{\min}} = D + 2a + (D + a_1) \sin \alpha$
0	Количество полос	$N_{\Pi} = \frac{B}{B_{\Pi_{\min}}}$ , округлить до меньшего целого
1	Шаг между заготовками в ряду **	$S = \begin{cases} D + a_1, & \text{если } 60 \leq \alpha \leq 90 \\ 2(D + a_1) \cos \alpha, & \text{если } 0 \leq \alpha \leq 60 \end{cases}$
2	Количество заготовок в ряду	$N_{Зр} = \frac{L - (D + a_1) \cos \alpha - (D + 2a)}{S} + 1$ , округлить до меньшего целого
3	Длина ряда	$L_p = (N_{Зр} - 1)(D + a_1) + D + 2a$
	Наличие дополнительной	$N_{Дз} = \begin{cases} 1 & \text{если } L - L_p > D + a_1 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$

4	заготовки в ряду ***	
5	Количество заготовок в полосе	$N_{зп} = 2N_{зр} + N_{дз}$
6	Количество заготовок в листе	$N = N_{п} N_{зп}$
7	Коэффициент использования металла	$\eta = \frac{\pi D^2 N}{4BL}$
8	Ширина концевой отхода	$B_o = B - N_{п} B_{п\min}$
9	Целевая функция	$F = \eta + 0,1 \frac{B_o L}{1100 \times 3000}$

Пояснения к алгоритму:

\* Поскольку ширина и длина листа могут изменяться не непрерывно, а с определенным шагом, то алгоритмически проще варьировать количеством таких шагов (их кратностью) несколько преобразовав формулу для определения соответственно ширины и длины шага (см. пп4,5)

\*\* Шаг между заготовками в ряду при углах косога раскроя менее 60° увеличивается за счет того, что заготовки из соседних рядов при величине перемычки равной  $a_1$  начинают накладываться друг на друга.

\*\*\* Дополнительную заготовку можно разместить в нижнем ряду в том случае, если длина ряда окажется меньше длины полосы на величину диаметра с учетом перемычки

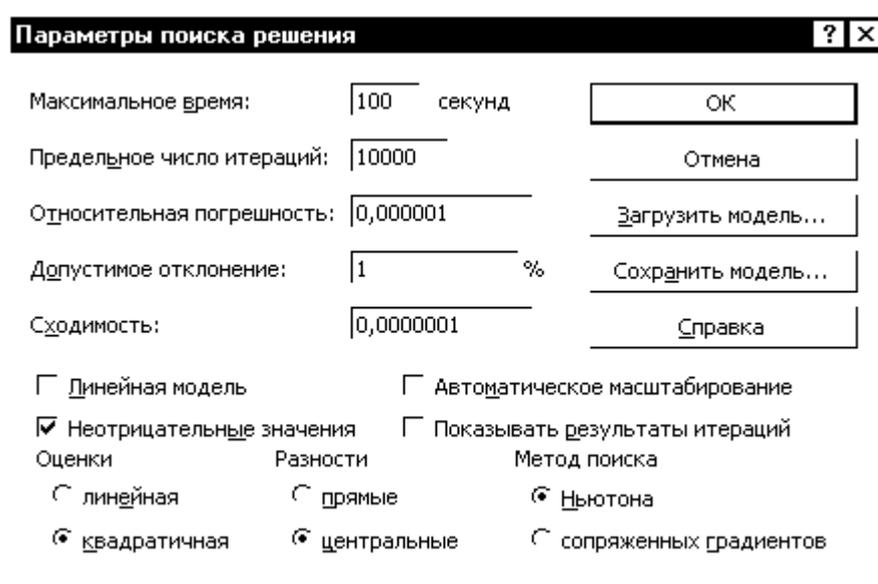
При проведении занятия необходимо средствами Excel решить следующие задачи:

- Используя алгоритм, приведенный выше, составить электронную таблицу, позволяющую рассчитать целевую функцию для произвольного диаметра  $D$  варьируя размерами листа и углом косога раскроя.

- Проанализировать влияние угла раскроя на величину коэффициента использования металла, ширину конечного отхода и обобщенную целевую функцию при значения диаметра заготовки  $D=141$  мм и  $D=120$  мм, построив соответствующие графики.
- Используя методы поиска решений в Excel определить все параметры для нахождения оптимального значения варьируемых параметров (угол раскроя и размеры листа)
- Найти оптимальный раскрой листа для значения диаметра заготовки, заданного преподавателем.

### Методы решения с использованием Excel:

Для решения задач оптимизации в Excel используют уже изученную нами надстройку Поиск решения, диалоговое окно которой вызывается по команде Сервис-Поиск решения (см. работу 3). Здесь мы поясним дополнительные возможности настройки алгоритма поиска решения. Окно настройки вызывают нажатием экранной клавиши Параметры диалогового окна Поиск решения.



Диалоговое окно «Параметры поиска решения» служит для изменения условия и вариантов поиска решения для линейных и нелинейных задач, а также для загрузки и сохранения оптимизируемых моделей. Значения и состояния элементов управления, используемые по умолчанию, подходят для решения большинства задач.

Максимальное время - Служит для ограничения времени, отпускаемого на поиск решения задачи. В поле можно ввести время (в секундах) не превышающее 32767; значение 100, используемое по умолчанию, подходит для решения большинства простых задач.

Итерации - Служит для управления временем решения задачи, путем ограничения числа промежуточных вычислений. В поле можно ввести время (в секундах) не превышающее 32767; значение 100, используемое по умолчанию, подходит для решения большинства простых задач.

Точность - Служит для задания точности, с которой определяется соответствие ячейки целевому значению или приближение к указанным границам. Поле должно содержать число из интервала от 0 (нуля) до 1. Чем меньше введенное число, тем меньше точность. Высокая точность увеличит время, которое требуется для того, чтобы сошелся процесс оптимизации.

Допустимое отклонение - Служит для задания допуска на отклонение от оптимального решения, если множество значений влияющей ячейки ограничено множеством целых чисел. При указании большего допуска поиск решения заканчивается быстрее.

Сходимость - Когда относительное изменение значения в целевой ячейке за последние пять итераций становится меньше числа, указанного в поле Сходимость, поиск прекращается. Сходимость применяется только к нелинейным задачам, условием служит дробь из интервала от 0 (нуля) до 1. Лучшую сходимость характеризует большее количество десятичных знаков  $s$  например, 0,0001  $s$  это меньшее относительное изменение, чем 0,01. Лучшая сходимость требует больше времени на поиск оптимального решения.

Линейная модель - Служит для ускорения поиска решения линейной задачи оптимизации или линейной аппроксимации нелинейной задачи.

Показывать результаты итераций - Служит для приостановки поиска решения для просмотра результатов отдельных итераций.

Автоматическое масштабирование - Служит для включения автоматической нормализации входных и выходных значений, качественно

различающихся по величине например, максимизация прибыли в процентах по отношению к вложениям, исчисляемым в миллионах рублей.

Значения не отрицательны - Позволяет установить нулевую нижнюю границу для тех влияющих ячеек, для которых она не была указана в поле Ограничение диалогового окна Добавить ограничение.

Оценка - Служит для указания метода экстраполяции (линейная или квадратичная) используемого для получения исходных оценок значений переменных в каждом одномерном поиске.

Линейная - Служит для использования линейной экстраполяции вдоль касательного вектора.

Квадратичная - Служит для использования квадратичной экстраполяции, которая дает лучшие результаты при решении нелинейных задач.

Производные - Служит для указания метода численного дифференцирования (прямые или центральные производные) который используется для вычисления частных производных целевых и ограничивающих функций.

Прямые - Используется для гладких непрерывных функций.

Центральные - Используется для функций, имеющих разрывную производную. Не смотря на то, что данный способ требует больше вычислений, он может помочь при получении итогового сообщения о том, что процедура поиска решения не может улучшить текущий набор влияющих ячеек.

Метод Ньютона:

- Служит для выбора алгоритма оптимизации (метод Ньютона или сопряженных градиентов) для указания направление поиска.

- Служит для реализации квазиньютоновского метода (метод второго порядка), в котором запрашивается больше памяти, но выполняется меньше итераций, чем в методе сопряженных градиентов.

Сопряженных градиентов - Служит для реализации метода сопряженных градиентов (метод первого порядка), в котором запрашивается меньше памяти, но выполняется больше итераций, чем в методе Ньютона. Данный метод

следует использовать, если задача достаточно велика и необходимо экономить память, а также если итерации дают слишком малое отличие в последовательных приближениях.

Загрузить модель - Служит для отображения на экране диалогового окна Загрузить модель, в котором можно задать ссылку на область ячеек, содержащих загружаемую модель.

Сохранить модель - Служит для отображения на экране диалогового окна Сохранить модель, в котором можно задать ссылку на область ячеек, предназначенную для хранения модели оптимизации. Данный вариант предусмотрен для хранения на листе более одной модели оптимизации (первая модель сохраняется автоматически).

Дополнительно, к использованным ранее тригонометрическим функциям, функции ПИ() и функции РАДИАНЫ(), в данной задаче будут полезны следующие функции:

ЦЕЛОЕ(число): округляет число вниз до ближайшего целого.

Аргумент число, может быть числом, для которого вы хотите найти следующее наименьшее целое, либо ссылкой на ячейку, в которой вычисляется округляемое число, либо формулой, в результате которой будет получено округляемое число.

ЕСЛИ(логическое\_выражение;значение\_если\_истина;значение\_если\_ложь): служит для получения в ячейке результата, зависящего от некоторых условий.

Аргумент логическое\_выражение служит для записи условия, в котором сравниваются числа, функции, формулы. Любое логическое выражение должно содержать по крайней мере один оператор сравнения, который определяет отношение между элементами логического выражения. Такими операторами могут быть: > (больше), < (меньше), = (равно), <= (меньше либо равно), >= (больше либо равно), <> (не равно). В качестве аргументов логического выражения можно использовать числа, ссылки на другие ячейки, другие функции, а также формулы.

Аргументы значение\_если\_истина и значение\_если\_ложь представляют собой числа или формулы для вычисления чисел, которые должны использоваться для расчета значений в ячейке если значение логического выражения является соответственно истиной, либо ложью.

### **Последовательность выполнения**

1. Запустить EXCEL
2. На листе 1 создать таблицу для вычисления целевой функции в соответствии с алгоритмом. Внешний вид таблицы вместе с исходными данными и результатами (для справки) приведен в приложении.
3. Создать рядом с основной таблицу для варьирования величиной угла раскроя в пределах от 55 до 90 градусов с шагом в 5 градусов.
4. Определить значения коэффициента использования металла, целевой функции и ширины концевое отхода в зависимости то угла раскроя для  $D=141$  при  $iB=iL=5$ . Результаты поместить во вспомогательную таблицу на Лист2 (копируйте значения, а не формулы).
5. Повторить вычисления для  $D=120$  при  $iB=iL=5$ . Результаты также поместить на Лист2.
6. Построить графики изменения полученных величин. Вид графиков, которые должны получиться приведены в приложении 2.
7. Задать необходимые параметры для поиска оптимального решения. Целевая ячейка – в которой вычисляется  $F$ . Изменяемые ячейки – те в которых помещены значения,  $iB$ ,  $iL$ ,  $\alpha$ . Ограничения:  $0 \leq \alpha \leq 90$ ,  $0 \leq iB \leq 10$ ,  $0 \leq iL \leq 10$ ,  $iB$ ,  $iL$  – целые. Рекомендуемы параметры окна настройки поиска решения приведены на рисунке выше.
8. Найти оптимальное решение для  $D=141$  и  $D=120$  мм. При поиске решения следует иметь ввиду, что целевая функция является многоэкстремальной. Для таких функций невозможно гарантировать получение глобального экстремума из любой начальной точки. Поэтому используется метод пробных начальных точек. Выбирают несколько

начальных точек в различных областях пространства управляемых параметров. Производят оптимизацию из каждой начальной точки и за глобальный оптимум принимают наилучшее из полученных решений. В качестве начальных пробных точек в данной задаче рекомендуется использовать следующие:

Номер начальной точки					
$\alpha$	0	0	0	0	0
iB		0		0	0
iL		0			

9. Найти оптимальное решение для значения диаметра, предложенное преподавателем.

10. Построить для найденных оптимальных размеров листа графики изменения коэффициента использования металла, целевой функции и ширины конечного отхода на листе 3.

11. Завершить работу, сохранив ее в файле work5.xls.

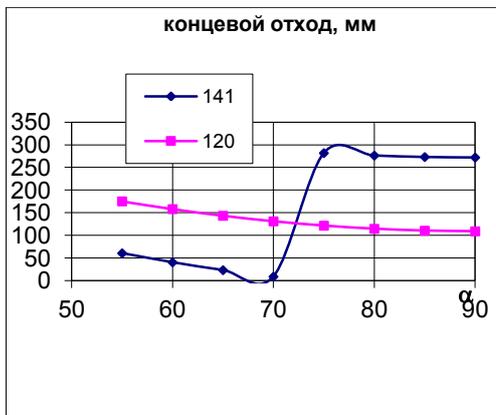
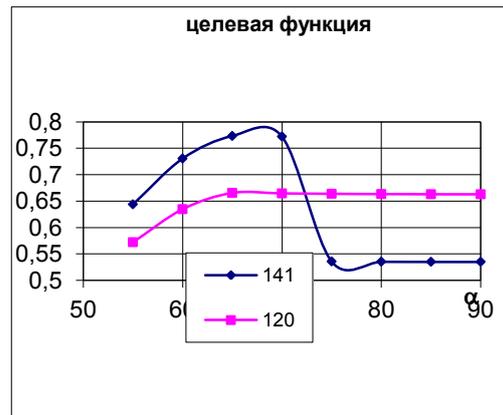
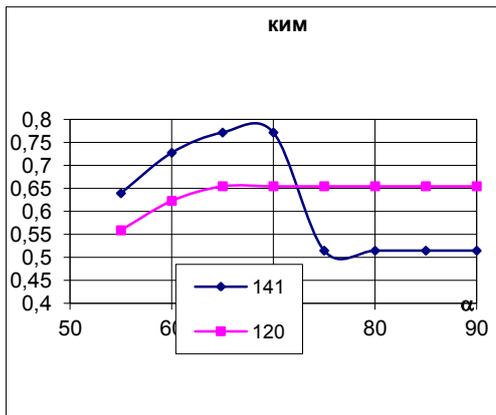
12. Запустить EXCEL, вернуться к документу work5.xls и предъявить его преподавателю.

Приложение 1 - Внешний вид таблицы и результаты вычислений (для справки)

Кратность по ширине	iВ	2								
Кратность по длине	iL	2								
Угол косоого раскроя	□	60	55	60	65	70	75	80	85	90
Ширина листа	B	700								
Длина листа	L	2200								
Диаметр детали	D	141								
Ширина перемычек	a1	2								
	a	2,5								
Мин. ширина полосы	Bmi n	269,841 6								
Коичество полос	Nп	2								
Шаг в ряду	S	143,000 0								
Количество заготовок в ряду	Nзр	14								
Длина ряда	Lр	2005								
Наличие дополнительной заготовки в ряду	Nдз	1								
Количество заготовк в полосе	Nзп	29								
Количество заготовок в листе	N	58								
Коэффициент использования металла	□	0,5881								
Ширина концевого отхода	Bo	160,316 7								

Целевая функция	F	0,5988								
-----------------	---	--------	--	--	--	--	--	--	--	--

## Приложение 2



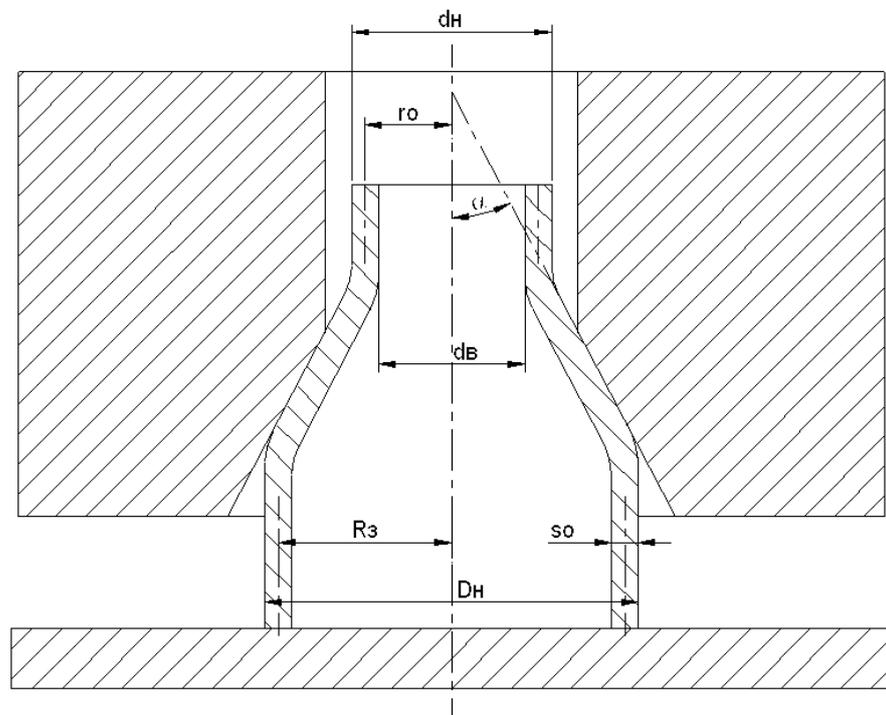
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ОБЖИМА

### Цели работы:

- ↪ закрепление основных приемов создания и форматирования таблицы, построения графиков различного вида и поиска решений в Excel
- ↪ создание модуля для автоматизации обработки результатов эксперимента по исследованию операции обжима.

### Постановка задачи:

В ходе настоящей работы необходимо создать электронную таблицу, позволяющую автоматизировать результаты обработки экспериментальных данных по исследованию операции обжима и используя теоретические зависимости исследовать влияние отдельных параметров на напряжение в опасном сечении. Схема операции обжима с образованием цилиндрической части приведена ниже [6].



Максимальную величину сжимающих напряжений  $\sigma_{p \max}$ , действующих в недеформируемых стенках заготовки, без учета упрочнения материала можно определить по формуле

$$\sigma_{\rho \max} = -\sigma_s \left[ \left( +\mu \operatorname{ctg} \alpha \left( 1 - \frac{r_o}{R_3} \right) + \sqrt{\frac{s_0}{2r_o}} \sin \alpha \right) \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{R_3}{r_o}} \right) \right] \left( -2 \cos \alpha \right) \quad (1)$$

Максимальная сила деформирования

$$P_{\max} = 2\pi R_3 s_0 \sigma_{\rho \max} \quad (2)$$

Здесь  $\sigma_s$  – напряжение текучести,  $\mu$  – коэффициент трения,

$$r_o = 0,25(d_H + d_B), \quad (3)$$

$$R_3 = 0,5(D_H + s_0). \quad (4)$$

При проведении эксперимента по обжиму трубы  $D_H=28$  мм,  $s_0=2$  мм были получены следующие результаты

$\alpha$ , градусы	$d_H$ , мм	$d_B$ , мм	$P_{\max}$ , Н
10	22,8	18	27800
15	22,4	17,4	30000
20	22,5	17,8	29000
25	22	17	35900
30	21,6	16,4	41000

При проведении занятия необходимо средствами Excel решить следующие задачи:

1. Используя формулу (2) определить экспериментальное значение для различных углов конусности матрицы  $\sigma_{\rho \max}$ .
2. Используя формулу (1) для  $\sigma_s = 250$  МПа,  $\mu = 0,15$ , найти расчетные значения  $\sigma_{\rho \max}$ .
3. Определить ошибку расчета по сравнению с экспериментом.
4. Построить графики изменения максимального напряжения от угла конусности по результатам расчета и эксперимента.
5. Определить оптимальное значение угла конусности для значения  $r_0=10$  мм исходя из минимального значения напряжений по формуле (1)

6. Построить пространственный график взаимного влияния толщины заготовки и радиуса обжима  $r_0$  на величину максимального напряжения при найденном оптимальном значении угла конусности.

### **Методы решения с использованием Excel:**

Методы решения поставленных задач с использованием Excel описаны в предыдущих работах. В настоящей работе все действия по созданию и форматированию таблицы производятся с самостоятельно.

### **Последовательность выполнения**

1. Запустить EXCEL .
2. На лист 1 занести заголовок, исходные данные для расчета (см. приложение).
3. Определить радиус заготовки  $R_3$  по формуле (4)
4. Занести в таблицу результаты эксперимента (см. приложение)
5. Для  $\alpha=10^\circ$  определить
  - 5.1.  $r_0$  по формуле (3)
  - 5.2.  $\sigma_{pmax}$  экспериментальное по формуле (2)
  - 5.3.  $\sigma_{pmax}$  расчетное по формуле (1) (обратить внимание на необходимость применения как абсолютной, так и относительной адресации, в противном случае будет невозможно пользоваться методом автозаполнения)
  - 5.4. определить относительную ошибку расчета  $\varepsilon$  в %
6. Распространить формулы, записанные в строке для  $\alpha=10^\circ$  на строки с остальными значениями углов. Прежде, чем двигаться дальше, сравните Ваши результаты с данными преподавателя, и исправьте ошибки, если они есть.
7. На основании полученных данных постройте графики изменения максимальных напряжений в зависимости от угла конусности матрицы по результатам расчета и эксперимента. (см. приложение).

8. Используя команду Сервис-Поиск решения определите оптимальный угол конусности для  $r_0=10$  по формуле (1).
9. Создайте вспомогательную таблицу для построения пространственного графика зависимости максимального напряжения от толщины заготовки  $s_0=1,2,3,4,5$  мм и радиуса обжима  $r_0=8,9,10,11,12$  мм. Внешний вид такой таблицы приведен в приложении.
10. Заполните вспомогательную таблицу. Это можно сделать записав в одной из ячеек общую формулу с использованием абсолютных, относительных и смешанных адресов, а затем распространив эту формулу на всю таблицу. Сравните полученные результаты с данными преподавателя и исправьте ошибки если они есть.
11. Постройте пространственный график по данным таблицы
12. Отформатируйте таблицу и графики так, как это показано в приложении.
13. Завершить работу, сохранив ее в файле work4.xls.
14. Запустить EXCEL, вернуться к документу work4.xls и предъявить его преподавателю.
15. Предъявить преподавателю краткий конспект занятия.

Приложение - Пример форматирования итоговой таблицы и графиков  
(результаты в таблицах не показаны)

### Исследование операции обжима

Исходные данные

$\sigma_B$ , МПа 250

$\mu$  0,15

$D_H$ , мм 28

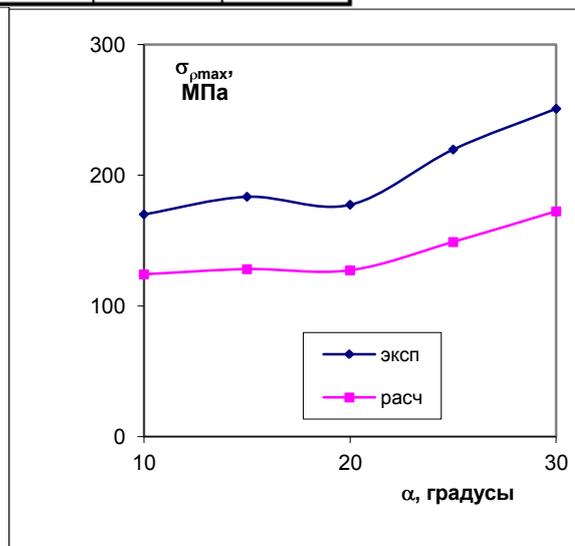
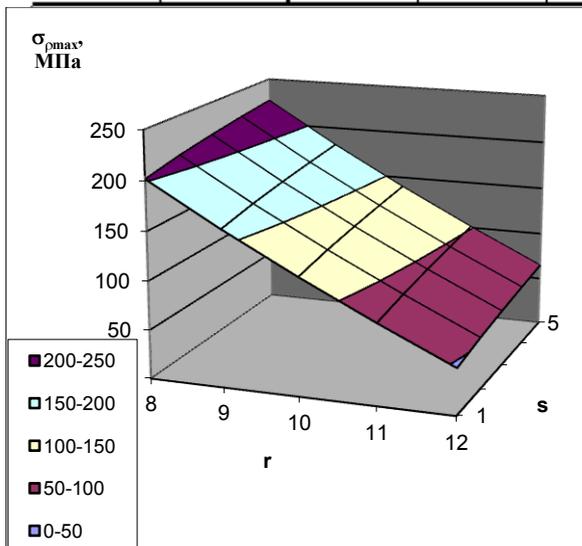
$s_0$ , мм 2

Результаты расчета

$R_z$ , мм

$\alpha$	$d_H$	$d_B$	$P_{max}$ , Н	$\Gamma_0$	$\sigma_{p,max}$ , МПа		$\varepsilon$
					эксп	расч	
10	22,8	18	27800				
15	22,4	17,4	30000				
20	22,5	17,8	29000				
25	22	17	35900				
30	21,6	16,4	41000				

$\alpha_{opt}$	$\Gamma_0$	$\sigma_{p,max}$				
		8	9	10	11	12
$s_0$ , мм	1					
	2					
	3					
	4					
	5					



# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ СВОБОДНОЙ КОВКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ DEFORM 2D

## 1.1 Создание новой задачи

Запустите Deform 2D, указав левой кнопкой мыши (ЛКМ) последовательно ПУСК/ПРОГРАММЫ/Deform 2D. Будет вызвано **Главное окно** Deform 2D, показанное на рисунке 1.1.

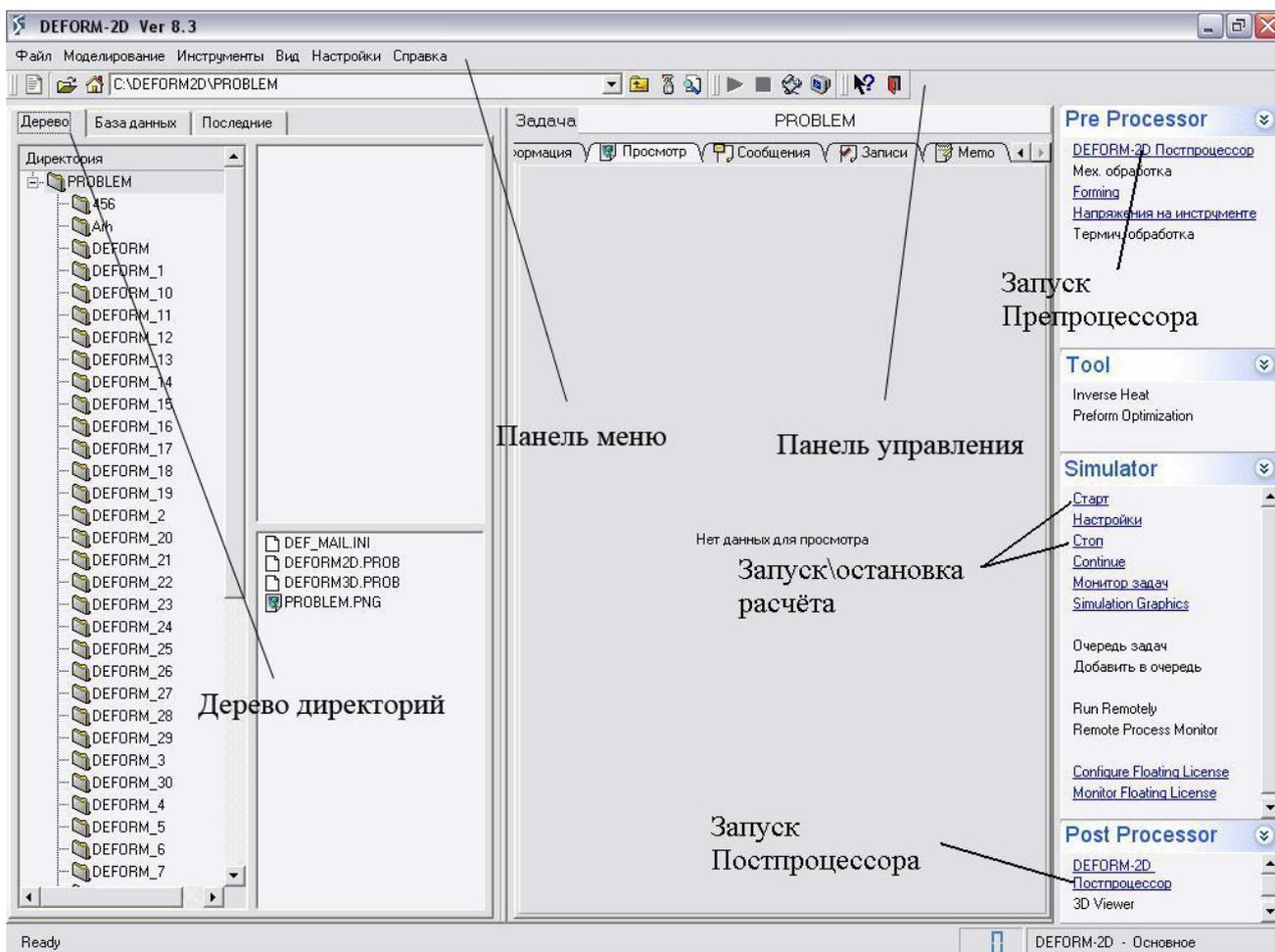


Рисунок 1.1 - Главное окно Deform 2D

Рассмотрите расположение панелей и кнопок. В верхней части окна находится **Панель меню**, содержащая меню: **Файл**, **Моделирование**, **Инструменты**, **Вид**, **Настройки**, **Справка**. Рассмотрим наиболее часто используемые, меню – **Файл** и **Моделирование**.

Меню **Файл** содержит команды, используемые для создания новых задач, и перемещения между директориями каталога операционной системы.

Команда **Новая задача** (New Problem, ) позволяет создать новую задачу и запустить препроцессор, позволяющий задавать исходные данные.

Команда изменить **Директорию в дереве**  позволяет перемещаться по различным директориям операционной системы.

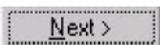
Команда **Выход**  позволяет выйти из программы.

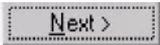
Меню **Моделирование** необходимо для запуска задачи на расчет и управления задачами в ходе расчета. Для запуска задачи на расчет и аварийной остановки расчета используются команды **Старт** [Старт](#) и **Стоп** [Стоп](#).

Команды этих меню для более быстрого доступа вынесены на **Панель управления** расположенную непосредственно под **Панелью меню**.

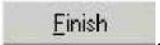
В левой части экрана в **Главном окне** расположено **Дерево директорий**, которое отражает текущее расположение задачи по отношению к **Дереву каталогов**, используемому в операционной системе.

Создайте новую задачу, выбрав из меню **Файл** пункт **Новая задача**  или нажав кнопку **Новая задача**  на **Панели управления**.

Появится окно **Параметры задачи** в котором необходимо определить особенности моделируемого процесса. Не указывая тип решаемой задачи, нажмите кнопку , для того чтобы запустить препроцессор (тип задачи можно определить в препроцессоре).

В следующем активном окне снова нажмите на кнопку , приняв, что задача создается в “домашней” директории (по умолчанию это директория PROBLEM, расположенная в папке Deform 2D).

Название задачи должно быть набрано арабскими цифрами. Допускается набор названия английскими литерами без пробелов. В место пробелов можно использовать символ подчеркивания.

Дайте название задачи, набрав номер группы. Нажмите кнопку .

Произойдет запуск препроцессора Deform 2D. Рассмотрим его интерфейс (рисунок 1.2).

## 1.2 Интерфейс препроцессора

Интерфейс препроцессора состоит из нескольких частей, а именно: Окна **Дисплей** (DISPLAY window), **Дерева Объектов** (Object Tree) и области **Данные Объекта** (Object Data). Также вверху экрана находится **Панель меню** и **Панель управления**, содержащие ряд кнопок.

Наиболее часто используемые кнопки, расположенные на **Панели управления** представлены в таблице 1.1.

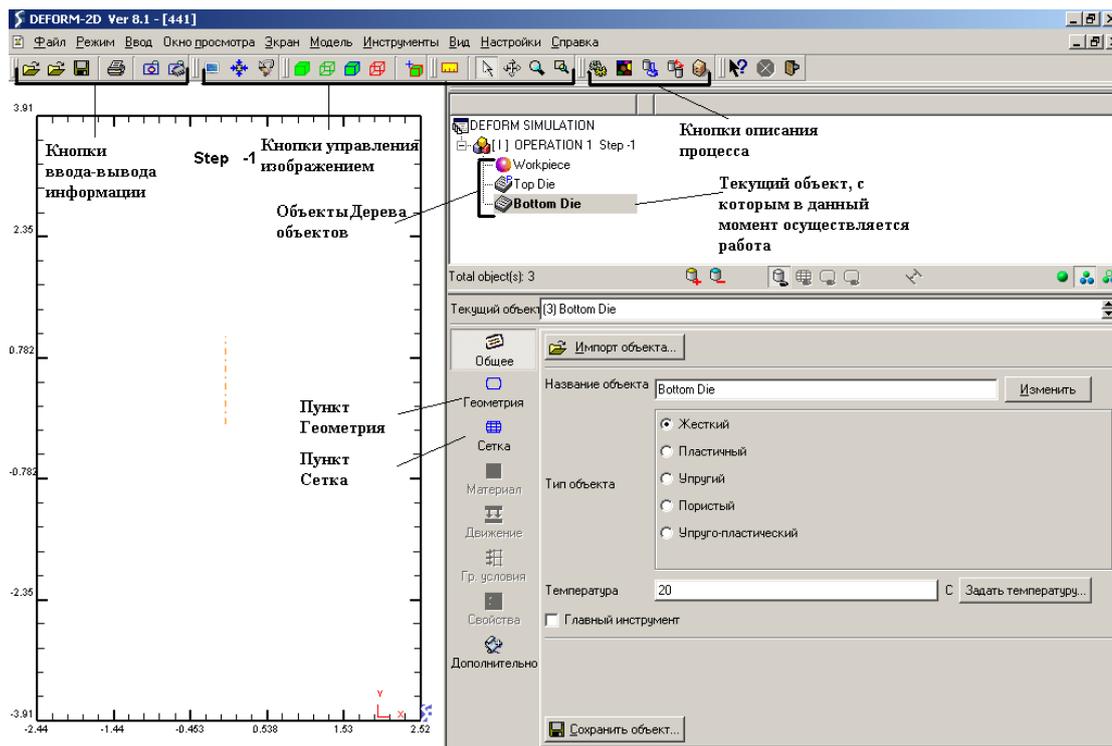


Рисунок 1.2 - Интерфейс препроцессора

Таблица 1.1 - Кнопки **Панели управления**

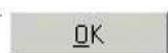
Кнопка		Название	Назначение
Версия	Версия		
8.0	8.3	<b>Настройки задачи</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором осуществляется задание параметров моделирования и определение критериев
			

		<b>Материал</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором определяются свойства материалов.
		<b>Расположение объектов</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором осуществляется управление расположением объектов относительно <del>начала координат и друг друга</del>
		<b>Связи объектов</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором определяются отношения между объектами (контактные поверхности и <del>симметрии</del> )
		<b>Создание базы данных</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором создается база данных, требующаяся для расчёта задачи.
		<b>Выход</b>	Выход из препроцессора и возврат в <b>Главное окно.</b>

### 1.3 Предварительная установка настроек препроцессора

Нажмите кнопку **Настройки задачи**  (). Появится окно **Настройка задачи** в котором по умолчанию будет активна закладка **Основное** (рис. 1.3). Убедитесь в том, что в качестве системы измерения установлена система СИ (напротив надписи “СИ” должен стоять флажок), выбран режим расчета деформаций (галочка напротив надписи “Деформирование”), а решаемая задача обладает геометрической осевой симметрией (флажок напротив “Осесимметричная”).

Для завершения работы с окном **Настройки задачи** нажмите кнопку ОК



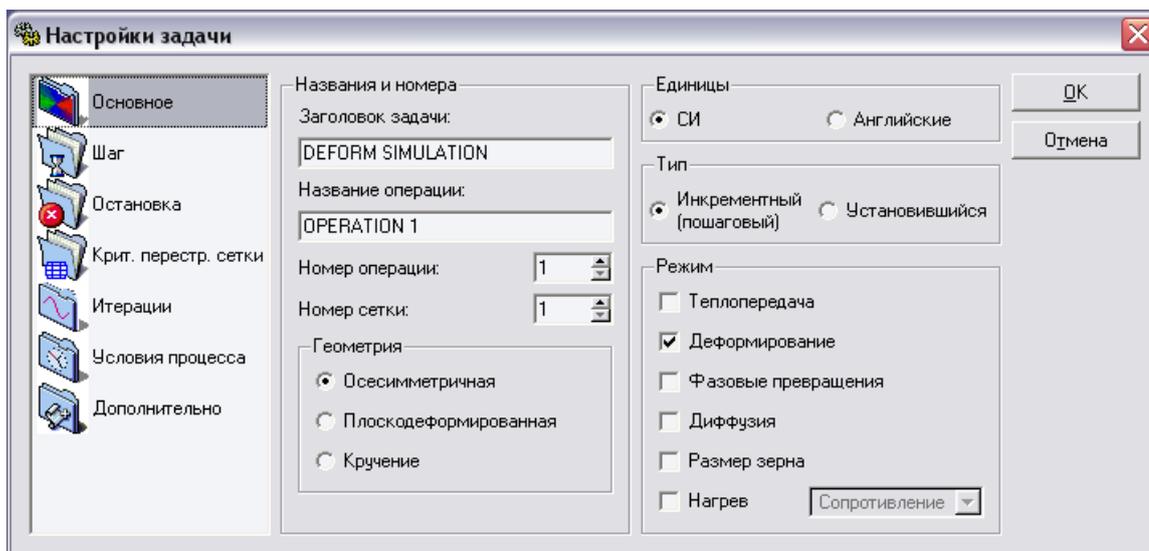


Рисунок 1.3 - Окно **Настройки задачи**

#### 1.4. Работа с объектами

Обратите внимание на то, что в **Дереве объектов** после создания задачи был создан всего один исходный объект, а именно **Заготовка (Workpiece)**. Этот объект выделен в **Дереве объектов** и на **Панели инструментов** активен пункт **Общее** (рис. 1.4). Рассмотрим данный пункт более подробно.

Пункт **Общее** позволяет:

- выбрать тип объекта участвующего в расчете (жесткий, упругий, пластичный, пористый и упруго-пластичный);
- указать исходную температуру объекта;
- сохранять в отдельном файле и импортировать объект из задач, которые решались ранее.

Измените имя объекта с **Workpiece** на **Billet**, для этого в строке **Название объекта** вместо “**Workpiece**” наберите “**Billet**” и нажмите на клавиатуре клавишу **Enter**. Измените тип объекта на “Жёсткий”, обратите внимание на изменение значка находящегося справа от надписи **Billet** в **Дереве объектов**. Измените тип объекта на “Пластичный”.

Под “пластичным” объектом понимается объект, испытывающий только пластические деформации. По аналогии могут быть заданы “упругий” и “упруго-пластичный” объекты.

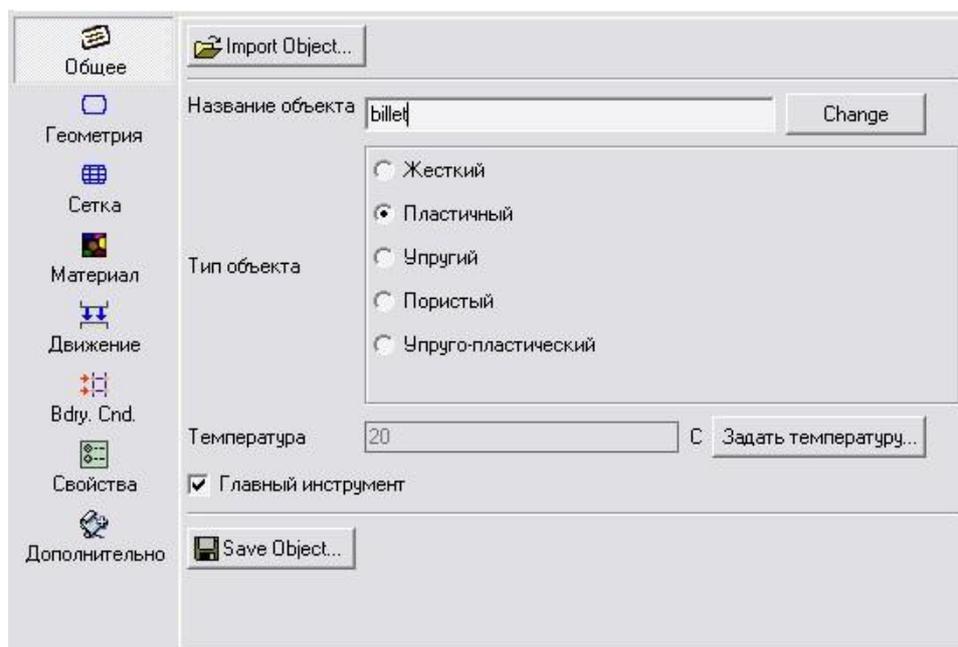


Рисунок 1.4 - Пункт **Общее** из **Панели Инструментов**

Все типы объектов, используемые в Deform 2D, кроме жесткого объекта, должны иметь сетку конечных элементов.

Непосредственно под пунктом **Общее**  на **Панели инструментов** располагается пункт **Геометрия** , позволяющий работать с геометрией моделируемых объектов. Геометрия объекта может быть создана в Deform 2D или импортирована как из \*.dxf или \*.igs файла.

### 1.5 Задание геометрии объекта

Пункт **Геометрия**  содержит три закладки. По умолчанию осуществляется переход на закладку **Инструмент**, которая позволяет импортировать геометрию объекта из других программ, сохранять уже имеющуюся геометрию и т.д. Для создания и редактирования геометрии с помощью средств Deform 2D служит закладка **Edit (Редактирование)**  содержащая **Поле ввода геометрии** (пустая табличка) и вспомогательные кнопки. Построение геометрии может осуществляться по точкам (формата ввода XYR) или с помощью отрезков-дуг (формата ввода line-arc).

Перейдите к закладке **Edit** (рисунок 1.5). Нажмите ЛКМ на верхнюю левую ячейку **Поля ввода геометрии**, после чего последовательно введите значения, представленные на рисунке 1.6. После ввода очередного значения, соответствующего данной ячейке, нажимайте на клавишу **Enter**, для перехода к следующей ячейке.

Разделение десятых долей осуществляется с помощью точки. При правильном вводе информации, введенные ранее значения должны выравниваться по правому краю ячейки.

После окончания ввода данных нажмите ЛКМ на кнопку **Применить**.

Нажмите ЛКМ на кнопку **Во весь экран**  для автоматического масштабирования изображения (функция этой команды будет объяснена ниже).

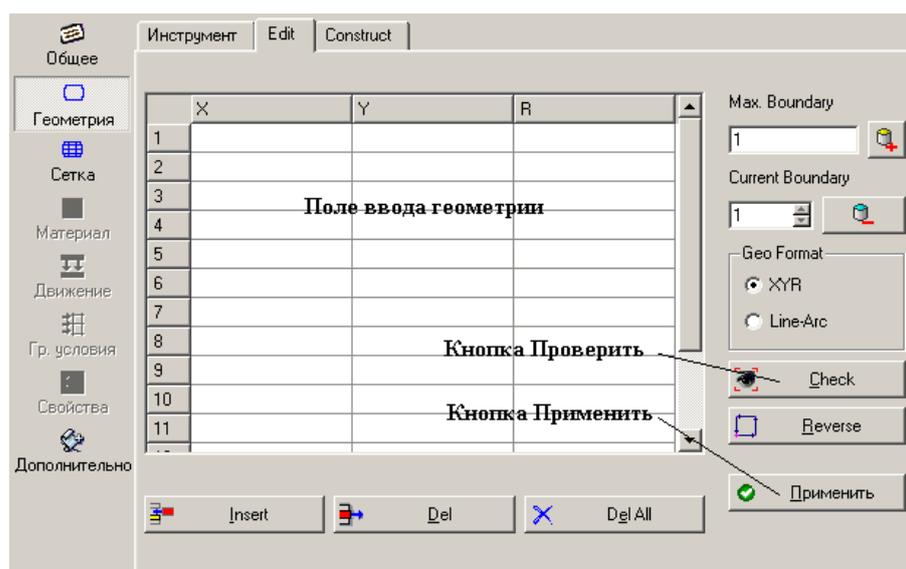


Рисунок 1.5 - Пункт **Геометрия** из **Панели инструментов**

Рассмотрите полученную геометрию заготовки (рисунок 1.7)

	X	Y	R
1	0	0	0
2	1.5	0	0.12
3	1.5	4	0.12
4	0	4	0
5			

Рисунок 1.6 - Данные для ввода

Обратите внимание на то, что с внешней стороны поверхности располагается серая полоса, которая показывает направление обхода от начальной точки к конечной (определяет внутреннюю область объекта). В случае правильного ввода геометрии серая полоса должна располагаться внутри объекта.

После того как геометрия импортирована, ее необходимо проверить.

Нажмите кнопку **Проверить**  и, в появившемся окне, нажмите на кнопку **Проверить и исправить геометрию** .

Появится сообщение “Geometry is legal”, которое сообщает о том, что геометрия была построена верно. Для возвращения к пункту **Геометрия** нажмите последовательно в активных окнах ЛКМ клавишу **ОК**.



Рисунок 1.7 - Геометрия построенной заготовки

Автоматическое исправление геометрии не только устранил любые проблемы с неточностями, возникающими при построении геометрии, но также

и исправит ориентацию геометрии если необходимо. В Deform 2D принято, что правильным направлением является направление против часовой стрелки.

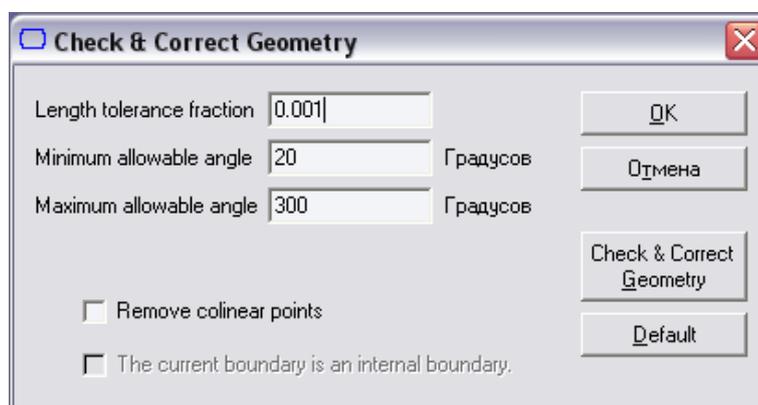


Рисунок 1.8 - Окно Проверить и исправить геометрию

### 1.6 Работа с изображением модели

Краткое описание команд позволяющее работать с изображением модели, представлено в таблице 1.2.

Самостоятельно разберитесь с их использованием. Большинство команд работы с изображением имеет “кнопки быстрого доступа”, позволяющие с клавиатуры вызвать требуемую команду.

Таблица 1.2 - Кнопки управления изображением на экране

Кнопка		Название	Назначение	Быстрый доступ
Версия 8.0	Версия 8.3			
		Панорама (Pan)	Позволяет динамически перемещать объекты в окне DISPLAY вверх, вниз, влево, или вправо, с помощью перемещения мыши при удерживании	Shift + ЛКМ
		Масштабировать (Zoom)	Позволяет динамически масштабировать окно DISPLAY, при удержании левой кнопки мыши и	Alt + ЛКМ

		Приблизить (Magnify)	Часть окна DISPLAY может быть увеличена. Для этого необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши и, не	Ctrl + Alt +ЛКМ
		Заштрихованные (View	Полутонное изображение объектов без сетки.	
		Только сетка (View mesh	Изображаются только контуры объектов и сетка.	
		Заштрихованные и сетка (View	Полутонное изображение объектов с наложением сетки.	
		Только грани (View surface	Изображаются только контуры объектов	
		Обновить (Refresh)	Перерисовать окно DISPLAY и отчистить экран от предыдущих линий	
		Вписать (View Fit)	Вписать все объекты в окно DISPLAY	
		Предыдущий вид (View	Возврат к предыдущему виду	
		Захват экрана	Копировать содержимое окна DISPLAY и сохранить его в файл	
		Печать (Print)	Вывести содержимое окна DISPLAY на принтер	

В ходе работы иногда возникает необходимость осуществить замер расстояния между различными элементами или указать объект для этого служат команды, приведенные в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Команды, используемые для работы с объектами

Кнопка	Название	Описание
--------	----------	----------

	<p><b>Измерить (Measure)</b></p>	<p>Позволяет осуществлять замер расстояния между любыми двумя точками. Линия измерения останется на экране до тех пор, пока не будет нажата кнопка</p>
	<p><b>Выбор (Select)</b></p>	<p>Это основной режим работы, он используется для выбора и получения информации о гранях элемента и узлах. Это также режим, используемый при</p>

### 1.7 Сохранение данных

Сохраните Ваши данные. Для сохранения данных выберете из меню **Файл** команду **Сохранить** или нажмите кнопку **Сохранить**  которая располагается на **Панели Управления** (верхняя часть экрана). Отличие команды **Сохранить**, расположенной на **Панели Управления**, от команды **Сохранить объект**, расположенной на **Панели инструментов**, заключается в том, что в первом случае сохраняется информация о всех объектах, присутствующих в моделируемом процессе в то время как во втором случае сохраняется информация только об объекте, активном на текущий момент (т.е. выделенном в **Дереве Объектов**)

### 1.8 Создание новых объектов и импортирование геометрии для них

Обратите внимание на то, что в **Дереве объектов** после создания задачи был создан всего один исходный объект, а именно заготовка (Billet).

Для добавления в решаемую задачу дополнительного объекта воспользуйтесь кнопкой **Вставить объект (Insert object)** , которая находится под **Деревом объектов**. После добавления объекта в **Дереве объектов** появиться объект **TopDie** (Верхний инструмент).

Нажмите кнопку **Геометрия** на **Панели инструментов** затем кнопку **Импорт геометрии**, укажите путь к файлу **Spike\_TopDie.IGS** который расположен в директории **C:\DEFORM2D\V8\_1\LABS**. Для поиска и открытия

этого файла пользуйтесь стандартными командами Windows **открыть**  и **Подняться выше на директорию** . Проверьте правильность геометрии и убедитесь в ее корректности (см. пункт **Задание геометрии объекта**)

По аналогии, нажав ЛКМ на кнопку **Вставить объект** , создайте **Bottom Die** (нижний инструмент) в **Дереве объектов** и создайте для него геометрию, загрузив файл **Spike\_BottomDie.IGS** расположенный по адресу **C:\DEFORM2D\V8\_1\LABS**.

Укажите ЛКМ на надпись **Billet** в **Дереве объектов**. Обратите внимание, что серая полоса указывающая на то, что текущим объектом является **Bottom Die** “перескочила” на **Billet**, при этом произошло выделение геометрии заготовки в окне **Display** с помощью желтых уголков.

Укажите ЛКМ на **Top Die** в **Дереве объектов**. Обратите внимание на то, что текущим стал верхний инструмент, и стали доступны для редактирования свойства именно этого объекта.

Вызовите для редактирования заготовку (укажите ЛКМ в **Дереве объектов** заготовку **Billet**) и убедитесь в том, что в пункте **Общее** стоит тип объекта “Пластичный”.

Выберите пункт **Сетка** и нажмите на кнопку **Сгенерировать**, для того чтобы создать сетку конечных элементов с атрибутами установленными по умолчанию. Обратите внимание на то, что после создания сетки конечных элементов напротив надписи **Billet** появилась надпись “**Undefined**”. Значок  (**undefined**) означает, что необходимо присвоить материал заготовке (определить свойства материала заготовки).

Нажмите на кнопку **Материал**  расположенную на **Панели инструментов** под **Деревом объектов**. Выберите из меню, разворачивающихся нажатием на значок “+”, алюминиевый сплав Al-1100, после этого нажмите ЛКМ на кнопку **Задание материала** , расположенную под **Деревом объектов**. Обратите внимание на то, что вместо надписи “**undefined**”

в Дереве объектов появилось название марки материала.

## 1.9 Позиционирование объектов

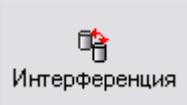
Для расположения объектов по отношению друг к другу необходимо воспользоваться пунктом **Позиционирование объектов**, который располагается на **Панели управления**. Описание команд данного пункта приведено в таблице 1.4.

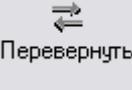
Для наиболее точного и быстрого расположения объектов так, как это показано на рисунке 1.9 воспользуйтесь командой **Интерференция**.

Для использования команды необходимо нажать на кнопку **Интерференция**, затем нужно выбрать объект, относительно которого будут размещены другие объекты. В качестве такого объекта в нашем случае удобно использовать заготовку (**Billet**). Определите объект, который будет размещаться или позиционироваться нажатием ЛКМ на треугольник ▼ в пункте **Позиционируемый объект**

 и выберите **Top Die**.

Таблица 1.4 - Команды, используемые для перемещения объекта

Кнопка	Название	Описание
 Мышкой	Перемещение мышкой	Размещение объекта осуществляется с помощью мышки.
 Смещение	Смещение	Объекты перемещаются на заданное расстояние определением вектора перемещения или с помощью указания начального и конечного значений
 Интерференция	Интерференция	Перемещение объектов до создания наложения их друг на друга. Данная команда используется для быстрого определения контактных

 <p>Вращение</p>	<p>Вращение</p>	<p>Позволяет поворачивать объекты относительно заданной точки на любой угол.</p>
 <p>Перевернуть</p>	<p>Перевернуть</p>	<p>Позволяет зеркально отразить объекты относительно осей X, Y или какой либо заданной оси.</p>

В пункте “**Относительно**” с помощью меню вызываемого нажатием ЛКМ на треугольнике  выберите объект **Billet**. Далее необходимо определить часть позиционируемого объекта, которая касается объекта, относительно которого осуществляется позиционирование (часть **Top Die**, которая касается **Billet**).

Поскольку **Верхний инструмент** (Top Die) касается заготовки (**Billet**) своей нижней частью, то необходимо поставить флажок напротив надписи “**-Y**”. Нажмите ЛКМ кнопку **Применить**.

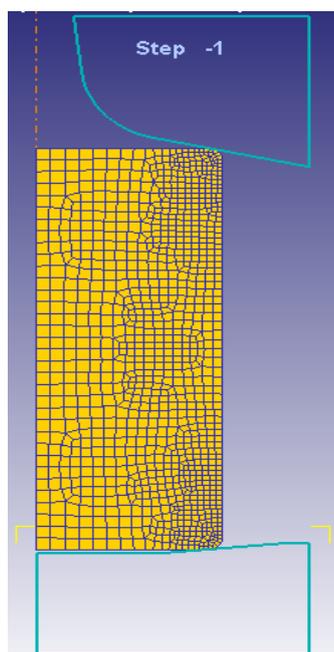


Рисунок 1.9 - Правильное расположение объектов

Аналогично осуществляется позиционирование нижнего инструмента (**Bottom Die**). Только за направление выбирается “**Y**”, а в качестве позиционируемого объекта **Bottom Die**.

По окончании позиционирования объектов нажмите кнопку **ОК**.

Изображение на экране должно принять вид, показанный на рисунке 1.9.

### 1.10 Назначение контактных поверхностей

Нажмите на кнопку **Взаимодействие объектов**  расположенную на **Панели управления** и на запрос системы о необходимости создания контактных пар, в появившемся окне ответьте положительно.

В появившемся окне **Взаимодействие объектов** (рисунок 1.10) нажмите кнопку **Изменить**, в появившемся окне поставьте флажок напротив надписи “Coulomb” (закон трения по Кулону) и укажите коэффициент трения 0,3 (рисунок 1.11).

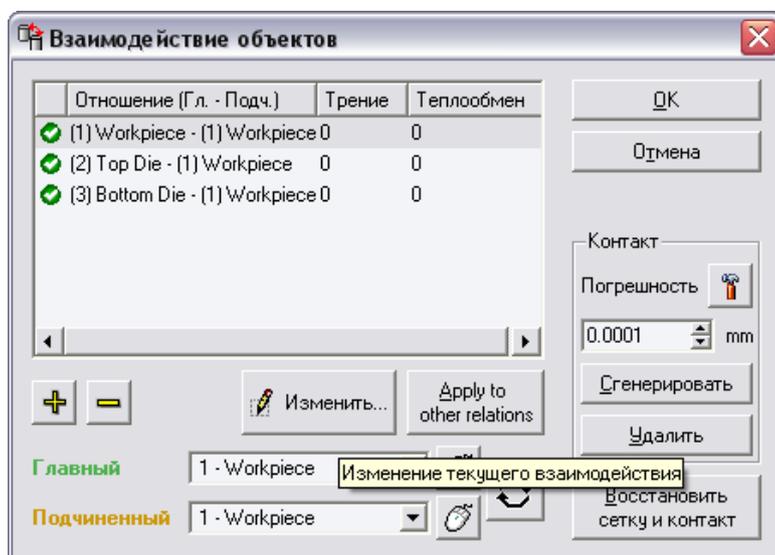


Рисунок 1.10 - Окно **Взаимодействие объектов** до задания исходных данных

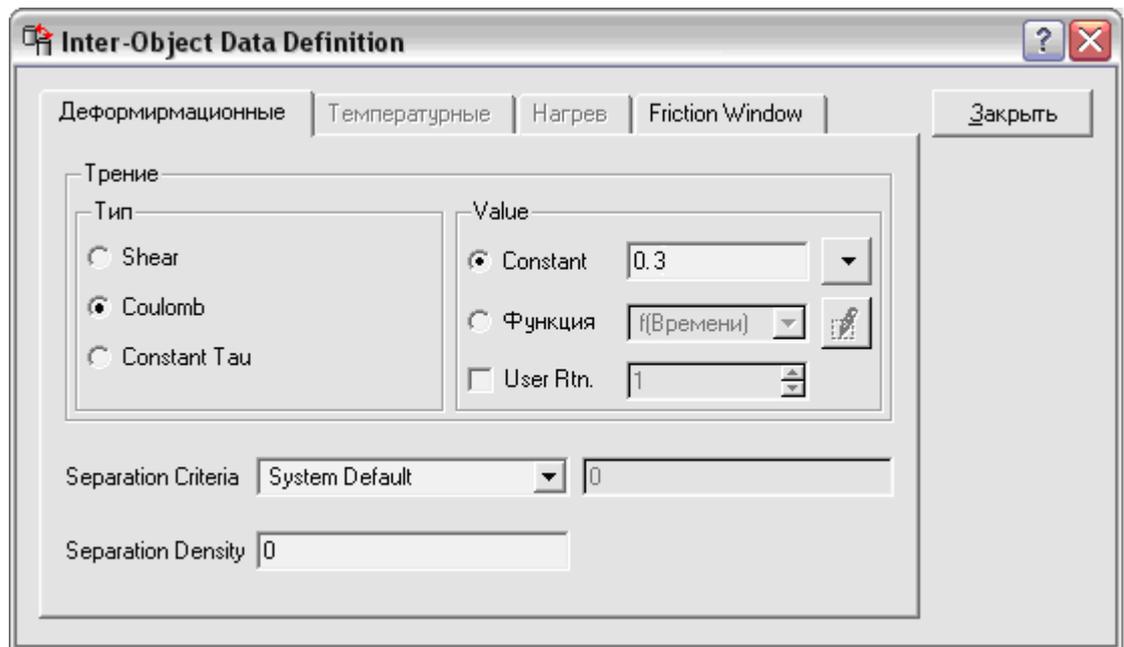
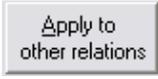
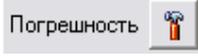


Рисунок 1.11 - Окно Inter-Object Data Definition

Нажмите кнопку **Закреть** в окне Взаимодействия объектов. Нажмите на кнопку,  для того чтобы присвоить значения коэффициента трения (условия взаимодействия объектов) всем контактным парам.

Для генерации величины точности, с которой компьютер может создать контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмите кнопку **Сгенерировать** для создания поверхности контакта, при этом в окне **Display** появится изображение мест контакта (появятся разноцветные точки в местах взаимодействия объектов). Нажмите ЛКМ на кнопку **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

### 1.11 Задание движения верхнего инструмента

Сделайте активным **Верхний Инструмент** (Top Die) для задания характеристики приложенного к верхнему инструменту усилия (укажите **Top Die в Дереве Объектов**).

В программе Deform 2D двигаться может любой объект, причём нет ограничений по количеству двигающихся объектов. Двигаться объекты могут как под действием приложенного усилия (т.е. двигаться с определённым усилием), так и с заданной скоростью.

По умолчанию все объекты являются неподвижными, т.к. приложенные к ним усилия и скорость равна нулю.

Если в программе рассматривается процесс деформирования, то обязательно необходимо определить перемещение **Главного инструмента**. **Главным инструментом** называется инструмент, под непосредственным перемещением которого осуществляется деформация заготовки.

В рассматриваемой нами задаче **Главным инструментом** является **Top Die**, о чём свидетельствует значок в виде буквы “P”, расположенный рядом со значком **Top Die** в **Дереве объектов**. При необходимости сделать **Главным инструментом** можно любой объект с помощью постановки галочки в пункте

**Главный инструмент** на закладке **Общее**  **Общее** .

Нажмите кнопку **Движение**  **Движение** на **Панели инструментов**. Убедитесь, что напротив надписи **Скорость** стоит флажок, введите в активное окно, расположенное чуть ниже, 1 мм/с (рисунок 1.12).

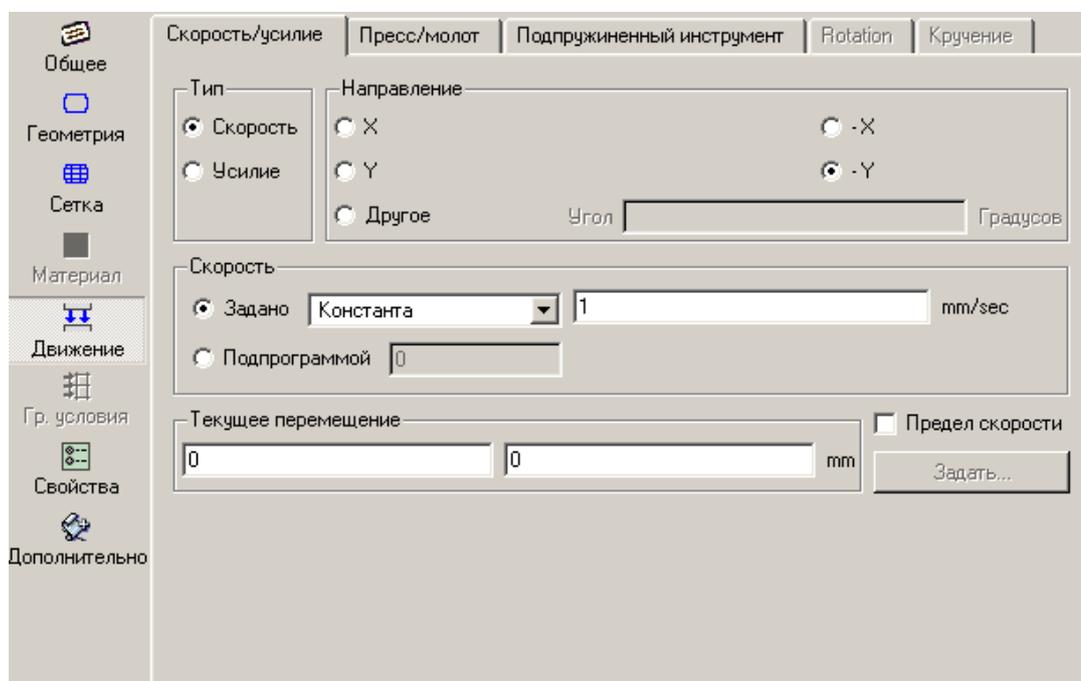


Рисунок 1.12 - Закладка **Движение**

В соответствии с заданными условиями нагружения верхний инструмент

будет перемещаться вниз с постоянной скоростью 1 мм/с.

### 1.12 Установка Настроек задачи

Нажмите на кнопку **Настройки задачи**  (  ) и в появившемся окне **Настройки задачи** перейдите на закладку **ШАГ** для того, что бы задать шаг квазистатической задачи. Задание шага решения задачи может быть ограничено по времени и по перемещению главного инструмента. Для задания величины шага решения по перемещению **Главного инструмента** необходимо произвести замер наименьшего размера сетки конечных элементов заготовки, данное значение разделить на три и ввести частное от деления в ячейку расположенную правее надписи “With Equal Die Displacement”. В нашем случае будем считать, что верхний инструмент сместится на 2 мм. Размер ребра конечного элемента измеряем при помощи **Линейки** . Этот размер будет зависеть от построенной сетки и в каждом случае будет свой. Пример заполнения закладки **ШАГ** приведён ниже.

По аналогии с данным примером выполните заполнение этой закладки, но вместо приводимых в примере значений введите свои.

Пример заполнения закладки ШАГ:

В результате замеров ребер конечных элементов сетки получилось, что длина наименьшего ребра равна 1 мм. Следовательно, шаг по перемещению инструмента будет равен 0,33 мм. Это значение и необходимо внести в ячейку напротив фразы “With Equal Die Displacement” (рисунок 1.13).

Для того, что задать **Число шагов расчета** необходимо перемещение **Главного инструмента** разделить на размер шага по перемещению и полученное значение внести в ячейку напротив надписи **Число шагов расчета** (рисунок 1.13). Допустим, чтобы для полного деформирования заготовки необходимо переместить инструмент на 39 мм, тогда 39 делим 0,33 и получаем примерно 119 шагов. Данное значение вносим в соответствующую ячейку (рисунок 1.13).

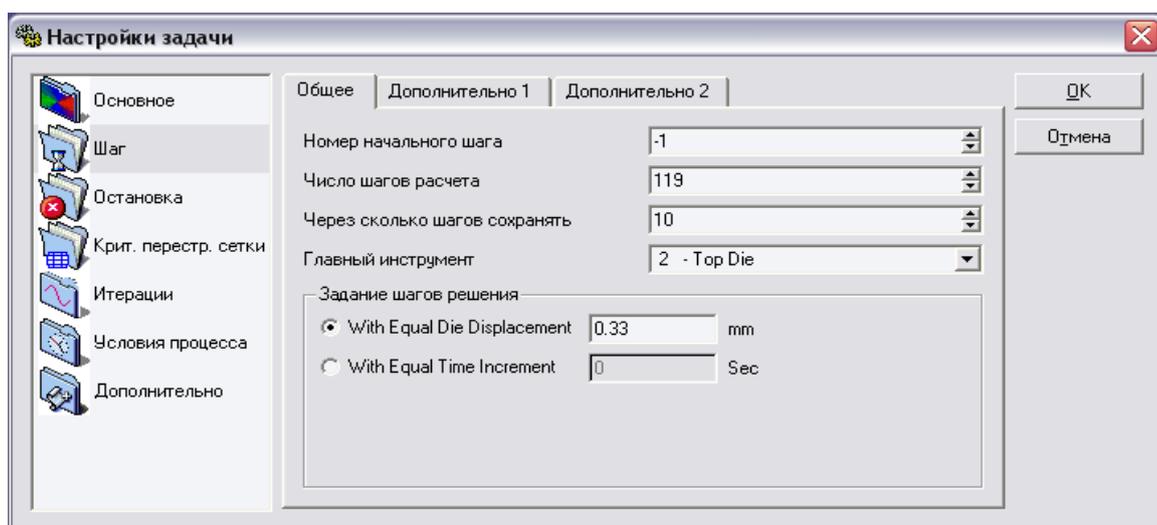


Рисунок 1.13 - Окно **Настройки задачи**

### 1.13 Создание файла базы данных

Нажмите кнопку **Генерация базы данных**  (). В появившемся окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Проверить**. В случае если постановка задачи произведена корректно, то после проверки заданных данных появится сообщение “База данных может быть сгенерирована” (рисунок 1.14).

Нажмите ЛКМ на кнопку **Закреть** для выхода из окна **Генерация базы данных**.

Сохраните данные нажав на кнопку **Сохранить** , расположенную в верхней левой части экрана. Выйдите из **Препроцессора**, нажав ЛКМ на кнопку **Выход** .

Обратите внимание на то, что работа осуществлялась только с файлом с расширением “key” (он показан на рисунке 1.15 стрелкой). Название файла будет соответствовать тому названию, которое вы давали задаче при создании новой задачи. На рисунке 1.15 файл назван DEFORM\_2.KEY

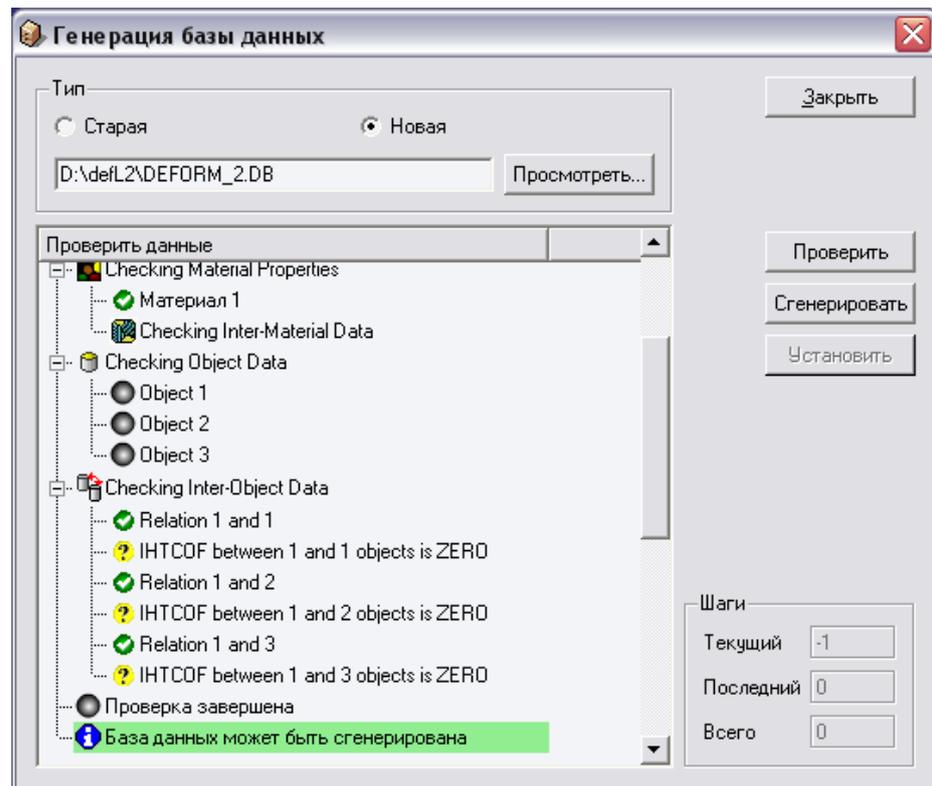


Рисунок 1.14 - Окно **Генерация базы данных** после проверки исходных данных

Для расчета задаваемых в препроцессоре программы данных необходимо сохранить их в виде файла базы данных, который имеет расширение \*.db. Особенности работы с файлом расширения \*.db будут рассмотрены в следующих лабораторных работах.

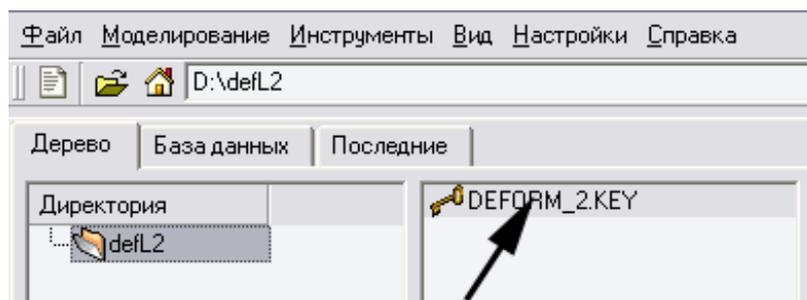


Рисунок 1.15 - Файл с расширением “Key”

Откройте в препроцессоре решаемую ранее задачу. Для этого нужно в правой верхней части экрана нажать на надпись “Постпроцессор” расположенную непосредственно под надписью **Pre Processor**. Нажмите

кнопку **Генерация базы данных** (иконка папки с диском). В появившемся окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Сгенерировать**, произойдет автоматическое создание базы данных (рисунок 1.16), в поле создания базы данных появится сообщение “Запись базы данных завершена”, свидетельствующее о том, что база данных была успешно создана.

Выйдите из препроцессора и убедитесь в том, что рядом с файлом с расширением “Key” появился файл с расширением “Db”.

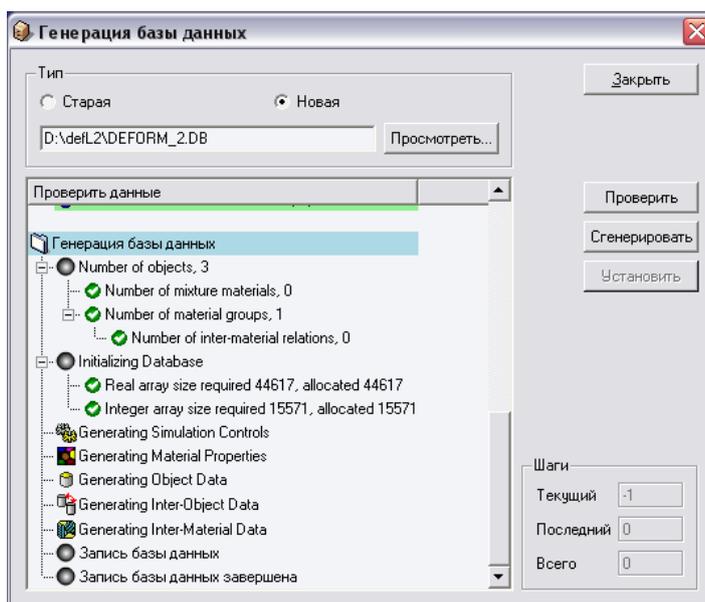


Рисунок 1.16 - Окно **Генерация базы данных** после создания базы данных

### 1.14 Запуск задачи на расчет

В пункте **Simulator** в **Главном окне** нажмите кнопку **Старт**. В появившемся окне с сообщением “The simulation has been submitted” Нажмите ЛКМ на кнопку **ОК**.

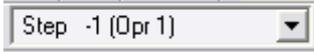
Нажмите на закладку **Сообщения** для вывода информации о том, какой шаг рассчитывается в настоящий момент. Обратите внимание на то, что файл базы данных (файл с расширением \*.db) скрыт зелёной полосой с красной надписью **“Running...”**, которая означает, что в данный момент задача рассчитывается. Прежде чем перейти к следующему пункту работы, дождитесь, пока расчет закончится, т.е. исчезнет зелёная полоска и надпись **“Running...”**.

## 1.15 Оценка полученных результатов

Для вывода информации полученной в ходе расчёта используется **Постпроцессор**. Что бы открыть решаемую задачу в постпроцессоре нажмите ЛКМ в пункте “Post Processor” на надпись “Deform-2D Постпроцессор”.

После загрузки задачи в **Постпроцессор** с помощью кнопок показанных в таблице 1.5 оцените полученные результаты.

Таблица 1.5 - Команды, используемые для управления анимацией

Кнопка	Описание
	Воспроизведение анимации назад / вперёд.
	Пошаговое воспроизведение анимации назад / вперёд.
	Перемещение в начало и конец последовательности рассчитанных шагов.
	Окно доступа к произвольному шагу базы данных.
	Настройка последовательности вывода шагов расчета из базы данных.

Для вывода интересующих данных полученных в результате расчета используется команда **Параметры** , которая позволяет вызвать окно Параметры (рисунок 1.17).

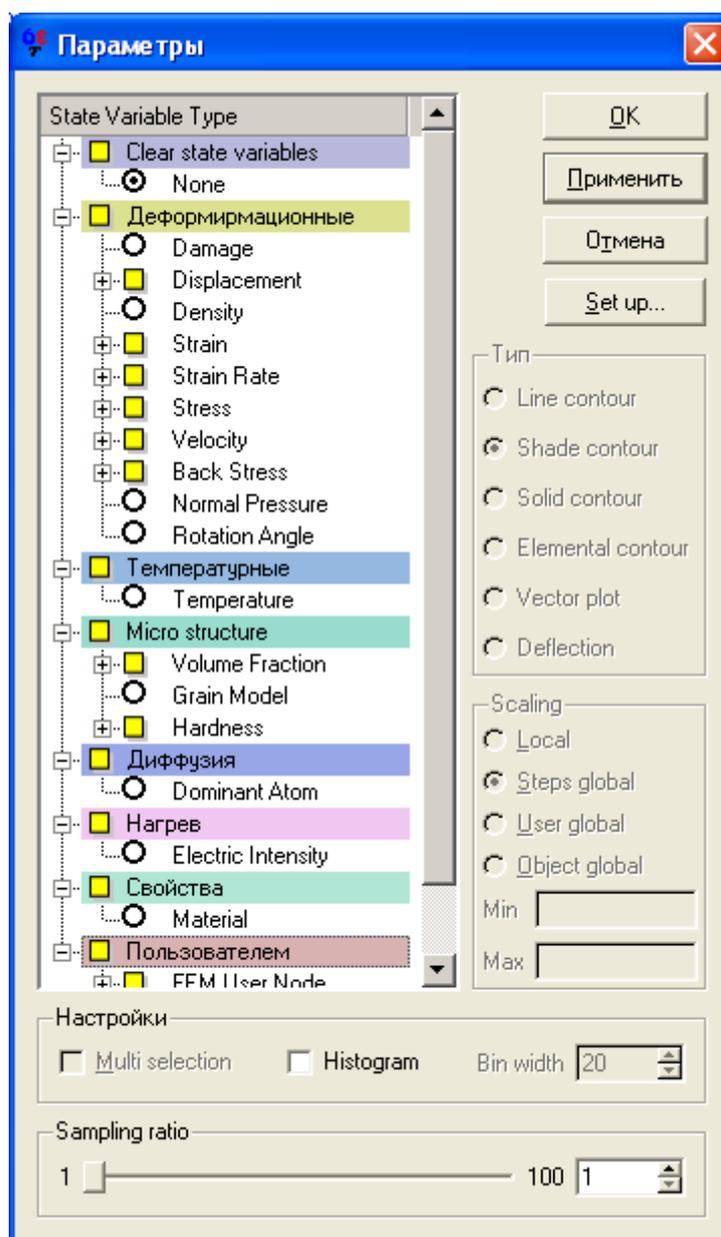


Рисунок 1.17 - Окно Параметры

Список наиболее часто используемых при исследовании задач обработки металлов давлением параметров представлен в таблице 1.6.

Таблица 1.6 - Параметры процессов ОМД

Величина	Перевод	Параметр	Перевод
Stain	Деформация	Effective	Интенсивность
Stain Rate	Скорость деформации	Mean	Среднее значение
Stress	Напряжение	Max Principal	Главное наибольшее

Velocity	Скорость	Min Principal	Главное наименьшее
Temperature	Температура	X/R	Действующее в направлении X в декартовой системе координат или R если система координат полярная

Для просмотра интересующего параметра его необходимо указать в окне **Параметры** и нажать ЛКМ на кнопку **Применить** (Apply) После этого используя кнопки представленные в таблице 1.5 можно отследить изменение рассматриваемого параметра по мере протекания процесса деформирования заготовки.

Для того чтобы отследить изменение положения точки деформируемого тела используется команда, расположенная на **Панели инструментов Point Tracing** , после вызова, которой открывается окно Отслеживание точек, в котором необходимо указать координату точки деформируемого тела, положение которой будет отслеживаться (рисунок 1.18).

Задание координаты точки можно осуществить непосредственным указанием ее положения в окне **Display** с помощью ЛКМ. В общем случае таких точек может быть несколько. По окончании ввода точек необходимо нажать ЛКМ на кнопку **Next**.

Результатом выполнения команды **Point Tracing** станет появление на экране графика, на котором будет отображаться текущее значение указанной в окне **Параметры** величины. Число выводимых графиков будет соответствовать числу указанных точек.

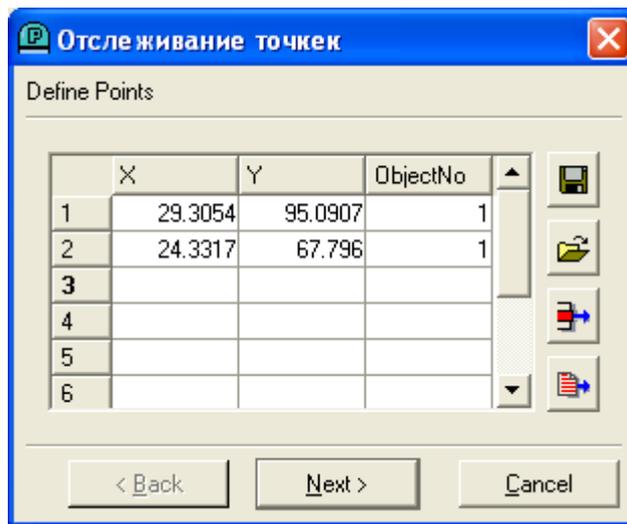


Рисунок 1.18 - Окно **Отслеживание точек**

Для вывода данных по усилию процесса действующего на объекты используется команда **График Усилие-перемещение** , после вызова, которой появляется окно **Graf (Load-Stroke)** (рисунок 1.19).

В окне **Graf (Load-Stroke)** необходимо указать:

- объект, с которого будет сниматься усилие,
- по какой оси интересует усилие,
- в зависимости от чего (времени или перемещения) необходимо осуществить построение графика.

По окончании указания данных необходимо нажать ЛКМ на кнопку ОК, после чего в окне **Display** появиться график.

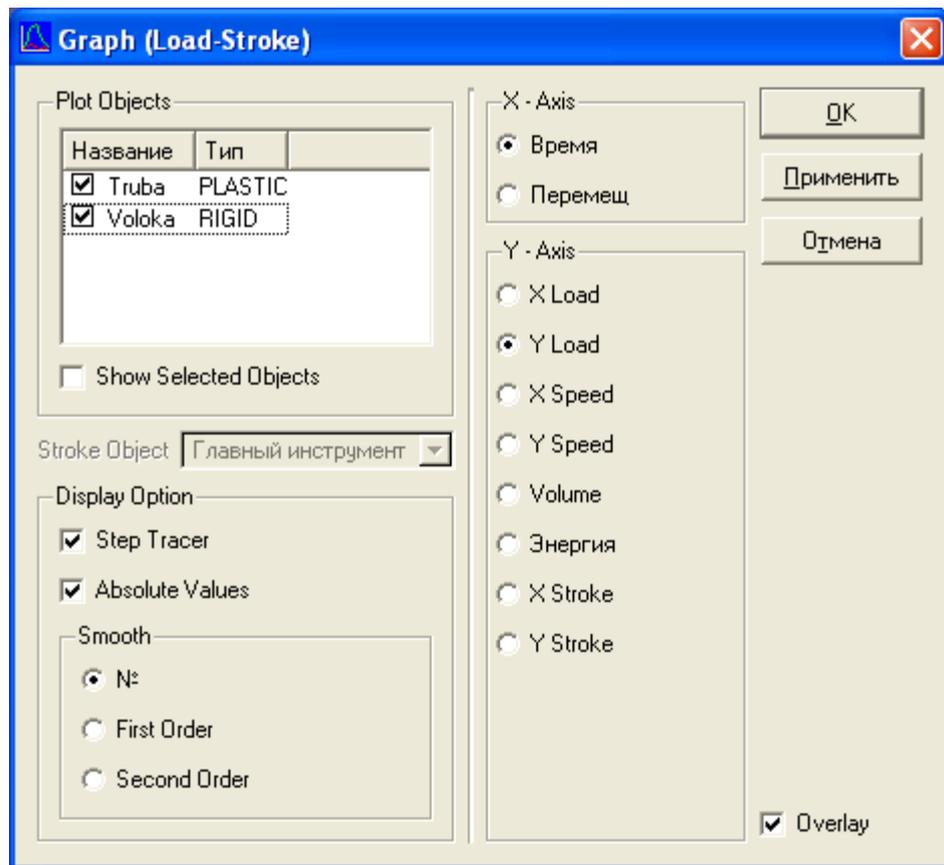


Рисунок 1.19 - Окно **Graf (Load-Stroke)**

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТАНКА MODELA MDX

## Введение

Современные технологии производства сложных изделий основываются на использовании прототипов (макетов) будущего изделия. Как правило, технологии быстрого прототипирования используются для создания прототипов сложных изделий содержащих большое количество деталей – сборок.

При проектировании сборок одной и наиболее важных задач является пространственная увязка отдельных деталей в изделие. Использование технологий быстрого прототипирования позволяет избежать возникновения большого количества ошибок связанных с неточностью позиционирования отдельных деталей в сборке.

Одним из направлений создания подобных макетов является использование станков с числовым программным управлением (ЧПУ), изготавливающих макет изделия не в металле, а на специальном более дешевом материале (пластике, полиэтилене, пенопласте и др.).

Для использования станка с ЧПУ необходимо под каждую конкретную деталь осуществить разработку программы управления перемещения инструмента, т.е. необходимо создать программу, описывающую траекторию движения инструмента. Поскольку стоимость станка с ЧПУ высока и его простой нежелателен, то в производстве в ряде случаев на станках с ЧПУ приходится осуществлять изготовление широкой номенклатуры деталей. На других производствах, например, при изготовлении штамповой оснастки осуществляется изготовление вообще уникальных деталей, т.к. штамповая оснастка изготавливается значительно реже, чем детали, которые получают с её использованием. Таким образом, для нормального обслуживания одного станка требуется постоянная необходимость разрабатывать новые программы управления. Решить эту проблему позволяет использование

САМ-систем (системы автоматизированной подготовки к производству).

Применение САМ-систем позволяет не только в кратчайший срок осуществить создание программы управления, но и сделать программу управления наиболее оптимальной с точки зрения выбора режимов обработки и траектории движения инструмента, уменьшая при этом количество ошибок, связанных с “человеческим фактором” до минимума.

**Цель работы:** Ознакомиться с основами работы в программе управления станком с ЧПУ, на примере станка Modela MDX и программы MODELА Player.

### **Теоретические сведения**

#### *Основные сведения об используемой САD-системе*

В качестве САD-системы рассмотрим программный продукт отечественной компании АО "Аскон" - Компас-График.

Система Компас-График является автоматизированной чертежно-конструкторской системой с широким набором библиотек и конструкторских приложений, а также с инструментальными средствами их разработки.

В основном данная система предназначена для работы с чертежной документацией, что в значительной мере учитывает специфику отечественной промышленности.

При работе с чертежами система дает возможность работать с документом, состоящим из нескольких листов, поддерживает стандартные стили линий, штриховок, всех типов размеров. В своей работе конструктор может использовать построение любых типов контуров, как из простых примитивов, так и с использованием NURBS-кривых, кривых Безье, эквидистантных кривых. При редактировании контуров деталей используются операции поворота, масштабирования, симметрии, копирования и др. Пользователю предоставляется широкий выбор средств зуммирования и панорамирования изображения (в том числе и в отдельном окне фрагмента изображения). Если возникает необходимость

одновременной работы с чертежами деталей, сборками и спецификациями, все эти документы можно открыть в одном сеансе работы.

При создании размеров автоматически проставляются допуски и есть возможность подобрать квалитет по заданным предельным отклонениям. В элементы оформления входят удобные в использовании знаки шероховатостей, линии выносок, обозначения баз и допусков формы, линии разрезов и сечений, выполненные по ГОСТ.

Для удобства работы конструктору предоставлена возможность создания пользовательских штампов и шаблонов с техническими указаниями, а также адаптировать оформление чертежа под стандарты оформления документации на предприятии.

Полностью автоматизировано создание спецификаций и других конструкторских инструментов по сборочному инструменту. В спецификации автоматически проставляются позиции, и происходит сортировка обозначений. Ускоряет работу использование библиотек содержащих стандартные параметрические элементы: болты, винты, гайки, шайбы и т.д.

В отличие от широких возможностей в работе с чертежами, возможности построения трехмерных моделей в Компасе меньше, однако, есть все основные операции построения характерные для твердотельного моделирования вращения, выдавливания, кинематическая операция по сечениям и т.д.

Следует заметить, что Компас разработан специально для операционной среды MS Windows и в полной мере использует все ее возможности и преимущества для предоставления пользователю максимальной эффективности и удобства в работе современный настраиваемый оконный интерфейс, поддержка технологии OLE отмена выполненных действий на произвольное число шагов и их повтор.

Наличие в системе интерфейсов CTL, IGES и DXF позволяет импортировать в Компас данные, полученные из других систем. При помощи

этих средств возможна передача в Компас трехмерных моделей, подготовленных в другие системах.

### **Особенности САМ-системы MODELA Player и фрезерного станка MODELA MDX**

В качестве САМ-системы рассмотрим программу MODELA Player. Данная система была произведена разработчиками фрезерного станка MODELA MDX (фирма ROLAND) для управления через LTP порт персонального компьютера.

Программа MODELA Player была произведена в 1998 году и, конечно же, морально устарела. Вместе с тем она обеспечивает главное, что должна обеспечивать любая САМ-система обработку заданной геометрии детали полученной из САД-системы, создание траектории инструмента для последующей обработки заготовки, а также последующий перевод траектории движения инструмента в машинные коды станка с ЧПУ. Экспорт геометрии осуществляется в STL-формате.

К основным достоинствам использования сочетания программы MODELA Player и станка MODELA MDX3 является то, что они имеют общего производителя, что уменьшает количество ошибок при обработке траектории и создании программы движения инструмента.

Программа имеет достаточно "понятный" интерфейс. При этом работа с MP построена пошагово таким образом, что по мере выполнения каждого шага происходит переход к заданию новых параметров. При желании всегда можно вернуться на любой шаг назад, и просмотреть параметры указанные ранее.

Следует отметить, что число задаваемых параметров технологического процесса в программе не велико, но при этом задание части параметров (скорости подачи по осям и частота вращения шпинделя) осуществляются за счет выбора материала, что значительно облегчает работу. Есть также возможность "создать" свой материал.

Фрезерный станок MODELA MDX3 фирмы ROLAND имеет

подвижный стол и подвижную фрезерную головку. Движение стола осуществляется по одной координате в двух направлениях. Фрезерная головка позволяет вращающейся по часовой стрелке фрезе перемещаться по двум координатам: к столу от стола и вдоль стола в двух направлениях.

Станок предназначен для обработки не металлических материалов - резины, дерева, пластмасс, пенопластов и др. Позволяет изготавливать детали с габаритными размерами в плане 152x101 мм. Основное предназначение – изготовление макетов изделий и различных декоративных элементов.

Основным достоинством данного оборудования является возможность подключения станка к персональному компьютеру через LTP порт, при этом передача информации с компьютера на станок осуществляется также как и при работе с обычным принтером.

### **Особенности описания геометрических данных с помощью формата STL**

Для передачи данных из программы Компас в программу Modela Player используется файл формата STL.

Формат STL или формат стереолитографии разрабатывался для представления трехмерных моделей объектов на стадии прототипирования. Является стандартным входным форматом для большинства систем быстрого прототипирования. Информация об объекте представляется в виде списка треугольных граней, которые описывают поверхность его твердотельной модели с заданной точностью.

Файл начинаться с ключевого слова `solid` и заканчиваться, словом `endsolid` (рисунок 1). Внутри этих ключевых слов приводится описание треугольников с помощью последовательного перечисления вершин, которые их образуют. Непосредственно сразу поле слова `solid` следует название описываемого объекта. Некоторые программы (например, Компас) при создании STL-файла прописывают название на русском языке, при дальнейшей работе с такими файлами в программах, не имеющих

русскоязычный интерфейс, возникают проблемы чтения файла (например, Deform), поэтому наличие русских слов в STL-файле не желательно.

Описание каждого треугольника начинается со слов `facet normal` и включает описание единичного вектора нормали, направленного от его поверхности, за которым после слов `outer loop` следует список трехмерных координат всех вершин, который заканчивается словом `endloop`. Заканчивается описание треугольника, словом `endfacet`, после которого начинается описание следующего треугольника, т.е. стоят слова `facet normal` и т.д. до полного перечисления всех треугольников описывающих тело.

```
solid Деталь
  facet normal 0.00 0.00 1.00
    outer loop
      vertex 2.00 1.00 0.00
      vertex -1.00 1.00 0.00
      vertex 0.00 -1.00 0.00
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.00 0.00 1.10
    outer loop
      vertex ...
    ...
  endsolid
```

Рисунок 1 – Структура STL-файла

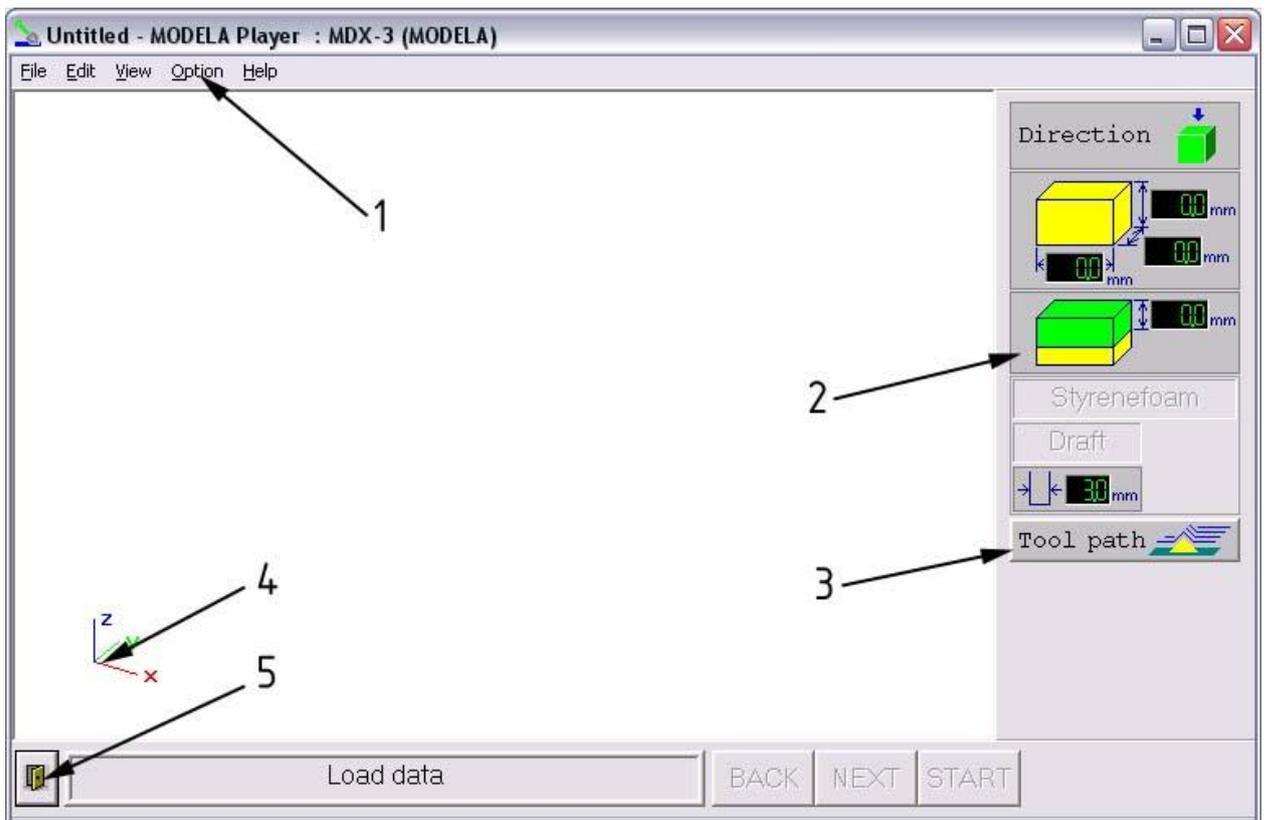
## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Создание трехмерной модели детали и файла STL

1. Постройте трехмерную модель детали в соответствии с заданием выданным преподавателем.
2. Сохраните построенную модель детали в формате STL в директории указанной преподавателем.
3. Найдите созданный STL-файл и откройте его с помощью программы Блокнот (Notepad). Для этого в Windows укажите иконку файла правой кнопкой мыши (ПКМ) из контекстного меню выберите команду **Открыть с помощью/Выбрать программу...**, в появившемся окне выберите из списка программ программу Блокнот (Notepad) и нажмите левой кнопкой мыши (ЛКМ) кнопку **ОК**.
4. Измените название описываемого объекта, прописываемое при создании файла в первую строку после слова solid с русского слова Деталь на английское Part.
5. Закройте файл, сохранив изменения.

### Назначение параметров режима обработки в программе MODELA Player

1. Запустите программу mdx3p выбрав последовательно в меню **Пуск Программы/MODELA App Group/mdx3p.exe**.
2. Появится окно программы MODELA Player (рис. 2) содержащее **Строку меню, Панель инструментов**, и кнопки **Tool path** (Траектория перемещения инструмента), **BACK, NEXT, START, Quit**.



1 – Строка меню, 2 - Панель инструментов, 3 – кнопка **Tool path**; 4 – система координат, 5 – кнопка **Quit**

Рисунок 2 - Окно программы MODELA Player

3. С помощью команды **Open** меню **File** найдите STL-файл детали созданный ранее в программе Компас и отредактированный в – Блокнот и откройте его. На экране появиться изображение модели, описанное с помощью треугольников (пример модели зубчатого колеса показан на рис. 3). Модель будет импортирована и расположена в той же системе координат, в какой и была построена, при этом возможно, что деталь будет расположена таким образом, что обрабатываемая поверхность будет расположена параллельно к плоскости обработки (рисунок 4).

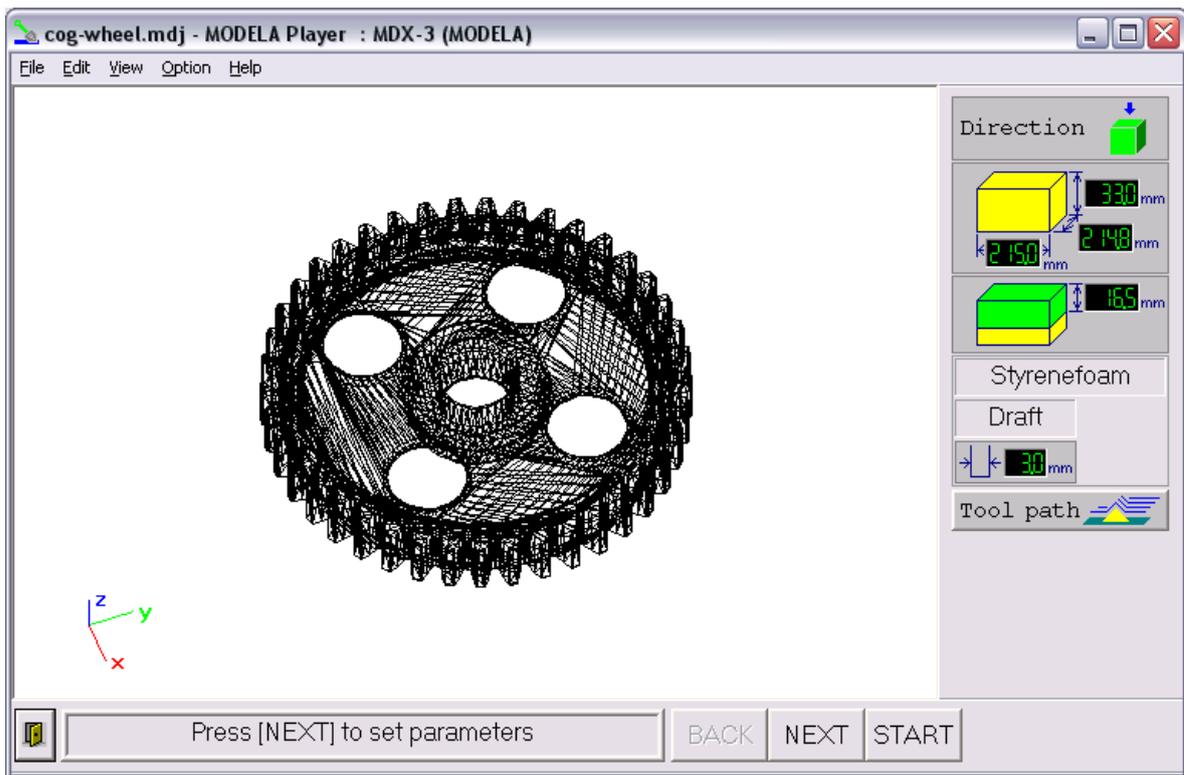


Рисунок 3 – Модель зубчатого колеса

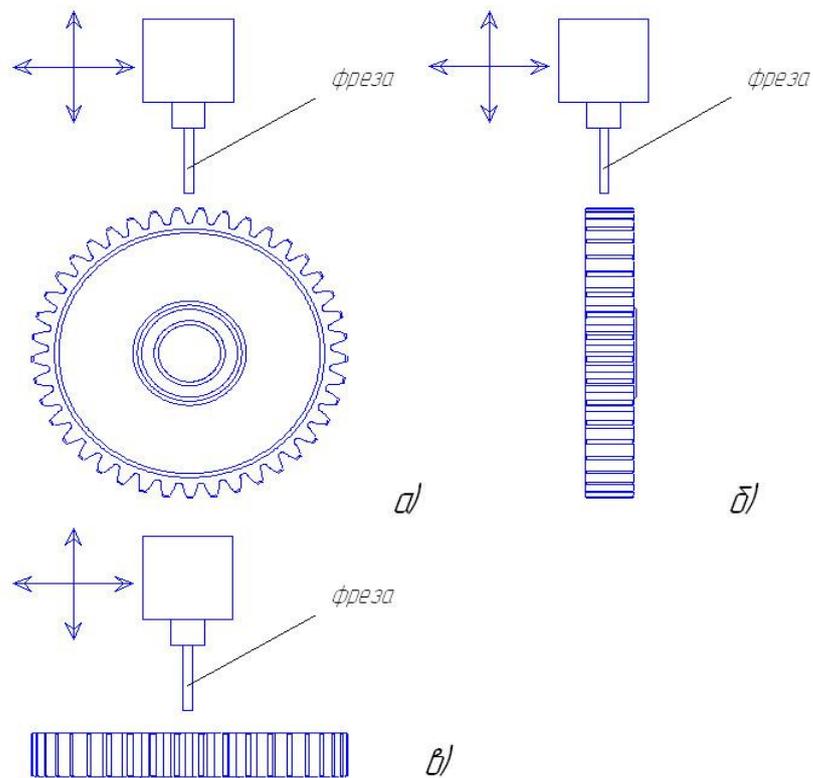
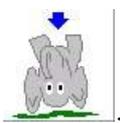


Рисунок 4 – Иллюстрация к возможным вариантам расположения заготовки на столе: а, б – неверное; в – верное

4. Нажмите ЛКМ на изображение модели и, не отпуская ее, сместите мышку, изображение модели развернется в соответствии с направлением перемещения мышки.

5. Рассмотрите изображение модели со всех сторон. Обратите внимание на то, что в правом углу окна программы на **Панели инструментов** в пункте **Direction** (указания) стоят текущие размеры модели, которые соответствуют размерам построенной вами детали.

6. Нажмите кнопку **NEXT** для перехода к заданию расположения модели относительно системы координат программы. Последовательно

нажимая на кнопки **From top** , **From bottom** , и т.д. расположите модель таким образом, чтобы можно было обрабатывать плоскую поверхность модели.

7. Для перехода к заданию размеров детали нажмите кнопку **Next**. При создании прототипа осуществляется изготовление уменьшенной модели детали, а данное окно используется для задания масштаба прототипа.

8. Нажмите на кнопку **mm** расположенную надписи **Length** (длина) и введите в появившемся окне значение длины равное 50 мм. Обратите внимание на то что произойдет автоматическое пропорциональное уменьшение размеров модели по всем направлениям.

9. В меню **Options** выберите пункт **Layout** (расположение). В появившемся окне **Layout/ Surfacing** (расположение поверхности обработки) синим цветом показана область, занимаемая деталью на рабочей поверхности стола станка (показана оранжевым цветом). Полоса запаса необходимая для подхода инструмента при обработке показана белым цветом. Штриховкой показана поверхность для предварительной обработки (выравнивания) поверхности заготовки.

10. Наведите курсор на модель (прямоугольник синего цвета), нажмите на ЛКМ и, не отпуская ее, сместите изображение объекта в центр рабочего стола станка (рисунок 5).

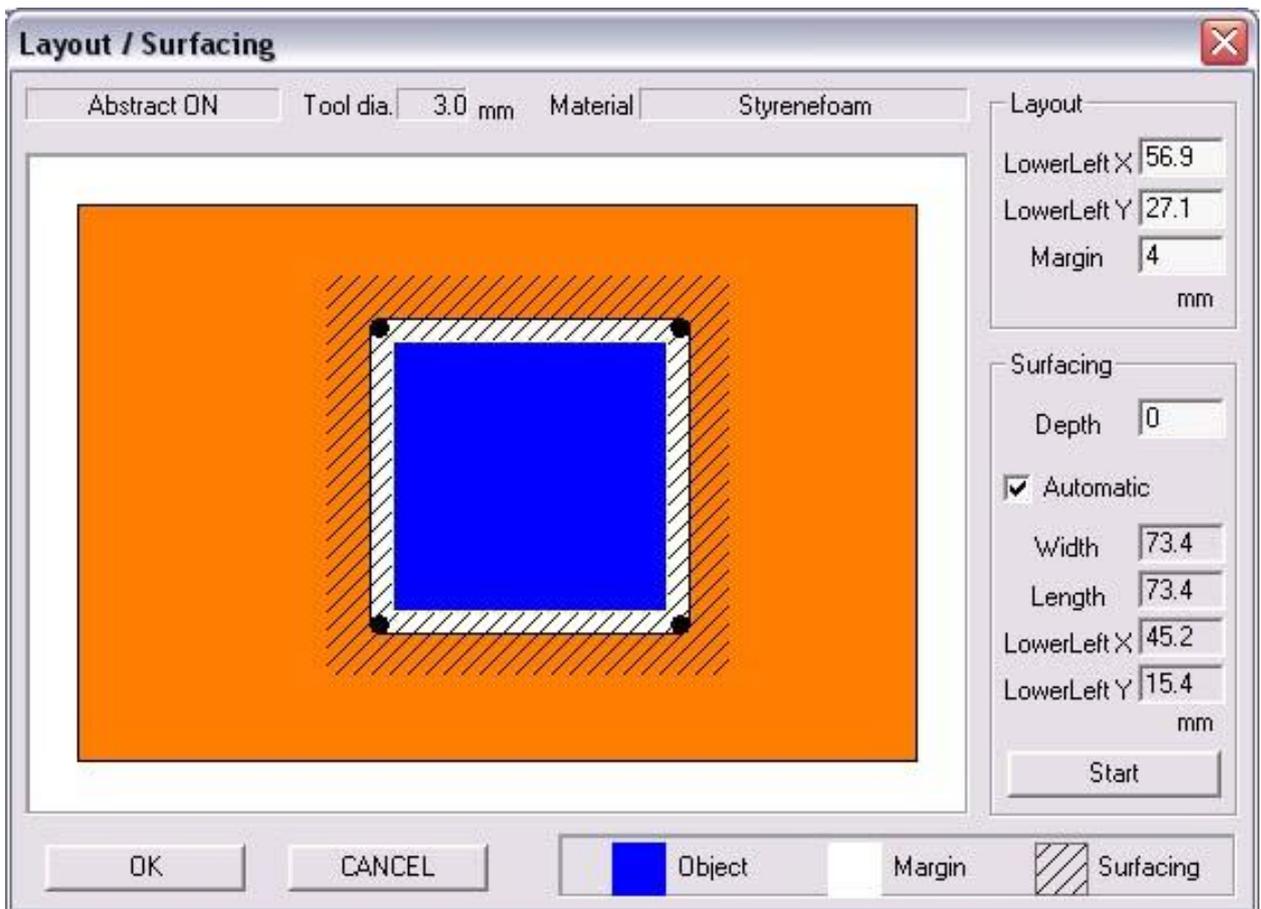


Рисунок 5 – Расположение объекта на столе станка

11. Для окончания ввода данных о расположении изготавливаемой детали на столе нажмите кнопку **OK**.

12. Нажмите кнопку **NEXT** для перехода к заданию линии определяющей уровень разделения переходов изготовления детали. Задание двух переходов необходимо, в случае если изготовить модель нельзя с помощью обработки с одной стороны, т.е. необходимо перевернуть деталь.

13. Если Вашу деталь можно изготовить за один переход, то установите с помощью вращения бегунка показанного на рис. 6 стрелкой (нажав и не отпуская ЛКМ, перемещайте мышку) значение параметра Left равное 0.

14. Если для изготовления детали ее необходимо переворачивать нажмите на кнопку **Center**. Для установления линии уровня разделения переходов на высоте составляющей 1/2 от высоты детали.

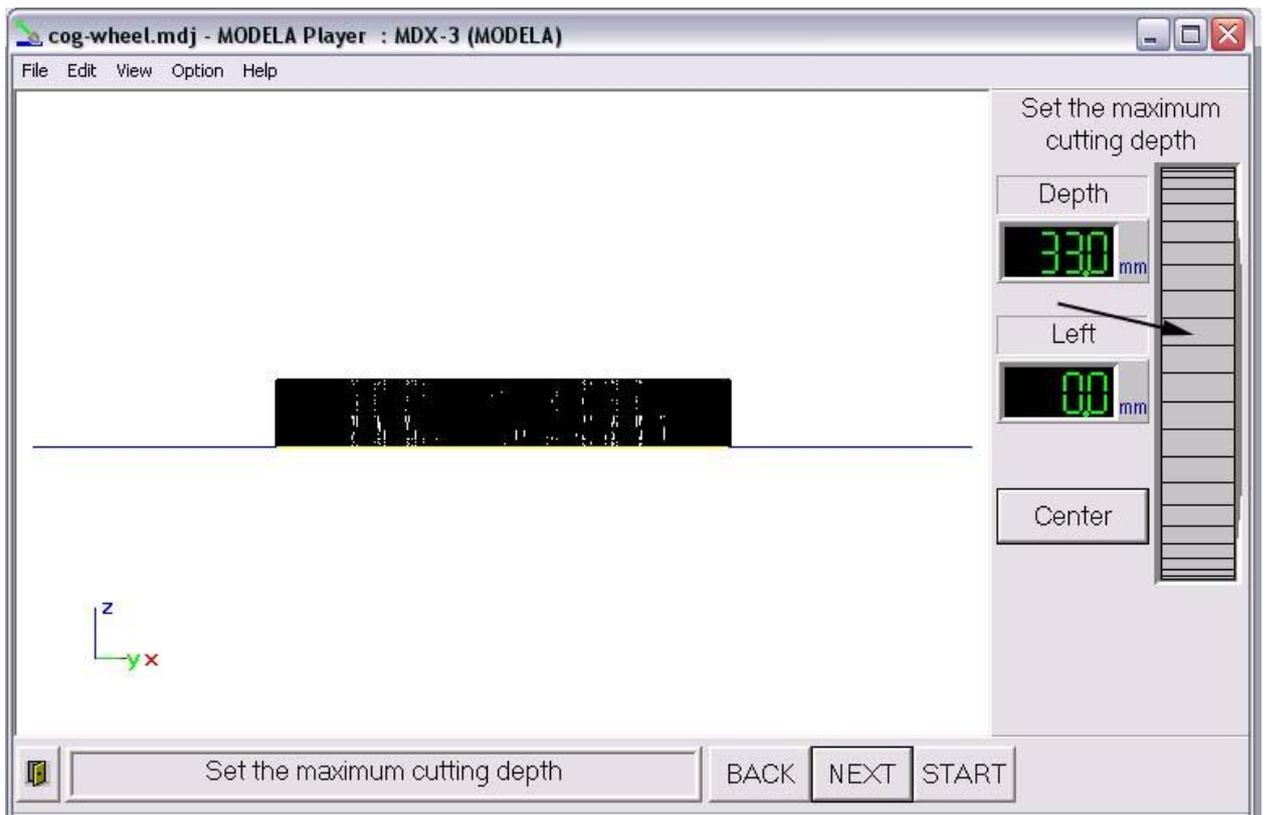


Рисунок 6 – Окно установки глубины обработки

В результате указанных действий в пунктах 13 и 14 будет установлена глубина обработки для текущего перехода обработки. На экране она будет показана, синей линией.

15. Снова нажмите на кнопку **NEXT** и перейдите к заданию параметров инструмента и режимов обработки (рисунок 7).

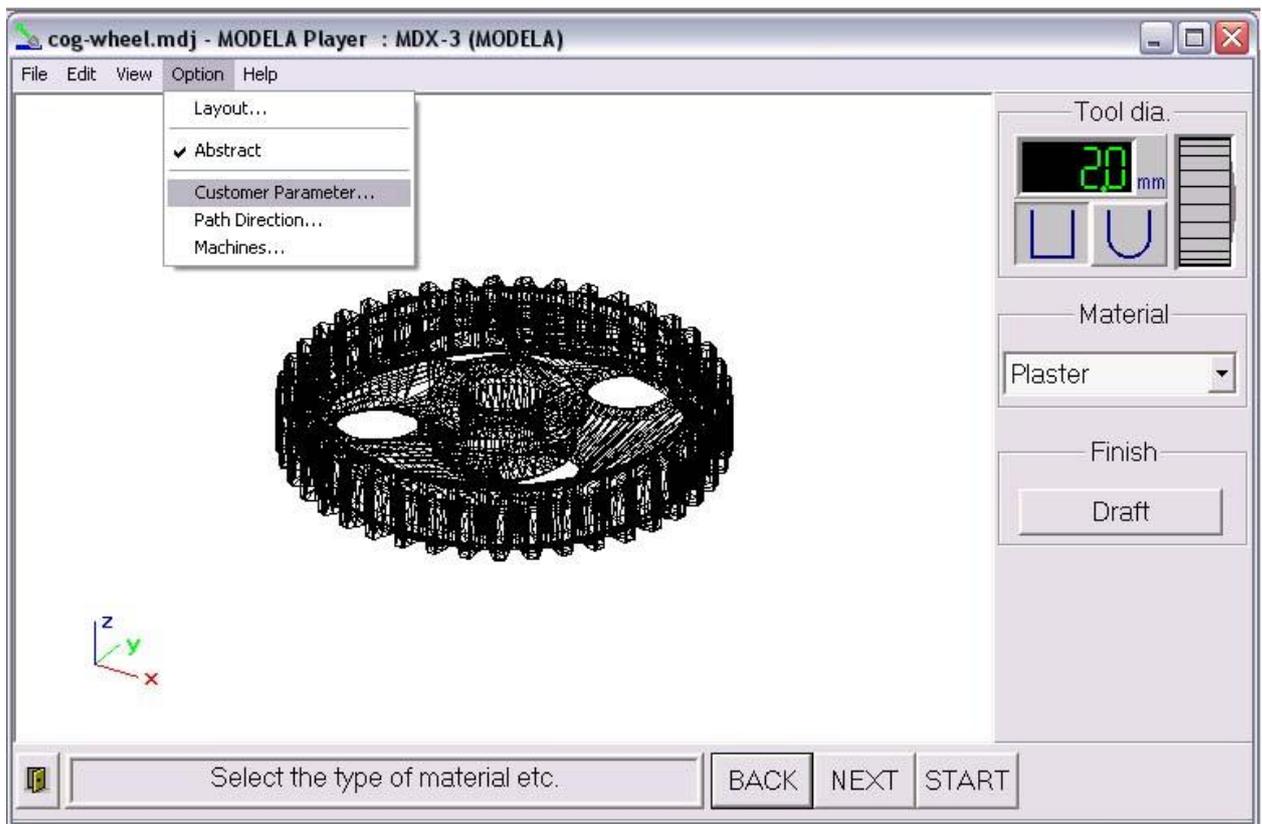


Рисунок 7 – Окно программы в режиме задания параметров инструмента и режимов обработки

16. В пункте **Tool dia.** убедитесь в том, что кнопка **Straight**  нажата, это обозначает, что используемый инструмент (фреза) имеет неокругленную форму. С помощью бегунка расположенного снизу справа под надписью **Tool dia.** по аналогии с пунктом 13 установите значение диаметра фрезы равное 2 мм.

17. В меню **Options** выберите пункт **Customer parameters...** В появившемся окне **Customer parameters** (рисунок 8) нажмите на кнопку **Add** (добавить). В окне **Enter name** (ввод имени) наберите "Foam plastic" (пенопласт). Нажмите кнопку **OK**.

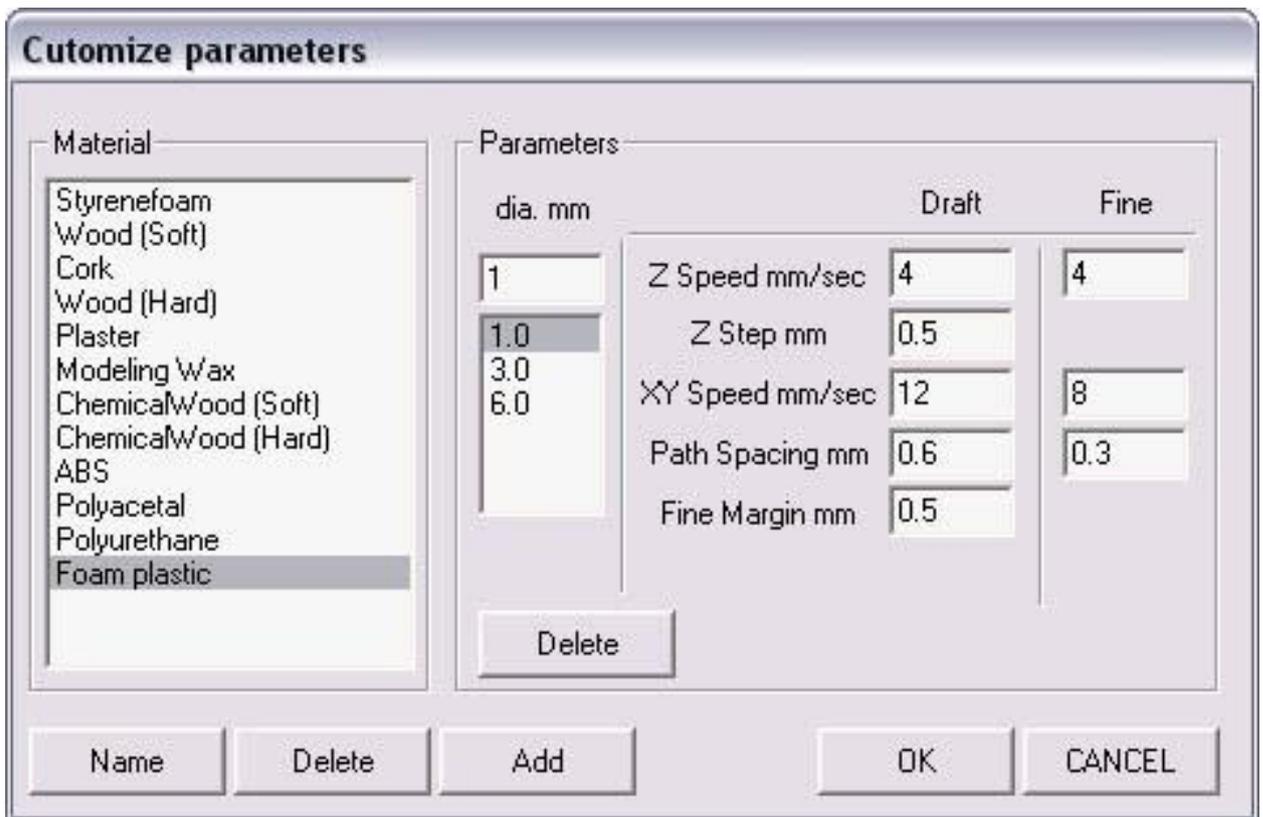


Рисунок 8 – Окно **Customer parameters...**

18. В случае если после нажатия на кнопку **OK** появиться окно, с предупреждением показанное на рисунке 8, то необходимо нажать на кнопку **OK**, после чего вместо символа “@” в окне **Enter name** ввести любую цифру. В результате в правой части окна **Customer parameters...** появиться новый материал.



Рисунок 9 – Окно с предупреждением.

19. Обратите внимание на то, что в правой части окна **Customer parameters...** показаны параметры чистовой (**Fine**) и черновой (**Draft**) обработки, в зависимости от различных размеров диаметра инструмента (**dia.**). При необходимости параметры обработки материала можно изменить,

вводя соответствующие значения в нужные ячейки расположенные правее соответствующих параметров.

20.Нажмите **ОК** для завершения работы с окном **Customer parameters...**

21.Для задания характеристик обработки (частоты вращения и перемещения инструмента) на **Панели инструментов** нажмите на кнопку



и выберите из выпадающего меню материала, который был создан (**Form plastic**).

22.Нажатием на кнопку расположенную ниже надписи **Finish** выберите режим обработки **Fine**.

23.Нажмите кнопку **NEXT** для окончания задания исходных данных по обработке. Произойдет переход к окну, с которого началось задание исходных данных.

24.Убедитесь в том, что все исходные данные были заданы, верно.

25.В меню **File** выберите команду **Save as...**, и в появившемся окне присвойте имя создаваемому файлу, который будет содержать траекторию инструмента. Нажмите кнопку **Сохранить**.

26.Нажмите на кнопку **Tool Path**. Через некоторое время на экране появится изображение траектории движения инструмента показанное синей линией (на рисунке 10 показана траектория движения инструмента при изготовлении зубчатого колеса).

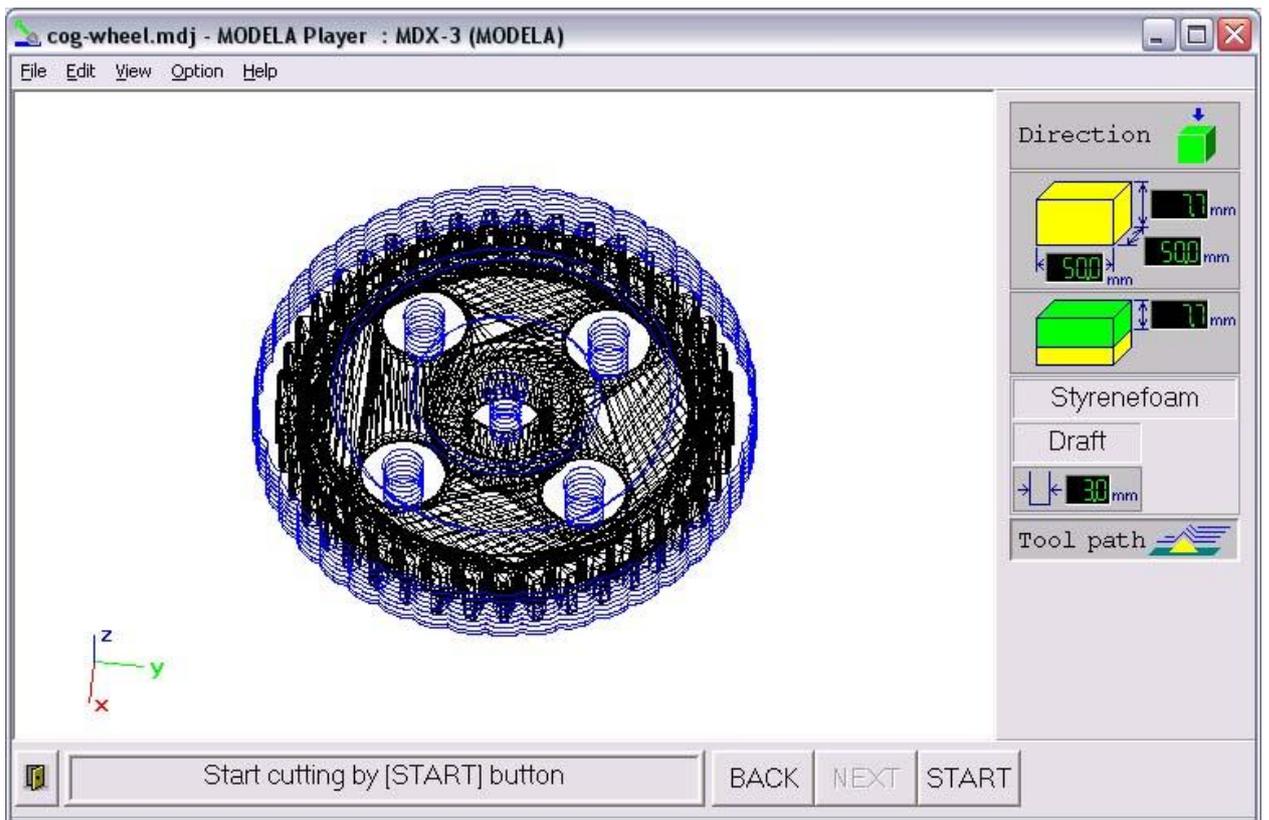


Рисунок 10 – Траектория движения инструмента при изготовлении зубчатого колеса

## Список источников

1. Мирошник , И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: Учебное пособие для вузов [Текст]/И.В. Мирошник. - СПб.: Питер, 2005. - 336 с.
2. Повзнер, Л.Д. Теория систем управления: Учебное пособие для вузов [Текст]/Л.Д. Повзнер. - М.: Изд. МГГУ, 2002. - 472 с.
3. Михайлов, В.С. Теория управления [Текст]/В.С. Михайлов. – К.: Высшая школа, 1988.
4. Орлов, А.И. Менеджмент: Учебник [Текст]/А.И. Орлов. – М.: "Изумруд", 2003.
5. Зайцев, Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования [Текст]/Г.Ф. Зайцев. – К.: Высшая школа, 1989.
6. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки [Текст]/Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1968. – 283 с.
7. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка [Текст]/М.Е. Зубцов. – Л: Машиностроение, 1967. – 504 с
8. Теорияковки и штамповки // Под ред. Е.П.Унксова и А.Г.Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1992. – 720 с.
9. Дмитриев, А.М. Методы факторного планирования эксперимента в обработке давлением: Учебное пособие для вузов [Текст]/А.М. Дмитриев, Н.В. Коробова, В.П. Ступников. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. – 105 с.

## ПРАКТИКА 1,2. СТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ

Термин "организационная структура" сразу же вызывает в нашем воображении двумерную древовидную схему, состоящую из прямоугольников и соединяющих их линий. Эти прямоугольники показывают выполняемую работу и круг обязанностей и, таким образом отображают разделение труда в организации. Относительное положение прямоугольников и соединяющие их линии показывают степень подчинения. Рассмотренные соотношения ограничены двумя измерениями : вверх - вниз и поперек, так как мы оперируем с ограниченным допущением, согласно которому организационная структура должна быть представлена на двумерной схеме, вычерчиваемой на плоской поверхности.

В самой же организационной структуре не содержится ничего такого, что ограничивало бы нас в этом отношении. Кроме того, эти ограничения на структуру организации часто вызывают серьезные и дорогостоящие последствия. Вот только четыре из них. Во-первых, между отдельными частями организаций такого рода возникает не сотрудничество, а конкуренция. Внутри организаций существует более сильная конкуренция, чем между организациями, и эта внутренняя конкуренция приобретает значительно менее этичные формы. Во-вторых, обычный способ представления структуры организаций серьезно затрудняет определение задач отдельных подразделений и измерение соответствующих показателей качества работы вследствие большой взаимозависимости подразделений, объединенных подобным образом. В-третьих, это способствует созданию организаций, сопротивляющихся изменениям, особенно изменениям их структуры; поэтому они перерождаются в бюрократические структуры, не поддающиеся адаптации. Большинство таких организаций обучается крайне медленно, если обучается вообще. В-четвертых, представление организационной структуры в виде двумерного дерева ограничивает число и характер возможных вариантов решения возникающих проблем. При наличии такого ограничения невозможны решения, обеспечивающие развитие организации с учетом технических и социальных

изменений, темпы которых все больше и больше растут. Существующая обстановка требует, чтобы организации были не только готовы к любым изменениям, но и способны им подвергаться. Другими словами, необходимо динамическое равновесие. Очевидно, что для достижения такого равновесия организация должна иметь достаточно гибкую структуру. (Хотя гибкость не гарантирует приспособляемости, тем не менее, она необходима для достижения последней).

Построение гибкой или обладающей какими-либо иными достоинствами организационной структуры является одной из задач так называемого "структурного зодчества". Используя терминологию, принятую в архитектуре, можно сказать, что в данном реферате излагаются основные идеи, на основе которых могут быть разработаны различные варианты решения проблемы организационной структуры без ограничений, связанных с ее графическим представлением.

Выше перечисленные недостатки можно и нужно преодолеть путем построения многомерной организационной структуры. Многомерная структура подразумевает демократический принцип управления.

### **Иерархический тип структур управления**

Структуры управления на многих современных предприятиях были построены в соответствии с принципами управления, сформулированными еще в начале XX века. Наиболее полную формулировку этих принципов дал немецкий социолог Макс Вебер (концепция рациональной бюрократии):

- принцип иерархичности уровней управления, при котором каждый нижестоящий уровень контролируется вышестоящим и подчиняется ему;
- вытекающий из него принцип соответствия полномочий и ответственности работников управления месту в иерархии;
- принцип разделения труда на отдельные функции и специализации работников по выполняемым функциям; принцип формализации и стандартизации деятельности, обеспечивающий однородность

выполнения работниками своих обязанностей и скоординированность различных задач;

- вытекающий из него принцип обезличенности выполнения работниками своих функций;
- принцип квалификационного отбора, в соответствии с которым найм и увольнение с работы производится в строгом соответствии с квалификационными требованиями.

Организационная структура, построенная в соответствии с этими принципами, получила название иерархической или бюрократической структуры. Наиболее распространенным типом такой структуры является линейно - функциональная (линейная структура).

### **Линейная организационная структура**

Основы линейных структур составляет так называемый "шахтный" принцип построения и специализация управленческого процесса по функциональным подсистемам организации (маркетинг, производство, исследования и разработки, финансы, персонал и т. д. ). По каждой подсистеме формируется иерархия служб ("шахта"), пронизывающая всю организацию сверху донизу (рисунок 1). Результаты работы каждой службы оцениваются показателями, характеризующими выполнение ими своих целей и задач. Соответственно строится и система мотивации и поощрения работников. При этом конечный результат (эффективность и качество работы организации в целом) становится как бы второстепенным, так как считается, что все службы в той или иной мере работают на его получение.

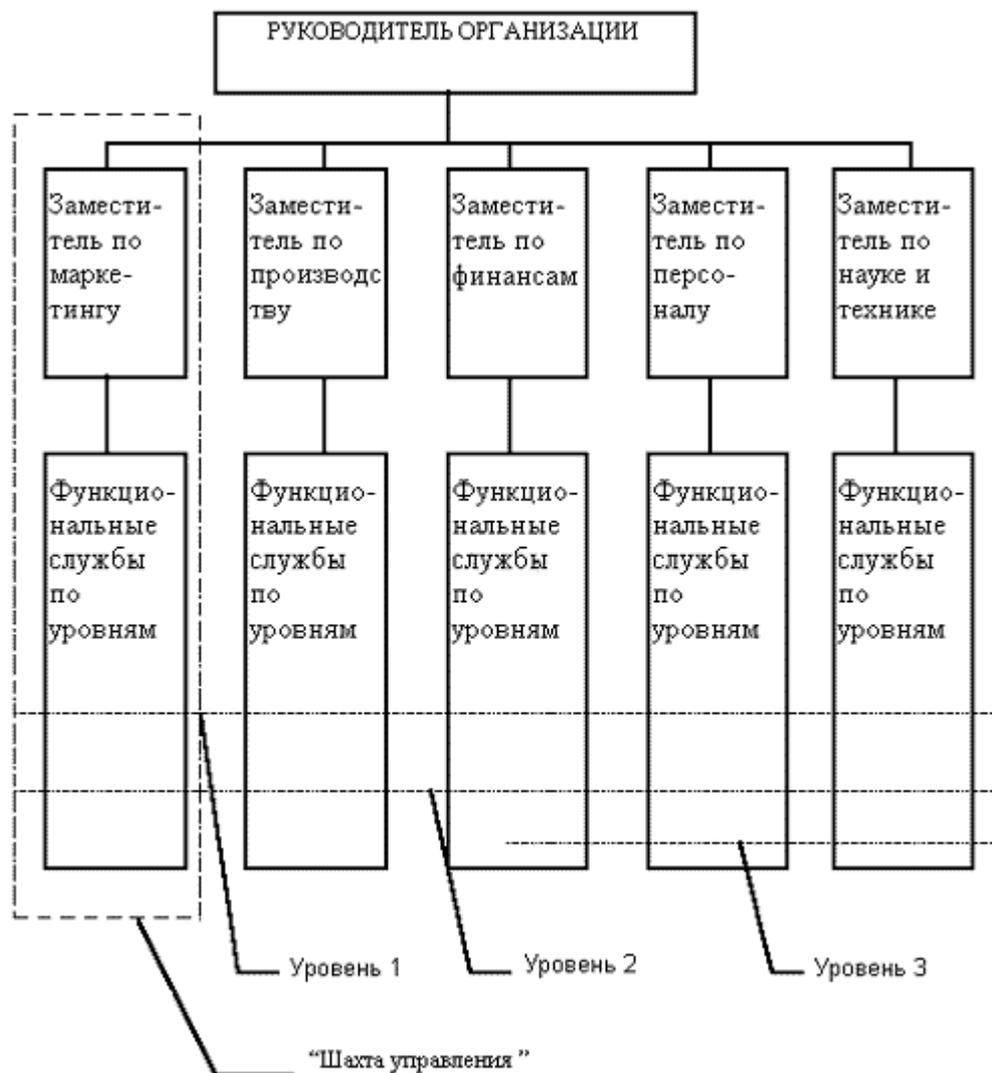


Рисунок 1 - Линейная структура управления

Преимущества линейной структуры:

- четкая система взаимных связей функций и подразделений;
- четкая система единоначалия - один руководитель сосредотачивает в своих руках руководство всей совокупностью процессов, имеющих общую цель;
- ясно выраженная ответственность;
- быстрая реакция исполнительных подразделений на прямые указания вышестоящих.

Недостатки линейной структуры:

- отсутствие звеньев, занимающихся вопросами стратегического планирования; в работе руководителей практически всех уровней

оперативные проблемы ("текучка") доминирует над стратегическими; тенденция к волоките и перекладыванию ответственности при решении проблем, требующих участия нескольких подразделений;

- малая гибкость и приспособляемость к изменению ситуации;
- критерии эффективности и качества работы подразделений и организации в целом - разные;
- тенденция к формализации оценки эффективности и качества работы подразделений приводит обычно к возникновению атмосферы страха и разобщенности;
- большое число "этажей управления" между работниками, выпускающими продукцию, и лицом, принимающим решение;
- перегрузка управленцев верхнего уровня;
- повышенная зависимость результатов работы организации от квалификации, личных и деловых качеств высших управленцев.

Вывод: в современных условиях недостатки структуры перевешивают ее достоинства. Такая структура плохо совместима с современной философией качества.

### **Линейно - штабная организационная структура**

Такой вид организационной структуры является развитием линейной и призван ликвидировать ее важнейший недостаток, связанный с отсутствием звеньев стратегического планирования. Линейно - штабная структура включает в себя специализированные подразделения (штабы), которые не обладают правами принятия решений и руководства какими - либо нижестоящими подразделениями, а лишь помогают соответствующему руководителю в выполнении отдельных функций, прежде всего, функций стратегического планирования и анализа. В остальном эта структура соответствует линейной (рисунок 2).



Рисунок 2 - Линейно - штабная структура управления

Достоинства линейно - штабной структуры:

- более глубокая, чем в линейной, проработка стратегических вопросов; некоторая разгрузка высших руководителей;
- возможность привлечения внешних консультантов и экспертов;
- при наделении штабных подразделений правами функционального руководства такая структура - хороший первый шаг к более эффективным органическим структурам управления.

Недостатки линейно - штабной структуры:

- недостаточно четкое распределение ответственности, т. к. лица, готовящие решение, не участвуют в его выполнении;
- тенденции к чрезмерной централизации управления;
- аналогичные линейной структуре, частично - в ослабленном виде.

Вывод: линейно - штабная структура может являться хорошей промежуточной ступенью при переходе от линейной структуры к более эффективным. Структура позволяет, правда в ограниченных пределах, воплощать идеи современной философии качества.

### **Дивизионная структура управления**

Уже к концу 20-х годов стала ясна необходимость новых подходов к организации управления, связанная с резким увеличением размеров предприятий, диверсификацией их деятельности (многопрофильностью),

усложнением технологических процессов в условиях динамически меняющегося окружения. В связи с этим стали возникать дивизионные структуры управления, прежде всего в крупных корпорациях, которые стали предоставлять определенную самостоятельность своим производственным подразделениям, оставляя за руководством корпорации стратегию развития, научно - исследовательские разработки, финансовую и инвестиционную политику и т. п. В этом типе структур сделана попытка сочетать централизованную координацию и контроль деятельности с децентрализованным управлением. Пик внедрения дивизионных структур управления пришелся на 60 - 70-е годы (рисунок 3).

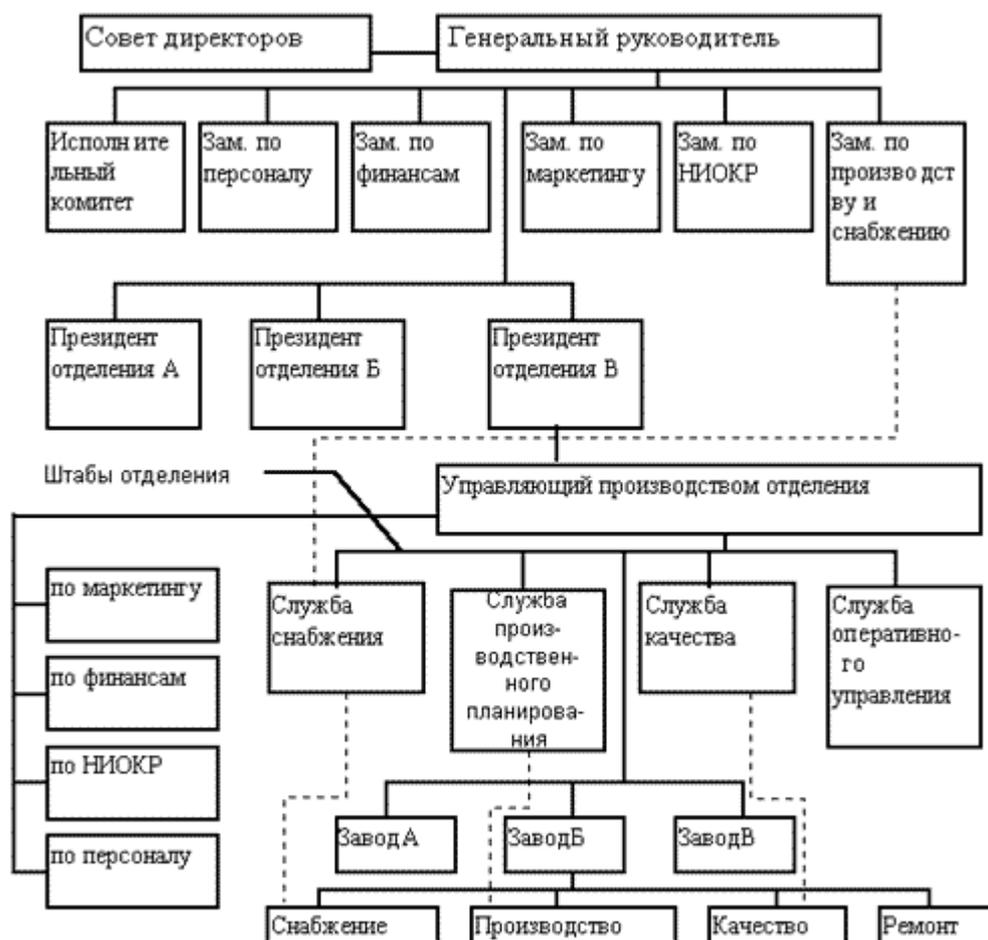


Рисунок 3 - Дивизионная структура управления

Ключевыми фигурами в управлении организациями с дивизионной структурой являются уже не руководители функциональных подразделений, а менеджеры, возглавляющие производственные отделения (дивизионы).

Структуризация по дивизионам, как правило, производится по одному из критериев: по выпускаемой продукции (изделиям или услугам) - продуктовая специализация; по ориентации на определенные группы потребителей - потребительская специализация; по обслуживаемым территориям - региональная специализация. В нашей стране аналогичные структуры управления широко внедрялись, начиная с 60-х годов в форме создания производственных объединений.

Преимущества дивизионной структуры:

- она обеспечивает управление многопрофильными предприятиями с общей численностью сотрудников порядка сотен тысяч и территориально удаленными подразделениями;
- обеспечивает большую гибкость и более быструю реакцию на изменения в окружении предприятия по сравнению с линейной и линейно - штабной;
- при расширении границ самостоятельности отделений они становятся "центрами получения прибыли", активно работая по повышении эффективности и качества производства;
- более тесная связь производства с потребителями.

Недостатки дивизионной структуры:

- большое количество "этажей" управленческой вертикали; между рабочими и управляющим производством подразделения - 3 и более уровня управления, между рабочими и руководством компании - 5 и более;
- разобщенность штабных структур отделений от штабов компании;
- основные связи - вертикальные, поэтому остаются общие для иерархических структур недостатки - волокита, перегруженность управленцев, плохое взаимодействие при решении вопросов, смежных для подразделений и т. д. ;
- дублирование функций на разных "этажах" и как следствие - очень высокие затраты на содержание управленческой структуры;

- в отделениях, как правило, сохраняется линейная или линейно - штабная структура со всеми их недостатками.

Вывод: достоинства дивизионных структур перевешивают их недостатки только в периоды достаточно стабильного существования, при нестабильном окружении они рискуют повторить судьбу динозавров. При данной структуре возможно воплотить большую часть идей современной философии качества.

### **Органический тип структур управления**

Органические или адаптивные структуры управления стали развиваться примерно с конца 70-х годов, когда, с одной стороны, создание международного рынка товаров и услуг резко обострило конкуренцию среди предприятий и жизнь потребовала от предприятий высокой эффективности и качества работы и быстрой реакции на изменения рынка, и с другой стороны, стала очевидной неспособность структур иерархического типа этим условиям соответствовать. Главным свойством управленческих структур органического типа является их способность изменять свою форму, приспособившись к изменяющимся условиям. Разновидностями структур этого типа являются проектные, матричные (программно-целевые), бригадные формы структур. При внедрении этих структур необходимо одновременно изменять и взаимоотношения между подразделениями предприятия. Если же сохранять систему планирования, контроля, распределения ресурсов, стиль руководства, методы мотивации персонала, не поддерживать стремление работников к саморазвитию, результаты внедрения таких структур могут быть отрицательными.

### **Бригадная (кросс - функциональная) структура управления**

Основой этой структуры управления является организация работ по рабочим группам (бригадам). Форма бригадной организации работ - достаточно древняя организационная форма, достаточно вспомнить рабочие артели, но только с 80-х годов началось ее активное применение как структуры управления организацией, во многом прямо противоположной иерархическому

типу структур. Основными принципами такой организации управления являются:

- автономная работа рабочих групп (бригад);
- самостоятельное принятие решений рабочими группами и координация деятельности по горизонтали;
- замена жестких управленческих связей бюрократического типа гибкими связями;
- привлечение для разработки и решения задач сотрудников разных подразделений.

Эти принципы разрушает свойственное иерархическим структурам жесткое распределение сотрудников по производственным, инженерно-техническим, экономическим и управленческим службам, которые образуют изолированные системы со своими целевыми установками и интересами.

В организации, построенной по этим принципам, могут как сохраняться функциональные подразделения, так отсутствовать (рисунок 4). В первом случае работники находятся под двойным подчинением - административным (руководителю функционального подразделения, в котором они работают) и функциональным (руководителю рабочей группы или бригады, в которую они входят). Такая форма организации называется кросс-функциональной, во многом она близка к матричной. Во втором случае функциональные подразделения как таковые отсутствуют, ее мы будем называть собственно бригадной. Такая форма достаточно широко применяется в организации управления по проектам.



Рисунок 4 - Кросс - функциональная организационная структура

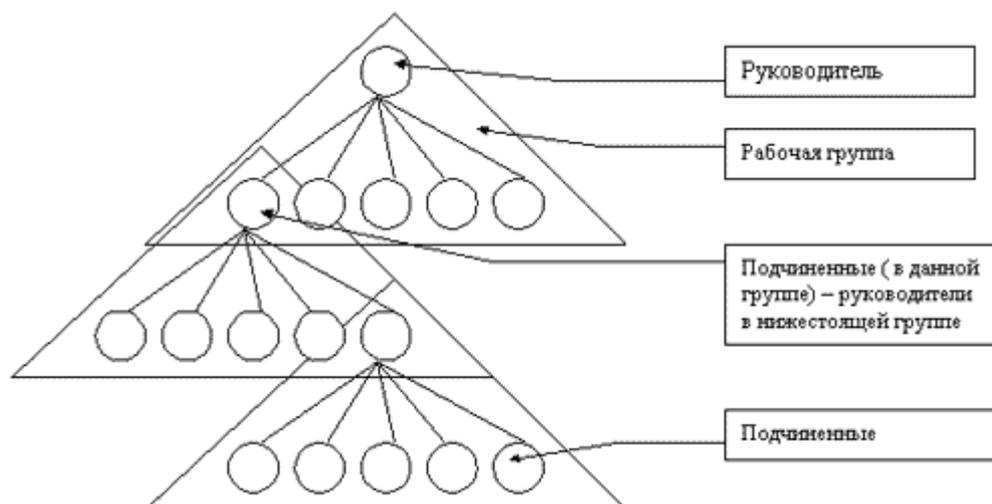


Рисунок 5 - Структура организации, состоящей из рабочих групп (бригадная)

Преимущества бригадной (кросс-функциональной) структуры:

- сокращение управленческого аппарата, повышение эффективности управления;
- гибкое использование кадров, их знаний и компетентности;
- работа в группах создает условия для самосовершенствования;
- возможность применения эффективных методов планирования и управления;
- сокращается потребность в специалистах широкого профиля.

Недостатки бригадной (кросс-функциональной) структуры:

- усложнение взаимодействия (в особенности для кросс-функциональной структуры);
- сложность в координации работ отдельных бригад;
- высокая квалификация и ответственность персонала;
- высокие требования к коммуникациям.

Вывод: данная форма организационной структуры наиболее эффективна в организациях с высоким уровнем квалификации специалистов при их хорошем техническом оснащении, в особенности в сочетании с управлением по проектам. Это - один из типов организационных структур, в которых наиболее эффективно воплощаются идеи современной философии качества.

### **Проектная структура управления**

Основным принципом построения проектной структуры является концепция проекта, под которым понимается любое целенаправленное изменение в системе, например, освоение и производство нового изделия, внедрение новых технологий, строительство объектов и т. д. Деятельность предприятия рассматривается как совокупность выполняемых проектов, каждый из которых имеет фиксированное начало и окончание. Под каждый проект выделяются трудовые, финансовые, промышленные и т. д. ресурсы, которыми распоряжается руководитель проекта. Каждый проект имеет свою структуру, и управление проектом включает определение его целей, формирование структуры, планирование и организацию работ, координацию действий исполнителей. После выполнения проекта структура проекта распадается, ее компоненты, включая сотрудников, переходят в новый проект или увольняются (если они работали на контрактной основе). По форме структура управления по проектам может соответствовать как бригадной (кросс-функциональной) структуре, так и дивизионной структуре, в которой определенный дивизион (отделение) существует не постоянно, а на срок выполнения проекта.

Преимущества структуры управления по проектам:

- высокая гибкость;

- сокращение численности управленческого персонала по сравнению с иерархическими структурами.

Недостатки структуры управления по проектам:

- очень высокие требования квалификации, личным и деловым качествам руководителя проекта, который должен не только управлять всеми стадиями жизненного цикла проекта, но и учитывать место проекта в сети проектов компании;
- дробление ресурсов между проектами;
- сложность взаимодействия большого числа проектов в компании;
- усложнение процесса развития организации как единого целого.

Вывод: преимущества перевешивают недостатки на предприятиях с небольшим числом одновременно выполняемых проектов. Возможности воплощения принципов современной философии качества определяются формой управления проектами.

### **Матричная (программно - целевая) структура управления**

Такая структура представляет собой сетевую структуру, построенную на принципе двойного подчинения исполнителей: с одной стороны - непосредственному руководителю функциональной службы, которая предоставляет персонал и техническую помощь руководителю проекта, с другой - руководителю проекта или целевой программы, который наделен необходимыми полномочиями для осуществления процесса управления. При такой организации руководитель проекта взаимодействует с 2-мя группами подчиненных: с постоянными членами проектной группы и с другими работниками функциональных отделов, которые подчиняются ему временно и по ограниченному кругу вопросов. При этом сохраняется их подчинение непосредственным руководителям подразделений, отделов, служб. Для деятельности, которая имеет четко выраженное начало и окончание, формируют проекты, для постоянной деятельности - целевые программы. В организации и проекты, и целевые программы могут сосуществовать. Пример матричной программно - целевой структуры управления (фирма "Тойота")

приведен на рисунке 6. Эта структура была предложена Каори Ишикава в 70-х годах и с небольшими изменениями функционирует по сей день не только на фирме "Тойота", но и на многих других фирмах по всему миру.

Управление по целевым программам осуществляется на "Тойоте" через функциональные комитеты. Например, при создании функционального комитета в области обеспечения качества председателем комитета назначается уполномоченный руководства по качеству. Из практики фирмы "Тойота", количество членов комитета не должно превышать пяти. В состав комитета входят как сотрудники отдела обеспечения качества, так и 1-2 сотрудника других отделов. Каждый комитет имеет секретариат и назначает секретаря для ведения дел. Основные вопросы рассматриваются комитетом на ежемесячных заседаниях. Комитет также может создавать группы, работающие над отдельными проектами. Комитет по качеству определяет права и обязанности всех отделов, связанных с вопросами качества и устанавливает систему их взаимоотношений. Ежемесячно комитет по качеству анализирует показатели обеспечения качества и разбирается в причинах рекламаций, если таковые имеются. В то же время комитет не несет ответственности за обеспечение качества. Эта задача решается непосредственно каждым отделом в рамках вертикальной структуры. Обязанностью комитета является соединение вертикальной и горизонтальной структуры для улучшения деятельности всей организации.



Рисунок 6 - Матричная структура управления на фирме "Тойота"

Преимущества матричной структуры:

- лучшая ориентация на проектные (или программные) цели и спрос;
- более эффективное текущее управление, возможность снижения расходов и повышения эффективности использования ресурсов;
- более гибкое и эффективное использование персонала организации, специальных знаний и компетентности сотрудников;
- относительная автономность проектных групп или программных комитетов способствует развитию у работников навыков принятия решений, управленческой культуры, профессиональных навыков;
- улучшение контроля за отдельными задачами проекта или целевой программы;
- любая работа организационно оформляется, назначается одно лицо - "хозяин" процесса, служащее центром сосредоточения всех вопросов, касающихся проекта или целевой программы;

- сокращается время реакции на нужды проекта или программы, т. к. созданы горизонтальные коммуникации и единый центр принятия решений.

Недостатки матричных структур:

- трудность установления четкой ответственности за работу по заданию подразделения и по заданию проекта или программы (следствие двойного подчинения);
- необходимость постоянного контроля за соотношением ресурсов, выделяемых подразделениям и программам или проектам;
- высокие требования к квалификации, личным и деловым качествам работников, работающих в группах, необходимость их обучения;
- частые конфликтные ситуации между руководителями подразделений и проектов или программ;
- возможность нарушения правил и стандартов, принятых в функциональных подразделениях, из-за оторванности сотрудников, участвующих в проекте или программе, от своих подразделений.

Вывод: внедрение матричной структуры дает хороший эффект в организациях с достаточно высоким уровнем корпоративной культуры и квалификации сотрудников, в противном случае возможна дезорганизация управления (на фирме "Тойота" внедрение матричной структуры заняло около 10 лет). Эффективность воплощения в жизнь идей современной философии качества в такой структуре доказана практикой фирмы "Тойота".

### **Многомерная организационная структура**

Любая организация представляет собой целеустремленную систему. В такой системе существует функциональное разделение труда между ее индивидами (или элементами) целеустремленность которых связана с выбором целей, или желательных исходов, и средств (линий поведения). Та или иная линия поведения предусматривает использование определенных ресурсов (входных величин) для производства товаров и предоставления услуг (выходные величины), которые для потребителя должны иметь большую

ценность, чем используемые ресурсы. Потребляемые ресурсы включают рабочую силу, материалы, энергию, производственные мощности и денежные средства. Это в равной мере относится к государственным и частным организациям.

**Традиционно организационная структура охватывает два вида взаимоотношений:**

Ответственность (кто за что отвечает) и подчинение (кто перед кем отчитывается). Организация с такой структурой может быть представлена в виде дерева, при этом обязанности изображаются прямоугольниками, относительное расположение которых показывает уровень полномочий, а линии, соединяющие эти прямоугольники, - распределение полномочий. Однако такое представление организационной структуры не содержит никакой информации относительно того, ценой каких затрат и с помощью средств организации удалось добиться тех или иных результатов. Вместе с тем более информативное описание организационной структуры, которое может явиться основой для более гибких способов структурирования организации, может быть получено на основе матриц типа затраты - выпуск или типа средства - цели. Проиллюстрируем это на примере типичной частной корпорации, производящей некоторую продукцию.

Сведения о выпускаемой продукции могут быть использованы для определения целей организации. Для этого, например, можно провести классификацию продукции по ее видам или качественным характеристикам. Элементами структуры, ответственные за обеспечение производства продукции или предоставления услуг потребителем вне данной организации, называют программами и обозначают  $P_1, P_2, \dots, P_r$ . Средства, используемые программами (или видами деятельности), обычно можно подразделить на операции и услуги.

Операция - это вид деятельности, непосредственно влияющие на характер выпускаемой продукции или на ее наличие. Типичными операциями ( $O_1, O_2, \dots$

., Om ) является закупка сырья, транспортировка, производство, распределение и сбыт продукции.

Услуги - это виды деятельности, необходимые для обеспечения программ или выполнения операции. Типичными услугами ( S1, S2,. . . , Sn ) являются работы, выполняемые такими подразделениями, как бухгалтерия, отдел обработки данных, отдел технического обслуживания, отдел урегулирования трудовых конфликтов, финансовый отдел, отдел кадров, юридические службы.

Виды деятельности, осуществляемые в рамках программы и в рамках действий по ее выполнению, могут быть представлены как на рисунках 7 и 8. Результаты каждого отдельного вида деятельности могут быть использованы непосредственно этим же видом деятельности, программами и другими видами деятельности, а также исполнительным органом и внешним потребителем.

Общие программы могут быть подразделены на частные, например, по типу потребителя (промышленный или индивидуальный), снабжаемого или обслуживаемого географического района, по видам продукции и т. д. Частные программы в свою очередь также могут быть подвергнуты дальнейшему разделению.

Программы / Виды деятельности	P1	P2	...	Pk
Операция Q1				
Операция Q2				
....				
Операция Qm				
Услуга S1				
Услуга S2				
....				

Услуга Sm				
-----------	--	--	--	--

Рисунок 7 - Схема взаимодействия видов деятельности и программ

Подразделения- потребители / подразделения- потребители	Операция Q1	Операция Q2	.	Операция Qm	Услуга S1	S2	.	Sn
Операция Q1								
Операция Q2								
Операция Qm								
Услуга S1								
Услуга S2								
....								
Услуга Sn								

Рисунок 8 - Схема взаимодействия видов деятельности

Аналогичным образом можно провести детализацию видов деятельности видов деятельности. Например, операции по изготовлению изделия могут включать производство деталей, узлов и сборку, причем каждая из этих операций может быть разбита на более мелкие операции.

Если число программ, а также основных и вспомогательных видов деятельности (операций и услуг) настолько велико, что руководитель не в состоянии эффективно осуществлять координацию, то может возникнуть необходимость в координаторах в рамках конкретных управленческих функций (рисунок 9). Для каждого направления деятельности может потребоваться более одного координатора или координационного подразделения. В тех

случаях, когда число координаторов оказывается слишком большим, не исключено использование вышестоящих координаторов или координационных подразделений (в данном контексте " координация " означает именно координацию, а не руководство). Для осуществления координации вполне достаточно группы, состоящей из начальников координирующих подразделений и руководителей.

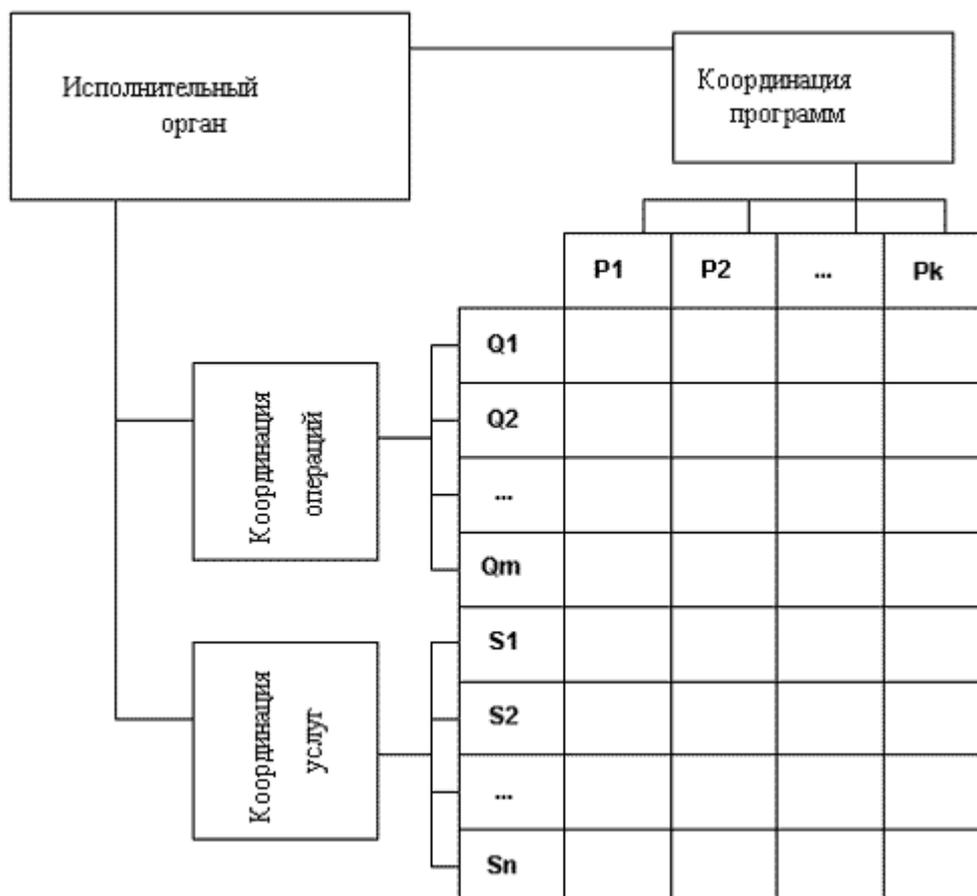


Рисунок 9 - Структура координации в крупных организациях

К программам как и к функциональным подразделениям предъявляются определенные требования. Программы и функциональные подразделения могут быть сгруппированы по видам продукции, типам потребителей, географическим районам и т. д. Если потребителей продукции программы оказывается слишком много и они сильно рассредоточены, то возможно нетрадиционное использование характеристик географического положения в качестве дополнительного измерения объемной схемы организационной структуры (рисунок 10). В этом случае возникает необходимость в

региональных представителей, обязанностью которых является защита интересов тех, кто потребляет продукцию или испытывает влияние деятельности организации в целом. Региональные представители играют роль внешних посредников, которые могут дать оценку программам и различным направлениям деятельности организации в каждом конкретном регионе с точки зрения тех, чьи интересы они представляют. В дальнейшем этой информацией могут воспользоваться руководящий орган, координаторы и руководители подразделений. Получая подобную информацию одновременно от всех региональных представителей, руководитель может составить полное представление об эффективности своей программы на всей обслуживаемой территории и в каждом регионе. Это позволяет ему более рационально распределить имеющиеся ресурсы по регионам.

Однако географическое положение не единственный критерий организации деятельности внешних посредников; могут быть использованы и другие критерии. Например, организации, снабжающая различные отрасли промышленности смазочными материалами, целесообразно иметь представителей не по регионам, а по отраслям (это могут быть автомобильная, авиационно-космическая, станкостроительная и другие отрасли промышленности). Организация коммунального обслуживания может определять обязанности своих представителей на основе характеристик социально-экономического положения пользователей.

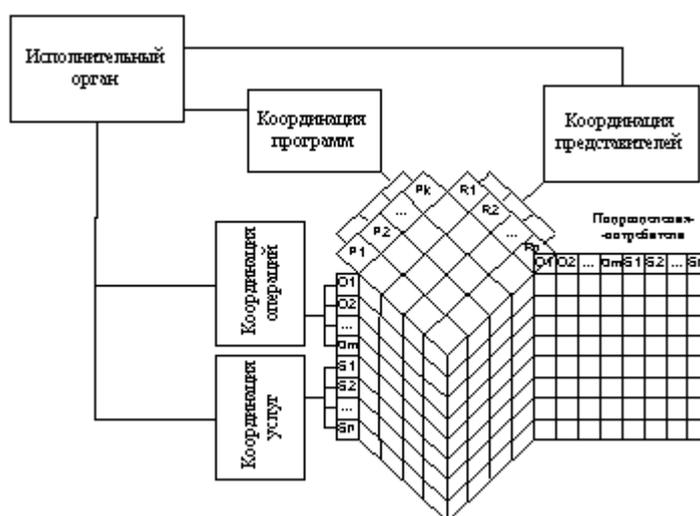


Рисунок 10 - Трехмерная организационная структура

Разделение ответственности. Рассмотренная " многомерная " организация имеет нечто общее с так называемыми " матричными организациями ". Однако последние обычно являются двумерными и не обладают многими важными чертами рассмотренных организационных структур, особенно в вопросах финансирования. Кроме того, всем им присущ один общий недостаток : сотрудники функциональных подразделений находятся в двойном подчинении, что, как правило, приводит к нежелательным результатам. Именно этот наиболее часто отмечаемый недостаток матричных организаций является причиной так называемой " профессиональной шизофрении ".

Многомерная организационная структура не порождает трудностей, свойственных матричной организации. В многомерной организации персонал функционального подразделения, результаты деятельности которого покупает руководитель программ, относится к нему как к внешнему клиенту и подотчетен только руководителю функционального подразделения. Однако, при оценке деятельности своих подчиненных руководитель функционального подразделения, естественно, должен использовать оценки качества их работы, данные руководителем программы. Положение лица, возглавлявшего группу функционального подразделения, которая выполняет работу в интересах программы, во многом напоминает положение руководителя проекта в строительной и консультативной фирме; у него нет неопределенности относительно того, кто является хозяином, но ему приходится иметь с ним дело, как с клиентом.

Многомерная организационная структура и финансирование программ. Обычно практикуемое (или традиционное) финансирование программ является лишь способом подготовки сметы расходов функционал подразделений и программ. Оно не связано с предоставлением ресурсов и обеспечением возможности выбора для подразделений, работающих по программам, или с требованием к функциональным подразделением к функциональным подразделениям самостоятельно завоевывать рынки сбыта внутри организации и за ее пределами. Короче говоря, финансирование программ, как правило, не

учитывает особенностей организационной структуры и не влияет на ее гибкость. Подобный способ распределения средств между функциональными подразделениями гарантирует только выполнение программ, обеспечивая при этом более эффективное, чем обычно, определение стоимости их реализации. Многомерная организационная структура позволяет сохранить все преимущества традиционного способа финансирования и, кроме того, обладает рядом других.

### **Преимущества многомерной организационной структуры**

Многомерная организационная структура позволяет повысить гибкость организации и ее способность реагировать на изменение внутренних и внешних условий. Это достигается путем разбиения организации на подразделения, жизнеспособность которых зависит от их умения производить по конкурентоспособным ценам товары, пользующиеся спросом, и предоставлять услуги, в которых нуждаются потребителя. Такая структура порождает рынок внутри организации независимо от того является ли она частной или государственной, коммерческой или некоммерческой (бесприбыльной), и повышает ее способность реагировать на потребности как внутренних, так и внешних потребителей. Поскольку структурные подразделения " многомерной " относительно независимы друг от друга, их можно расширять, сокращать, ликвидировать или изменять каким-либо способом. Показателем эффективности работы каждого подразделения не зависит от аналогичных показателей любого другого подразделения, что облегчает исполнителю органу оценку и контроль за деятельностью подразделений. Даже работа исполнительного органа может быть оценена автономно во всех аспектах его деятельности.

Многомерная структура препятствует развитию бюрократии благодаря тому, что функциональные подразделения или программы не могут стать жертвой обслуживающих подразделений, процедуры которых порой превращаются в самоцель и становятся препятствием к достижению целей, намеченных организацией. Потребители внутри и вне организации

контролируют внутренних поставщиков продукции и услуг; поставщики же никогда не контролируют потребителей. Такая организация ориентирована на цели, а не на средства, в то время как для бюрократии характерно подчинение целей средствам.

### **Недостатки многомерной организационной структуры**

Однако многомерная организационная структура хотя и лишена некоторых существенных недостатков, присущих организациям обычного типа, тем не менее не может устранить все недостатки полностью. Сама по себе такая структурная организация не гарантирует содержательной и интересной работы на нижних уровнях, но она облегчает применение новых идей, способствующих ее совершенствованию.

Введение на предприятии многомерной организационной структуры не является единственным способом повышения гибкости организации и ее чувствительности к изменениям условий, однако серьезное изучение такой позволяет "повысить гибкость" представлений людей о возможностях организаций. Именно это обстоятельство должно способствовать появлению новых, еще более совершенных организационных структур.

## ПРАКТИКА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

1. Основные понятия. Основные термины математического моделирования. Построение моделей. Виды моделей. Имитационные системы. Методология моделирования.[4]

2. Математическое описание систем дискретного управления. Решетчатые функции. Теорема Котельникова-Шеннона. Разностные уравнения. Дискретизация автономных систем. Дискретное z-преобразование. Преобразование непрерывного сигнала в цифровой код. Цифровое вычислительное устройство. Передаточные функции ЦВУ. Частотные характеристики ЦВУ.

3. Модели состояния линейной дискретной системы. Математические модели дискретных систем. Построение дискретного представления непрерывной системы. Операторная форма модели. Решение разностных уравнений. Установившийся режим. Элементарные звенья дискретных систем. Элементарные звенья 1-го порядка. Элементарные звенья 2-го порядка. Устойчивость дискретных систем. Качество дискретных систем управления.

Основные термины математического моделирования. Уточним определения основных терминов математических моделей:

- компоненты системы, которые могут быть вычленены из нее и рассмотрены отдельно;
- независимые переменные - это внешние величины, которые могут изменяться и не зависят от процессов в системе;
- зависимые переменные, значения этих переменных есть результат воздействия на систему независимых внешних переменных;
- управляемые переменные, значения которых могут изменяться пользователем;
- эндогенные переменные, их значения определяются в ходе деятельности внутренних компонент системы;

- экзогенные переменные определяются пользователем и действуют на систему извне.

Построение моделей. При построении любой модели процесса управления желательно придерживаться следующего плана действий:

- 1) Сформулировать цели изучения системы.
- 2) Установить наиболее существенные для данной задачи факторы, компоненты и переменные.
- 3) Учесть тем или иным способом посторонние, не включенные в модель факторы.
- 4) Осуществить оценку результатов, проверку модели, оценку полноты модели.

*Виды моделей.* Модели можно делить на следующие виды:

1) Функциональные модели - выражают прямые зависимости между эндогенными и экзогенными переменными.

2) Модели, выраженные с помощью систем уравнений относительно эндогенных величин.

3) Модели оптимизационного типа. Основная часть модели - система уравнений относительно эндогенных переменных. Цель - найти оптимальное решение для некоторого показателя.

4) Имитационные модели - весьма точное отображение процесса или явления. Математические уравнения при этом могут содержать сложные, нелинейные, стохастические зависимости.

С другой стороны, модели можно делить на управляемые и прогнозные. Управляемые модели отвечают на вопрос: “Что будет, если ...?”; “Как достичь желаемого?”, и содержат три группы переменных:

- 1) переменные, характеризующие текущее состояние объекта;
- 2) управляющие воздействия - переменные, влияющие на изменение этого состояния и поддающиеся целенаправленному выбору;
- 3) исходные данные и внешние воздействия, т.е. параметры, задаваемые извне, и начальные параметры.

В прогнозных моделях управление не выделено явно. Они отвечают на вопросы: “Что будет, если все останется по-старому?”

Модели можно делить по способу измерения времени на непрерывные и дискретные. В любом случае, если в модели присутствует время, то модель называется динамической. Чаще всего в моделях используется дискретное время, т.к. информация поступает дискретно. Но с формальной точки зрения непрерывная модель может оказаться более простой для изучения.

Имитационные системы занимают в моделировании особое место. В принципе, любая модель имитационная, ибо она имитирует реальность. Основа имитации - это математическая модель. Имитационная система - это совокупность моделей, имитирующих протекание изучаемого процесса, объединенная со специальной системой вспомогательных программ и информационной базой, позволяющих достаточно просто и оперативно реализовать варианты расчетов. Таким образом, под имитацией понимается численный метод проведения машинных экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложных систем в течение продолжительных периодов времени, при этом имитационный эксперимент состоит из следующих шести этапов [4]:

- 1) формулировка задачи,
- 2) построение математической модели,
- 3) составление программы для ЭВМ,
- 4) оценка пригодности модели,
- 5) планирование эксперимента,
- 6) обработка результатов эксперимента.

Математические методы управления можно разделить на несколько групп:

- методы оптимизации;
- методы, учитывающие неопределенность, вероятностно-статистические методы;
- методы построения и анализа имитационных моделей;

– методы анализа конфликтных ситуаций.

Методология моделирования. Моделирование процессов управления предполагает последовательное осуществление трех этапов исследования. Первый - от исходной практической проблемы до теоретической математической задачи. Второй – математическое изучение и решение этой задачи. Третий – переход от математических выводов обратно к практической проблеме.

Задача исследований, как правило, порождена потребностями той или иной прикладной области, при этом выполняется какая-либо математическая формализация реальной ситуации.

Выделение перечня задач находится вне математики, он является сутью технического задания, которое специалисты различных областей деятельности дают специалистам по математическому моделированию.

Методологический анализ открывает этап моделирования процессов управления. Он определяет исходные постановки для теоретической проработки. Анализ динамики развития методов моделирования позволяет выделить наиболее перспективные методы.

Метод исследований, используемый в рамках определенной математической модели - это уже во многом дело математиков. В эконометрических моделях речь идет, например, о методе оценивания, о методе проверки гипотезы, о методе доказательства той или иной теоремы, и т.д. В первых двух случаях алгоритмы разрабатываются и исследуются математиками, но используются прикладниками, в то время как метод доказательства касается лишь самих математиков.

Для решения той или иной задачи в рамках принятой исследователем модели может быть предложено много методов. В настоящее время для решения практически важных задач могут быть использованы современные информационные технологии на основе метода статистических испытаний и соответствующих датчиков псевдослучайных чисел. Они уже заметно потеснили асимптотические методы математической статистики.

Условия применимости - последний элемент. Он полностью математический. С точки зрения математика замена условия кусочной дифференцируемости некоторой функции на условие ее непрерывности может представляться существенным научным достижением, в то время как прикладник оценить это достижение не сможет. Для него непрерывные функции мало отличаются от кусочно-дифференцируемых.

Анализ дискретных устройств на функционально-логическом уровне требуется прежде всего при проектировании устройств вычислительной техники и цифровой автоматики. Здесь дополнительно к допущениям, принимаемым при анализе аналоговых устройств, используют дискретизацию сигналов, причем базовым является двузначное представление сигналов. Удобно этими двумя возможными значениями сигналов считать "истину" (иначе 1) и "ложь" (иначе 0), а сами сигналы рассматривать как булевы величины. Тогда для моделирования можно использовать аппарат математической логики. Находят применение также трех- и более значные модели. Смысл значений сигналов в многозначном моделировании и причины его применения будут пояснены ниже на некоторых примерах.

Элементами цифровых устройств на функционально-логическом уровне служат элементы, выполняющие логические функции и возможно функции хранения информации.

Цифровые устройства с памятью рассматриваются как конечные автоматы. Конечный автомат характеризуется векторами входных сигналов  $\mathbf{X}$ , выходных сигналов  $\mathbf{Y}$ , внутренних состояний  $\mathbf{Z}$ , функциями переходов  $\Phi$  и выходов  $\Psi$ , причем (время  $t$  измеряется в тактах):

$$\mathbf{Z}(t+1) = \Phi(\mathbf{X}(t), \mathbf{Z}(t)),$$

$$\mathbf{Y}(t) = \Psi(\mathbf{Z}(t)) \text{ — в случае автомата Мура,}$$

$$\mathbf{Y}(t) = \Psi(\mathbf{X}(t), \mathbf{Z}(t)) \text{ — в случае автомата Мили.}$$

Простейшими логическими элементами являются дизъюнктор, конъюнктор, инвертор, реализующие соответственно операции дизъюнкции

(ИЛИ)  $y = a \vee b$ , конъюнкции (И)  $y = a \wedge b$ , отрицания (НЕ)  $y = \neg a$ , где  $y$  — выходной сигнал,  $a$  и  $b$  — входные сигналы. Число входов может быть и более двух. Условные схемные обозначения простых логических элементов показаны на рисунке 5.4.

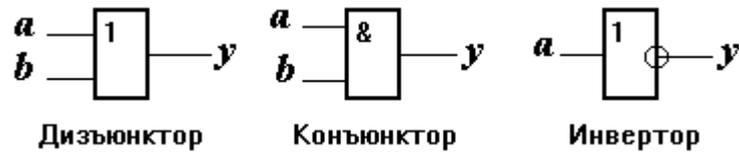


Рисунок 5.4 - Условные обозначения простых логических элементов

Математические модели устройств представляют собой систему математических моделей элементов, входящих в устройство, при отождествлении сигналов, относящихся к одному и тому же соединению элементов.

Различают синхронные и асинхронные модели.

Синхронная модель представляет собой систему логических уравнений, в ней отсутствует такая переменная как время, синхронные модели используют для анализа установившихся состояний.

Примером синхронной модели может служить следующая система уравнений, полученная для логической схемы триггера (рисунок 5.5):

$$B = \neg(R \wedge C), Q = \neg(B \wedge P), P = \neg(A \wedge Q), A = \neg(S \wedge C).$$

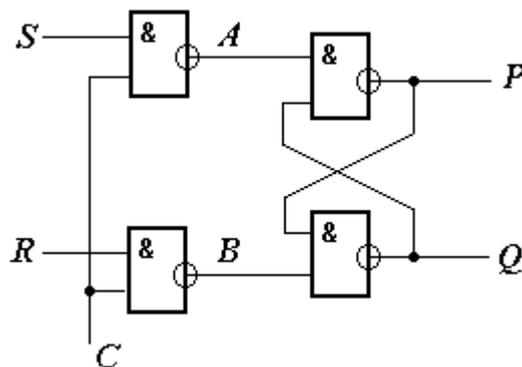


Рисунок 5.5 - Логическая схема триггера

Асинхронные модели отражают не только логические функции, но и временные задержки в распространении сигналов. Асинхронная модель логического элемента имеет вид

$$y(t + t_{зд}) = f(X(t)), \quad (5.1)$$

где  $t_{зд}$  — задержка сигнала в элементе;  $f$  — логическая функция. Запись (5.1) означает, что выходной сигнал  $y$  принимает значение логической функции, соответствующее значениям аргументов  $X(t)$ , в момент времени  $t + t_{зд}$ . Следовательно, асинхронные модели можно использовать для анализа динамических процессов в логических схемах.

Термины синхронная и асинхронная модели можно объяснить ориентированностью этих моделей на синхронные и асинхронные схемы соответственно. В синхронных схемах передача сигналов между цифровыми блоками происходит только при подаче на специальные синхровходы тактовых (синхронизирующих) импульсов. Частота тактовых импульсов выбирается такой, чтобы к моменту прихода синхроимпульса переходные процессы от предыдущих передач сигналов фактически закончились. Следовательно, в синхронных схемах расчет задержек не актуален, быстродействие устройства определяется заданием тактовой частоты.

Синхронные модели можно использовать не только для выявления принципиальных ошибок в схемной реализации заданных функций. С их помощью можно обнаруживать места в схемах, опасные, с точки зрения, возникновения в них искажающих помех. Ситуации, связанные с потенциальной опасностью возникновения помех и сбоев, называют рисками сбоя.

Различают статический и динамический риски сбоя. Статический риск сбоя иллюстрирует ситуация на рисунке 5.6, если на два входа элемента И могут приходиться перепады сигналов в противоположных направлениях, как это показано на рисунке 5.6(а). Если вместо идеального случая, когда оба перепада приходят в момент времени  $T$ , перепады вследствие разброса задержек придут неодновременно, причем так, как показано на рисунке 5.6(б), то на выходе элемента появляется импульс помехи, который может исказить работу всего устройства. Для устранения таких рисков сбоя нужно уметь их выявлять. С

этой целью применяют трехзначное синхронное моделирование.

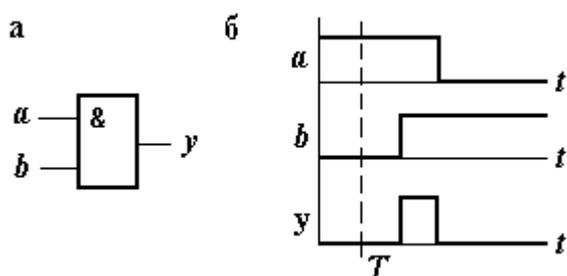


Рисунок 5.6 - Статический риск сбоя

При этом тремя возможными значениями сигналов являются 0, 1 и  $\otimes$ , причем значение  $\otimes$  интерпретируется как неопределенность. Правила выполнения логических операций И, ИЛИ, НЕ в трехзначном алфавите очевидны из рассмотрения таблицы 5.1. В ней вторая строка отведена для значений одного аргумента, а первый столбец — для значений второго аргумента, значения функций представлены ниже второй строки и правее первого столбца.

Таблица 5.1

Операция	И	ИЛИ	НЕ
Аргумент	0 ... $\otimes$ ... 1	0 ... $\otimes$ ... 1	0 ... $\otimes$ ... 1
0	0 ... 0 ... 0	0 ... $\otimes$ ... 1	1 ... $\otimes$ ... 0
$\otimes$	0 ... $\otimes$ ... $\otimes$	$\otimes$ ... $\otimes$ ... 1	-
1	0 ... $\otimes$ ... 1	1 ... 1 ... 1	-

При анализе рисков сбоя на каждом такте вместо однократного решения уравнений модели производят двукратное решение, поэтому можно говорить об исходных, промежуточных (после первого решения) и итоговых (после второго решения) значениях переменных. Для входных сигналов допустимы только такие последовательности исходных, промежуточных и итоговых значений: 0-0-0, 1-1-1, 0- $\otimes$ -1, 1- $\otimes$ -0. Для других переменных

появление последовательности  $0 - \otimes - 0$  или  $1 - \otimes - 1$  означает неопределенность во время переходного процесса, т.е. возможность статического риска сбоя.

Для простейшей схемы (рисунок 5.6(a)) результаты трехзначного моделирования представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Значение	$a$	$b$	$y$
Исходное	1	0	0
Промежуточное	$\otimes$	$\otimes$	$\otimes$
Итоговое	0	1	0

Динамический риск сбоя иллюстрируют схема и временные диаграммы на рисунке 5.7. Сбой выражается в появлении вместо одного перепада на выходе, что имеет место при правильном функционировании, нескольких перепадов. Обнаружение динамических рисков сбоя также выполняют с помощью двукратного решения уравнений модели, но при использовании пятизначного алфавита с множеством значений  $\{0, 1, \otimes, \alpha, \beta\}$ , где  $\alpha$  интерпретируется как положительный перепад,  $\beta$  — как отрицательный перепад, остальные символы имеют прежний смысл.

В отсутствие сбоев последовательности значений переменных в исходном, промежуточном и итоговом состояниях могут быть такими:  $0 - 0 - 0$ ,  $1 - 1 - 1$ ,  $0 - \alpha - 1$ ,  $1 - \beta - 0$ . Последовательности  $0 - \otimes - 1$  или  $1 - \otimes - 0$  указывают на динамический риск сбоя.

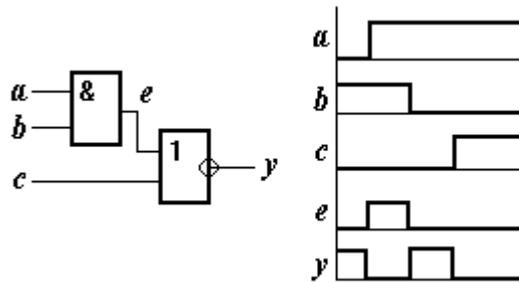


Рисунок 5.7 - Динамический риск сбоя

Трехзначный алфавит можно использовать и в асинхронных моделях. Пусть в модели  $y(t+t_{зд}) = f(X(t))$  в момент времени  $t_1$  входы  $X(t_1)$  таковы, что в момент времени  $t_1 + t_{зд}$  происходит переключение выходного сигнала  $y$ . Но если учитывать разброс задержек, то  $t_{зд}$  принимает некоторое случайное значение в диапазоне  $[t_{зд\min}, t_{зд\max}]$  и, следовательно, в модели в интервале времени от  $t_1 + t_{зд\min}$  до  $t_1 + t_{зд\max}$  сигнал  $y$  должен иметь неопределенное значение  $\otimes$ . Именно это и достигается с помощью трехзначного асинхронного моделирования.

# ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СМО

## 3 Модели массового обслуживания

### 3.1 Системы массового обслуживания и их характеристики

С системами массового обслуживания (СМО) мы встречаемся повседневно. Любому из нас приходилось когда-то ждать обслуживания в очереди (например, в магазине, на автозаправке, в библиотеке, кафе и т.д.). Аналогичные ситуации возникают при потребности воспользоваться телефонной связью или выполнить свою программу на компьютере. Более того, любое производство можно представить как последовательность систем обслуживания. К типичным системам обслуживания относят также ремонтные и медицинские службы, транспортные системы, аэропорты, вокзалы и другие.

Особое значение приобрели такие системы при изучении процессов в информатике. Это, прежде всего, компьютерные системы, сети передачи информации, ОС, базы и банки данных. Системы обслуживания играют значительную роль в повседневной жизни. Опыт моделирования разных типов дискретных событийных систем свидетельствует о том, что приблизительно 80% этих моделей основаны на СМО.

Что же характеризует эти системы как СМО? Их можно описать, если задать:

- 1) входящий поток требований или заявок, которые поступают на обслуживание;
- 2) дисциплину постановки в очередь и выбор из нее;
- 3) правило, по которому осуществляется обслуживание;
- 4) выходящий поток требований;
- 5) режимы работы.

Входящий поток. Чтобы задать входящий поток требований, необходимо описать моменты времени их поступления в систему (закон поступления) и количество требований, которое поступило одновременно. Закон поступления может быть детерминированный (например, одно требование поступает каждые

5 мин) или вероятностный (требования могут появляться с равной вероятностью в интервале  $5 \pm 2$  мин). В общем случае входящий поток требований описывается распределением вероятностей интервалов времени между соседними требованиями. Часто предполагают, что эти интервалы времени независимые и имеют одинаковое распределение случайных величин, которые образуют стационарный входящий поток требований. Классическая теория массового обслуживания рассматривает так называемый пуассоновский (простейший) поток требований. Для этого потока число требований  $k$  для любого интервала времени распределено по закону Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, k \geq 0, t \geq 0, \quad (3.1)$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока требований (число требований за единицу времени).

На практике обоснованием того, что входящий поток требований имеет распределение Пуассона, является то, что требования поступают от большого числа независимых источников за определенный интервал времени. Примерами могут быть вызовы абонентов в телефонной сети, запросы к распределенной базе данных от абонентов сети за некоторое время и другие. Для того чтобы при моделировании задать пуассоновский поток требований в систему, достаточно задать экспоненциальное распределение интервалов времени поступления для соседних требований, графики функций плотности и распределения которых для  $\lambda = 1$  показаны на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 - Графики функций плотности и распределения

Дисциплины постановки в очередь и выбора из нее определяют порядок постановки требований в очередь, если заняты устройства обслуживания, и порядок выбора из очереди, если освобождается обслуживающее устройство. Простейшая дисциплина допускает постановку в очередь в порядке поступления требований. Такую дисциплину называют «раньше поступил - раньше обслужился» (в англоязычной литературе FIFO First In – First Out), например, очередь к телефону-автомату.

Организация очереди по правилу «последний поступил – первый обслужился» (в англоязычной литературе LIFO Last In – First Out) допускает, что на обслуживание выбираются последние требования из очереди. Это правило также называется «стеком» или «магазином».

Правило выбора из очереди может быть случайным (RANDOM). Возможна также организация выбора из очереди по параметрам (например, мужчины в очереди пропускают женщин вперед).

На очередь могут накладываться ограничения по длине очереди или по времени пребывания в ней. Например, если в очереди находится более трех требований, то новое требование, которое поступило, покидает систему; или, если время пребывания в очереди более двух минут, то требование покидает систему.

Очередь может быть с ограниченным количеством мест ожидания в ней – это так называемый буфер (например бункер, в который поступают заготовки раньше, чем они будут обработаны станком). Для ускорения работы компьютеров используются буферы при обмене информацией между быстрыми и медленными устройствами (буферы ввода-вывода). Информация заранее размещается в буфере, а потом считывается из него. В сетях ЭВМ буферы используются для организации очередей сообщений или пакетов, если линия связи занята.

Правила обслуживания характеризуются длительностью обслуживания (распределением времени обслуживания), количеством требований, которые обслуживаются одновременно, и дисциплиной обслуживания. Время

обслуживания бывает детерминированным, или заданным вероятностным законом распределения.

Обслуживание может организовываться с помощью одного устройства (это так называемые системы с одним устройством (каналом) обслуживания) или системы с несколькими идентичными устройствами обслуживания. Например, если установлено несколько кабин с телефонами-автоматами. Системы с идентичными устройствами обслуживания называются многоканальными системами. Устройства обслуживания могут быть объединены в последовательную цепочку. Это многофазные системы, в которых требования последовательно проходят несколько фаз обслуживания, перед тем как покинуть систему. В качестве примера многофазной системы обслуживания можно рассмотреть сборочный конвейер.

Дисциплины обслуживания определяют:

- при каких условиях прекращается обслуживание требований;
- как выбирается для обслуживания следующее требование;
- что делать с частично обслуженным требованием.

Различают следующие дисциплины обслуживания: беспriorитетные и приоритетные. При беспriorитетной порядок обслуживания определяется дисциплиной выбора из очереди, например, FIFO. В компьютерных системах часто используются циклические дисциплины обслуживания, то есть когда требование (программа) многократно использует устройство (процессор) перед тем, как его оставил. После каждого этапа обслуживания требование снова поступает в очередь к устройству.

При приоритетном обслуживании требованию задается некоторый параметр, который определяет его приоритет. Этот параметр может задаваться в числовом виде (статический приоритет) или в виде функции, которая зависит от времени пребывания в системе (динамический приоритет).

Дисциплины обслуживания могут быть с относительными или абсолютными приоритетами. Относительный приоритет предусматривает, что поступление требования с более высоким приоритетом не прерывает

обслуживание менее приоритетного требования (обслуживание без прерывания). Из требований с одинаковыми приоритетами могут организовываться очереди.

При использовании абсолютного приоритета появление требования с более высоким приоритетом прерывает обслуживание менее приоритетного требования (обслуживание с прерыванием). В таких системах могут происходить вложенные прерывания, если требование, которое вытеснило из обслуживания менее приоритетное требование, само будет прервано более приоритетным требованием и т.д. Поэтому иногда в этих системах ограничивают глубину прерывания. Прерванные требования могут или оставлять систему обслуживания, или снова становиться в очередь для дообслуживания.

Понятно, что дисциплины с абсолютными приоритетами могут использоваться только для систем с одним устройством обслуживания.

Выходящий поток - это поток требований, которые покидают систему, будучи обслуженными и не обслуженными. Структура выходящего потока может иметь большее значение для многофазных систем, где этот поток становится входящим для следующей фазы обслуживания. Распределение требований в выходящем потоке во времени зависит от плотности входящего потока и характеристик работы устройств обслуживания. Из теории массового обслуживания известно, что выходящий поток из СМО с  $t$  устройствами, с ожиданием при простейшем входящем потоке с параметром  $\lambda$ , экспоненциальным распределением времени обслуживания с параметром  $\mu$  есть простейший поток с параметром  $\lambda = \min\{\lambda, t\mu\}$ . Такое замечание дает возможность построить теорию сложных СМО, где выходящий поток из одних систем обслуживания является входящим в другие. Это так называемые многофазные системы и сети СМО. Во всех других случаях распределение выходящих потоков из СМО имеет более сложную вероятностную природу и может изучаться только путем наблюдений за функционированием этих СМО с помощью моделирования.

По практическим соображениям часто приходится изучать режимы работы СМО. Например, устройства обслуживания время от времени могут выходить из строя (режим отказа), в особенности, если с помощью этих систем описывается некоторый производственный или информационный процесс. Есть еще один режим – блокирование обслуживания, – который связан с временным прерыванием процесса обслуживания или с замедлением его. Изменение режима работы СМО может быть вызвано внешним влиянием (например временным отсутствием деталей в технологическом процессе, ремонтом оборудования и т.п.) или продолжительностью работы (например выходом из строя элемента в компьютере).

Для СМО любого вида справедлив закон Литтла: для любого распределения времени между двумя событиями поступления требований, любого распределения времени их обслуживания, любого количества устройств обслуживания и любой дисциплины обслуживания среднее количество требований  $\bar{N}$  в СМО определяется через интенсивность поступления  $\lambda$  и среднее время пребывания требований в системе  $T$ , то есть

$$\bar{N} = \lambda T \quad (3.2)$$

Интуитивное доказательство формулы Литтла основано на том, что требование, которое входит в систему, застанет в ней среднее количество требований  $\bar{N}$  (такое же как и в момент, когда оно покидает систему). Это свидетельствует о том, что СМО находится в состоянии равновесия или стационарном состоянии, другими словами, требования не остаются в системе бесконечно долго и всегда покидают систему. Таким образом, на вид СМО не накладываются никакие ограничения. Можно, например, представить, что СМО состоит только из одной очереди или только из одного устройства обслуживания.

### **3.2 Системы с одним устройством обслуживания**

Рассмотрим одноканальную (с одним устройством обслуживания) СМО, показанную на рисунке 3.2.

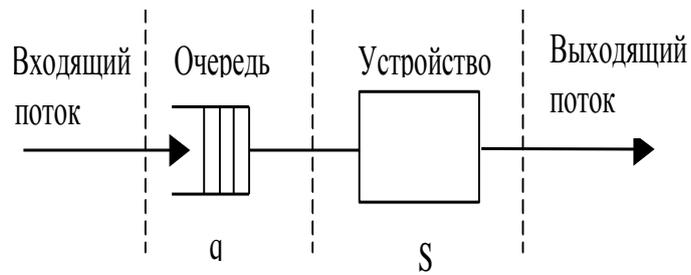


Рисунок 3.2 - Одноканальная СМО

Если обозначить среднее время пребывания требований в очереди  $w$  и рассматривать СМО как очередь  $q$ , то, используя формулу Литтла, можно найти среднее количество требований в очереди:

$$\bar{N}_q = \lambda w \quad (3.3)$$

Если обозначить среднее время обслуживания в устройстве  $x$  и рассматривать СМО как устройство  $S$ , то, используя формулу Литтла, можно найти среднее количество требований в устройстве:

$$\bar{N}_s = \lambda \bar{x} \quad (3.4)$$

Всегда имеет место уравнение  $T = w + X$ , где  $T$  – среднее время пребывания требований в СМО с одним устройством обслуживания.

Коэффициент загрузки  $\rho$  определяет, какую часть времени устройство было занято на протяжении всего времени наблюдения за СМО.

Для обозначения СМО используются три переменные для первых трех параметров:  $X/Y/Z$ , где  $X$  - распределение времени поступления;  $Y$  - распределение времени обслуживания;  $Z$  - число обслуживающих устройств.

В теории СМО некоторые аналитические решения были получены для систем вида  $D/D/1$ ,  $M/M/1$  и  $M/G/1$ . Для других значений параметров систем обслуживания аналитические решения не были получены, значит, эта проблема мотивирует использование моделирования.

Самая известная модель - это так называемая СМО типа  $M/M/1$ , где  $M$  - марковские процессы распределения времени поступления и обслуживания с одним устройством. Например, в системе  $M/M/1$  время между двумя поступлениями в систему требований и время обслуживания имеют

экспоненциальные распределения. Такая СМО иногда используется как модель для одного процессора компьютерной системы или как стандартное устройство ввода-вывода (например магнитный диск). Система D/D/1 - детерминированная система, тогда как D/M/1 - смешанная. Если о системе мало известно, это обозначается как G/G/m (система с произвольными распределениями и устройствами).

Изучая любую систему, важно оценить характер ее рабочей нагрузки (например, при моделировании компьютерной системы важно знать, когда новые программы (задачи) поступают в систему; сколько времени нужно процессору для выполнения любой из них; как часто программа обращается к устройству ввода-вывода). Этот процесс можно отобразить графиком работы системы (графический метод моделирования), на котором показаны входы задач в систему, ресурсы, к которым они обращаются, как долго задачи их используют и т.д.

Если описанный сценарий зафиксирован соответствующим графиком и часто возникает в моделируемой системе, то тогда он целиком отвечает выборке, которая получена методом измерений при наблюдении за работой компьютера. Тем не менее, моделирование при использовании такого описания рабочей нагрузки только воссоздает результаты работы этого специфического сценария. Этого недостаточно для выполнения системой других сценариев. Даже незначительное несоответствие заданному сценарию может привести к нежелательным последствиям работы компьютера.

Часто рабочая нагрузка на систему определяется одним или несколькими распределениями вероятностей в отличие от заданных сценариев. Например, можно бросать монету каждые 15 мин на протяжении операции исследования системы, и если монета падает лицевой стороной, то новая задача поступает в систему в этот момент времени. Если монета падает обратной стороной, то никакая задача не поступает в систему. Это пример метода розыгрыша случайной величины (метод Монте-Карло), который используется для моделирования вероятностных систем.

В компьютерном моделировании «бросание монеты» можно генерировать методом случайных чисел. Если выявлены статистические закономерности и используются соответствующие распределения вероятностей для определения рабочей нагрузки на систему, а также применяются соответствующие статистические методы анализа результатов моделирования, то полученные результаты относятся к более широкому диапазону рабочих нагрузок, чем подход с использованием определенного сценария.

Введем коэффициент вариации  $C$  как отношение стандартного отклонения к среднему:

$$C = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}, \quad (3.5)$$

где  $\sigma_{\bar{x}}$  – среднеквадратичное отклонение для  $\bar{x}$ .

Для экспоненциального закона распределения  $C = 1$ , поскольку  $\bar{x}$  и  $\sigma_{\bar{x}}$  для этого закона равняются  $\lambda$ . Для регулярного детерминированного закона распределения  $C = 0$  ( $\sigma_{\bar{x}} = 0$ ).

Для системы G/G/1 среднее количество требований определяется как

$$\bar{N} = \rho + \frac{\rho^2(1+C^2)}{2(1-\rho)}. \quad (3.6)$$

Используя результат Хинчина-Полячека, можно получить среднее время пребывания в одноканальной СМО по формуле

$$T = \bar{x} \left[ 1 + \frac{\rho(1+C^2)}{2(1-\rho)} \right]. \quad (3.7)$$

Основной результат (3.7) состоит в том, что среднее время пребывания требования в системе зависит только от математического ожидания и стандартного отклонения времени обслуживания. Таким образом, время ожидания определяется как

$$w = \frac{\bar{x}\rho(1+c^2)}{2(1-\rho)} \quad (3.8)$$

Обычно интересуются нормированным временем ожидания:

$$\frac{w}{\bar{x}} = \frac{\rho(1+c^2)}{2(1-\rho)}. \quad (3.9)$$

Для системы M/M/1

$$\frac{w}{\bar{x}} = \frac{\rho}{(1-\rho)}. \quad (3.10)$$

Для системы M/D/1

$$\frac{w}{\bar{x}} = \frac{\rho}{2(1-\rho)}. \quad (3.11)$$

Таким образом, система с регулярным обслуживанием характеризуется средним временем ожидания вдвое меньшим, чем система с показательным обслуживанием. Это закономерно, поскольку время пребывания в системе и количество требований в ней пропорциональны дисперсии времени обслуживания.

### 3.3 Основы дискретно-событийного моделирования СМО

Определим основные понятия и термины, используемые в моделировании.

Система - множество объектов (люди и машины), которые взаимодействуют одновременно для достижения одной или большего количества целей.

Модель - абстрактное представление системы, обычно содержит структурные, логические или математические отношения, которые описывают систему в терминах, обозначающих состояние, объекты и их свойства, множества, процессы, события, действия и задержки.

Состояние системы - множество переменных, которые содержат всю информацию, необходимую для описания свойств системы в любое время.

Объект - любой элемент или компонент в системе, который должен быть представлен в модели в явном виде (например обслуживающее устройство, клиент, машина).

Свойство или атрибут - свойства данного объекта (например приоритет ожидающего клиента, маршрут процесса выполнения работ в цеху).

Список - множество (постоянное или временное) связанных объектов, упорядоченное некоторым логическим способом (например, все клиенты,

находящиеся в настоящее время в очереди ожидания, упорядочены по принципу «раньше прибыл, раньше обслужился» или по приоритету).

Событие - мгновенно возникающее изменение состояния системы (например, прибытие нового требования).

Уведомление о событии - запись события, которое произойдет в потоке событий или в некотором будущем времени наряду с любыми связанными данными, необходимыми для обработки события (запись всегда включает тип события и время события).

Список событий (известный также как список будущих событий (СФС) – список намеченных будущих событий, упорядоченных по времени возникновения).

Действие - продолжительность времени указанного промежутка (например время обслуживания или время между поступлениями заявок), для которого известно, когда оно начинается и заканчивается (хотя оно может быть определено в терминах статистического распределения).

Задержка - продолжительность времени неопределенного промежутка, для которого неизвестно заранее, когда он заканчивается (например задержка клиента в очереди по правилу «последний пришел - первый обслужился», так как начало обслуживания зависит от будущих поступлений).

Модельное время - неотрицательная возрастающая величина, отражающая течение времени в имитационной модели.

Часы - переменная, отражающая протекание времени моделирования, называется в примерах ЧАСЫ (CLOCK).

Дискретно-событийное моделирование - моделирование системы в дискретные моменты времени, когда происходят события, отражающие последовательность изменения состояний системы во времени. В дальнейшем такое моделирование будем называть имитационным. Рассматриваемые здесь системы динамические, то есть изменяемые во времени. Поэтому состояние системы, свойства объекта и число активных объектов, параметров, действий и задержек - это функции времени, которые постоянно изменяются в процессе

моделирования

Для СМО с одним устройством обслуживания событиями являются поступление требования и конец его обслуживания устройством. Начало обслуживания - это условное событие, которое зависит от состояния прибора (занят или свободен) и числа требований, находящихся в очереди. Задержку иногда называют условным ожиданием, в то время как действие называют безусловным ожиданием. Действия – это время между поступлениями требований и время обслуживания прибором. Завершение действия – событие, часто называемое первичным событием, для управления которым в СБС помещается уведомление о событии. Напротив, управление задержками связано с помещением объекта в другой список, возможно представляющий очередь ожидания до того времени, когда системные условия разрешат обработку требования. Окончание задержки иногда называют условным или вторичным событием, но такие события не представлены в соответствующих уведомлениях о событиях и не появляются в СБС.

### 3.4 Многоканальные системы массового обслуживания

Многоканальная СМО (с несколькими одинаковыми устройствами обслуживания) изображена на рисунке 3.3. В отличие от одноканальных СМО многоканальные системы рассчитать сложнее. Теория массового обслуживания позволяет получать аналитические зависимости для расчетов характеристик работы многоканальных СМО в стационарном режиме работы, однако эти зависимости можно получить только для системы М/М/м.

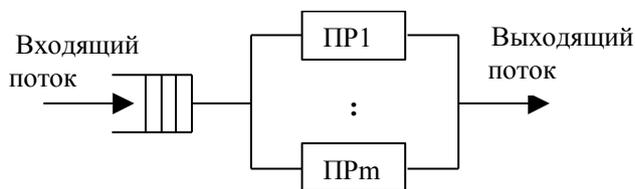


Рисунок 3.3 - Многоканальная СМО

Если система имеет  $m$  одинаковых устройств, то

$$\rho = \frac{\lambda \bar{x}}{m} \quad (3.12)$$

Для многоканальных СМО  $P$  можно трактовать, как математическое ожидание части занятых устройств.

Рассмотрим диаграмму работы многоканальной СМО (рисунок 3.4) с двумя устройствами (ПР1 и ПР2) и двумя позициями для ожидания в очереди (Поз.1 и Поз.2). Время поступления и время, когда требование покинуло систему, показаны рядом с номером требования в нижней и верхней частях рисунок 3.4, соответственно. Время наблюдения за СМО ( $T_n$ ) составляет 55 мин.

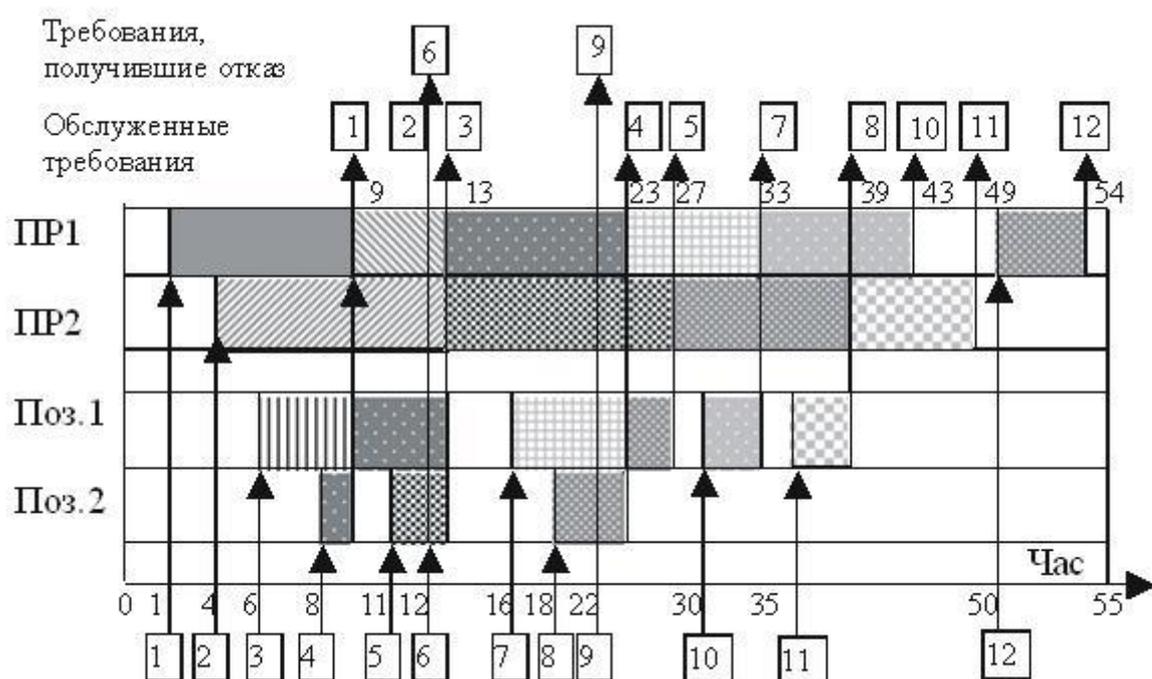


Рисунок 3.4 - Диаграмма работы многоканальной СМО

Рассчитаем по диаграмме некоторые оценки характеристик работы СМО:

1. Вероятность обслуживания требования:

$$P_{об} = \frac{N_{об}}{N} = \frac{10}{12} = 0,83$$

где  $N_{об}$ ,  $N$  - количество обслуженных требований и общее количество требований, соответственно.

2. Пропускная способность СМО в требованиях в минуту:

$$X = \frac{N_{об}}{T_n} = \frac{10}{55} = 0,18$$

где  $T_n$  – время наблюдения за системой.

3. Вероятность отказа в обслуживании:

$$P_{\text{отк}} = \frac{N_{\text{отк}}}{N} = \frac{2}{12} = 0,166,$$

где  $N_{\text{отк}}$  - количество требований, которым отказано в обслуживании.

4. Вероятность того, что требование застанет оба устройства свободными:

$$P_0 = \frac{T_{\text{св}}}{T_n} = \frac{3}{55} = 0,05,$$

где  $T_{\text{св}}$  - время, на протяжении которого оба устройства были свободными.

5. Вероятность того, что обслуживанием занято только одно устройство из двух:

$$P_1 = \frac{T_3^1 + T_3^2}{T_n} = \frac{7+6}{55} = 0,236,$$

где  $T_3^1, T_3^2$  – время, когда было занято только первое или только второе устройство соответственно.

6. Вероятность того, что обслуживанием заняты оба устройства:

$$P_2 = \frac{T_3^{1+2}}{T_n} = \frac{39}{55} = 0,709,$$

где  $T_3^{1+2}$  – время, когда были заняты оба устройства.

7. Среднее количество занятых устройств:

$$N_{\text{np}} = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 = 1 \cdot \frac{13}{55} + 2 \cdot \frac{39}{55} = 1,654.$$

8. Вероятность того, что в очереди нет требований:

$$P_{\text{оч}}^0 = \frac{T_{\text{оч}}^0}{T_n} = \frac{(6-0) + (16-13) + (30-27) + (35-33) + (55-39)}{55} = \frac{30}{55} = 0,545,$$

где  $T_{\text{оч}}^0$  – время, на протяжении которого в очереди не было требований.

9. Вероятность того, что в очереди есть только одно требование:

$$P_{\text{оч}}^1 = \frac{T_{\text{оч}}^1}{T_n} = \frac{(8-6) + (11-9) + (18-16) + (27-23) + (33-30) + (39-35)}{55} = \frac{17}{55} = 0,309,$$

где  $T_{оч}^1$  - время, когда в очереди было только одно требование.

10. Вероятность того, что в очереди два требования:

$$P_{оч}^2 = \frac{T_{оч}^2}{T_n} = \frac{(9-8) + (13-11) + (23-18)}{55} = \frac{8}{55} = 0,145$$

где  $T_{оч}^2$  - время, на протяжении которого в очереди было два требования.

11. Среднее количество требований в очереди:

$$N_{оч} = 0 \cdot P_{оч}^0 + 1 \cdot P_{оч}^1 + 2 \cdot P_{оч}^2 = 1 \cdot \frac{17}{55} + 2 \cdot \frac{8}{55} = 0,6.$$

12. Среднее время пребывания в очереди:

$$t_{оч} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i^{оч}}{N_{об}} = \frac{0+0+3+5+2+7+9+3+11+0}{10} = \frac{40}{10} = 4.$$

где  $t_i^{оч}$  - время пребывания  $i$ -го требования в очереди ( $i = 1, 2, \dots$ ).

13. Среднее время пребывания в очереди без учета требований, которые не ждали:

$$t_{оч} = \frac{\sum_{i=1}^7 t_i^{оч}}{N_{об}(-0)} = \frac{3+5+2+7+9+3+11}{7} = \frac{40}{7} = 5,714,$$

где  $N_{об}(-0)$  - количество требований, которые не ждали в очереди.

14. Среднее время обслуживания требования в устройствах:

$$t_{об} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i^{об}}{N_{об}} = \frac{92}{10} = 9,2$$

где  $t_i^{об}$  время обслуживания  $i$ -го требования в СМО ( $i = 1, 2, \dots$ ).

15. Общее среднее время пребывания требования в СМО:

$$T = t_{об} + t_{оч} = 4 + 9,2 = 13,2.$$

16. Среднее количество требований в системе обслуживания:

$$\bar{N} = N_{пр} + N_{оч} = 1,654 + 0,6 = 2,254.$$

На рисунке 3.5 изображена гистограмма для времени поступления требований в СМО и аппроксимация ее экспоненциальным законом распределения. Из гистограммы видно, что количество требований, которое

поступило в систему, недостаточно для статистической оценки. Поэтому гипотезу про экспоненциальный закон распределения поступления требований в СМО необходимо отклонить.

Рассчитанные числовые значения характеристик имеют иллюстративный характер и позволяют определиться, каким образом необходимо собирать статистические данные о работе СМО при ее моделировании.

Переменная VAR1, экспоненциальное распределение  
 Значение критерия Колмогорова-Смирнова:  $d=0,1345275$

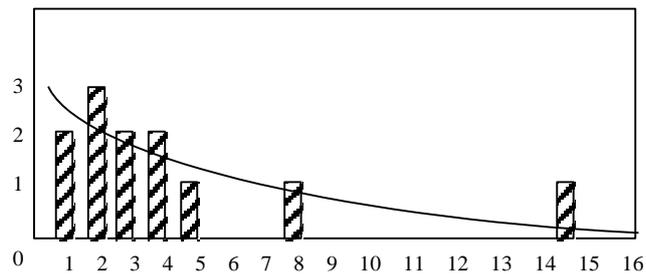


Рисунок 3.5 - Время поступления требований в СМО

Приведем основные формулы для расчетов СМО вида М/М/м.

1. Вероятность того, что все устройства обслуживания свободны:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda\bar{x})^k}{k!} + \frac{(\lambda\bar{x})^m}{(m-1)!(m-\lambda\bar{x})}}, \text{ при } \lambda\bar{x} < 1. \quad (3.13)$$

2. Вероятность того, что занято обслуживанием k-е устройство или в системе находится k требований:

$$P_k = \frac{(\lambda\bar{x})^k}{k!} P_0, \quad 1 \leq k < m. \quad (3.14)$$

3. Вероятность того, что все устройства заняты ( $k \geq m$ ). Обозначим эту вероятность через  $\pi$ :

$$\pi = \frac{(\lambda\bar{x})^m P_0}{(m-1)!(m-\lambda\bar{x})}, \quad \frac{\lambda\bar{x}}{m} < 1. \quad (3.15)$$

4. Вероятность того, что все устройства заняты обслуживанием и  $s$  требований находится в очереди:

$$P_{m+s} = \frac{(\lambda\bar{x})^{m+s}}{m!m^s} P_0, \quad s > 0 \quad (3.16)$$

5. Вероятность того, что время пребывания требований в очереди превышает некоторую величину  $t$ :

$$P(w > t) = \pi e^{-\frac{1}{x}(m-\lambda\bar{x})t} \quad (3.17)$$

6. Средняя длина очереди:

$$\bar{N}_q = \frac{\lambda\bar{x}P_m}{m\left(1-\frac{\lambda\bar{x}}{m}\right)^2} \quad (3.18)$$

7. Среднее количество свободных от обслуживания устройств:

$$N_{ce} = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{m-k}{k!} (\lambda\bar{x})^k P_0 \quad (3.19)$$

8. Среднее количество занятых обслуживанием устройств:

$$N_{np} = m - N_{ce} \quad (3.20)$$

9. Среднее время, которое требование проводит в ожидании до начала обслуживания в системе:

$$w = \frac{\pi\bar{x}}{m-\lambda\bar{x}}, \quad \frac{\lambda\bar{x}}{m} < 1 \quad (3.21)$$

Приведенные формулы позволяют выполнять расчеты для СМО вида М/М/т и сравнивать их с полученными результатами имитационного моделирования.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. МЕТОДЫ ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Классификация методов логического моделирования функциональных схем [5]:

1. По учету задержек: синхронные и асинхронные.

При синхронном моделировании работы функциональной схемы модели элементов представляются логическими функциями без учета задержек сигналов, а сигналы – 0 и 1. Применяется для оценки правильности логического функционирования дискретных устройств без учета переходных процессов. При АсМ требуется определить не только состояние на выходе, но и момент времени, когда произошел сбой. Для этого вводится задержка  $dt$ .

2. По виду кодирования сигналов: двоичные и многозначные.

Суть метода заключается в том, что сигнал кодируется 2 или более значениями, что позволяет отследить риски сбоев и неопределенности на выходах элементов.

3. По очередности моделирования: сквозные и событийные.

В системах АсМ время моделирования изменяется не постепенно с заранее заданным шагом  $dt$ , а в моменты возникновения событий. Под событием в АСМ понимается изменение состояния какого-либо элемента схемы и связанных с ним цепей.

В системах АСМ важную роль играют два массива: массив состояния цепей (МСЦ - хранит информацию о текущем состоянии всех цепей) и очередь будущих событий (ОБС).

В отношении асинхронных моделей применяется асинхронное моделирование. Возможны два метода асинхронного моделирования - пошаговый (инкрементный) и событийный.

В пошаговом методе время дискретизируется и вычисления по выражениям модели выполняются в дискретные моменты времени  $t_0, t_1, t_2...$  и т.д. Шаг дискретизации ограничен сверху значением допустимой погрешности

определения задержек и потому оказывается довольно малым, а время анализа значительным.

Для сокращения времени анализа используют событийный метод. В этом методе событием называют изменение любой переменной модели. Событийное моделирование основано на следующем правиле: обращение к модели логического элемента происходит только в том случае, если на входах этого элемента произошло событие. В сложных логических схемах на каждом такте синхронизации обычно происходит переключение всего лишь 2...3% логических элементов и, соответственно, в событийном методе в несколько раз уменьшаются вычислительные затраты по сравнению с пошаговым моделированием.

Методы анализа синхронных моделей представляют собой методы решения систем логических уравнений. К этим методам относятся метод простых итераций и метод Зейделя, которые аналогичны одноименным методам решения систем алгебраических уравнений в непрерывной математике.

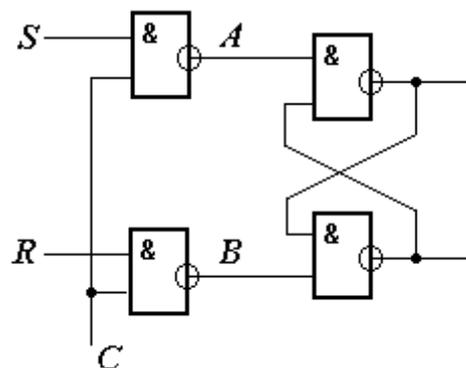


Рисунок 3.6 - Логическая схема триггера

Применение этих методов к моделированию логических схем удобно проиллюстрировать на примере схемы триггера (рисунок 3.6). В таблице 3.1 представлены значения переменных модели в исходном состоянии и после каждой итерации в соответствии с методом простых итераций. В исходном состоянии задают начальные (возможно произвольные) значения промежуточных и выходных переменных, в данном примере это значения

переменных  $B$ ,  $Q$ ,  $P$ ,  $A$ , соответствующие предыдущему состоянию триггера. Новое состояние триггера должно соответствовать указанным в таблице изменившимся значениям входных сигналов  $R$ ,  $S$  и  $C$ . Вычисления заканчиваются, если на очередной итерации изменений переменных нет, что и наблюдается в данном примере на четвертой итерации.

Таблица 3.1

Итерация	$R$	$S$	$C$	$B$	$Q$	$P$	$A$
Предыдущее состояние	0	0	0	1	1	0	1
Исходные значения (итерация 0)	0	1	1	1	1	0	1
Итерация 1	0	1	1	1*	1	0	0*
Итерация 2	0	1	1	1	1	1*	0
Итерация 3	0	1	1	1	0*	1	0
Итерация 4	0	1	1	1	0	1*	0

Согласно методу простых итераций, в правые части уравнений модели на каждой итерации подставляют значения переменных, полученные на предыдущей итерации. В отличие от этого в методе Зейделя, если у некоторой переменной обновлено значение на текущей итерации, то именно его и используют в дальнейших вычислениях уже на текущей итерации. Метод Зейделя позволяет сократить число итераций, но для этого нужно предварительно упорядочить уравнения модели так, чтобы последовательность вычислений соответствовала последовательности прохождения сигналов по схеме. Такое упорядочение выполняют с помощью ранжирования.

Ранжирование заключается в присвоении элементам и переменным модели значений рангов в соответствии со следующими правилами:

1. в схеме разрываются все контуры обратной связи, что приводит к появлению дополнительных входов схемы (псевдовходов);

2. все внешние переменные (в том числе на псевдовходах) получают ранг 0;
3. элемент и его выходные переменные получают ранг  $k$ , если у элемента все входы проранжированы и старший среди рангов входов равен  $k-1$ .

Так, если в схеме (рисунок 3.6) разорвать имеющийся контур обратной связи в цепи переменной  $Q$  и обозначить переменную на псевдовходе  $Q_1$ , то ранги переменных оказываются следующими:  $R, S, C, Q_1$  имеют ранг 0,  $A$  и  $B$  - ранг 1,  $P$  - ранг 2 и  $Q$  - ранг 3. В соответствии с этим переупорядочивают уравнения в модели триггера:

$$A = \neg(S \wedge C); B = \neg(R \wedge C); P = \neg(A \wedge Q); Q = \neg(B \wedge P).$$

Теперь уже на первой итерации по Зейделю получаем требуемый результат. Если разорвать контур обратной связи в цепи переменной  $P$ , то решение в данном примере будет получено после второй итерации, но это все равно заметно быстрее, чем при использовании метода простой итерации.

Для сокращения объема вычислений в синхронном моделировании возможно использование событийного подхода. По-прежнему обращение к модели элемента происходит, только если на его входах произошло событие.

Для триггера (рисунок 3.6) применение событийности в рамках метода простых итераций приводит к сокращению объема вычислений: вместо 16-кратных обращений к моделям элементов, как это видно из табл. 3.1, происходит лишь 5-кратное обращение. В таблице 3.1 звездочками помечены значения переменных, вычисляемые в событийном методе. Так, например, на итерации 0 имеют место изменения переменных  $S$  и  $C$ , поэтому на следующей итерации обращения происходят только к моделям элементов с выходами  $A$  и  $B$ .

## ПРАКТИКА 5. МНОГОВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ

Одновариантный анализ позволяет получить информацию о состоянии и поведении проектируемого объекта в одной точке пространства внутренних  $X$  и внешних  $Q$  параметров. Очевидно, что для оценки свойств проектируемого объекта этого недостаточно. Нужно выполнять многовариантный анализ, т.е. исследовать поведение объекта, в ряде точек упомянутого пространства, которое для краткости будем далее называть пространством аргументов [5].

Чаще всего многовариантный анализ в САПР выполняется в интерактивном режиме, когда разработчик неоднократно меняет в математической модели те или иные параметры из множеств  $X$  и  $Q$ , выполняет одновариантный анализ и фиксирует полученные значения выходных параметров. Подобный многовариантный анализ позволяет оценить области работоспособности, степень выполнения условий работоспособности, а следовательно, степень выполнения ТЗ на проектирование, разумность принимаемых промежуточных решений по изменению проекта и т.п.

### Примечание 1.

Областью работоспособности называют область в пространстве аргументов, в пределах которой выполняются все заданные условия работоспособности, т.е. значения всех выходных параметров находятся в допустимых по ТЗ пределах.

Среди процедур многовариантного анализа можно выделить типовые, выполняемые по заранее составленным программам. К таким процедурам относятся анализ чувствительности и статистический анализ.

Наиболее просто анализ чувствительности реализуется путем численного дифференцирования. Пусть анализ проводится в некоторой точке  $X_{\text{ном}}$  пространства аргументов, в которой предварительно проведен одновариантный анализ и найдены значения выходных параметров  $Y_{\text{ном}}$ . Выделяется  $N$  параметров-аргументов  $x_i$  (из числа элементов векторов  $X$  и  $Q$ ), влияние которых на выходные параметры подлежит оценить, поочередно каждый из них

получает приращение  $\Delta x_i$ , выполняется одновариантный анализ, фиксируются значения выходных параметров  $y_j$  и подсчитываются значения абсолютных

$$A_{ji} = \frac{y_j - y_{j\text{ном}}}{\Delta x_i}$$

и относительных

$$B_{ji} = A_{ji} \frac{x_{j\text{ном}}}{y_{j\text{ном}}}$$

коэффициентов чувствительности.

Такой метод численного дифференцирования называют методом приращений. Для анализа чувствительности, согласно методу приращений, требуется выполнить  $N+1$  раз одновариантный анализ. Результат его применения — матрицы абсолютной и относительной чувствительности, элементами которых являются коэффициенты  $A_{ji}$  и  $B_{ji}$ .

Примечание 2.

Анализ чувствительности — это расчет векторов градиентов выходных параметров, который входит составной частью в программы параметрической оптимизации, использующие градиентные методы.

Цель статистического анализа — оценка законов распределения выходных параметров и (или) числовых характеристик этих распределений. Случайный характер величин  $y_j$  обусловлен случайным характером параметров элементов  $x_i$ , поэтому исходными данными для статистического анализа являются сведения о законах распределения  $x_i$ . В соответствии с результатами статистического анализа прогнозируют такой важный производственный показатель, как процент бракованных изделий в готовой продукции (рисунок 1). На рисунке представлена рассчитанная плотность  $F$  распределения выходного параметра  $y_j$ , имеющего условие работоспособности  $y_j < T_j$ , затемненный участок характеризует долю изделий, не удовлетворяющих условию работоспособности параметра  $y_j$ .

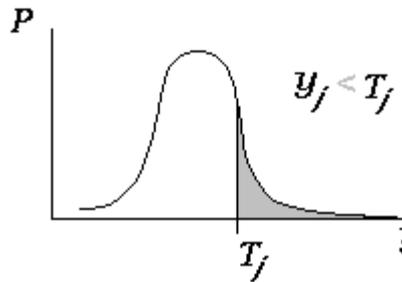


Рисунок 1 - Результат статистического анализа

В САПР статистический анализ осуществляется численным методом - методом Монте-Карло (статистических испытаний). В соответствии с этим методом выполняются  $N$  статистических испытаний, каждое статистическое испытание представляет собой одновариантный анализ, выполняемый при случайных значениях параметров-аргументов. Эти случайные значения выбирают в соответствии с заданными законами распределения аргументов  $x_i$ . Полученные в каждом испытании значения выходных параметров накапливают, после  $N$  испытаний обрабатывают, что дает следующие результаты:

- гистограммы выходных параметров;
- оценки математических ожиданий и дисперсий выходных параметров;
- оценки коэффициентов корреляции и регрессии между избранными выходными и внутренними параметрами, которые, в частности, можно использовать для оценки коэффициентов чувствительности.

Статистический анализ, выполняемый в соответствии с методом Монте-Карло, - трудоемкая процедура, поскольку число испытаний  $N$  приходится выбирать довольно большим, чтобы достичь приемлемой точности анализа. Другая причина, затрудняющая применение метода Монте-Карло, — трудности в получении достоверной исходной информации о законах распределения параметров-аргументов  $x_i$ .

Более типична ситуация, когда законы распределения  $x_i$  неизвестны, но с большой долей уверенности можно указать предельно допустимые отклонения

$\Delta x_i$  параметров  $x_i$  от номинальных значения  $x_{i\text{ном}}$  (такие отклонения часто указываются в паспортных данных на комплектующие детали). В таких случаях более реалистично применять метод анализа на наихудший случай. Согласно этому методу, сначала выполняют анализ чувствительности с целью определения знаков коэффициентов чувствительности. Далее осуществляют  $m$  раз одновариантный анализ, где  $m$  — число выходных параметров. В каждом варианте задают значения аргументов, наиболее неблагоприятные для выполнения условия работоспособности очередного выходного параметра  $y_j, j \in [1:m]$ . Так, если  $y_j < T_j$  и коэффициент чувствительности положительный (т.е.  $\text{sign}(A_{ji}) = 0$ ) или  $y_j > T_j$  и  $\text{sign}(A_{ji}) = 1$ , то

$$x_i = x_{i\text{ном}} + \Delta x_i,$$

Иначе

$$x_i = x_{i\text{ном}} - \Delta x_i,$$

Однако следует заметить, что, проводя анализ на наихудший случай, можно получить завышенные значения разброса выходных параметров, и если добиваться выполнения условий работоспособности в наихудших случаях, то это часто ведет к неоправданному увеличению стоимости, габаритных размеров, массы и других показателей проектируемых конструкций, хотя и гарантирует с запасом выполнение условий работоспособности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Норенков, И.П. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для вузов [Текст]/И.П. Норенков. - М.: Высш.шк., 1986.
2. Повзнер, Л.Д. Теория систем управления: Учебное пособие для вузов [Текст]/Л.Д. Повзнер. - М.: Изд. МГГУ, 2002. - 472 с.
3. Михайлов, В.С. Теория управления [Текст]/В.С. Михайлов. – К.: Высш. школа, 1988.
4. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки [Текст]/Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1968. – 283 с.
5. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка [Текст]/М.Е. Зубцов. – Л: Машиностроение, 1967. – 504 с.
6. Унксов, Е.П. Теорияковки и штамповки [Текст]/Е.П. Унксов, А.Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1992. – 720 с.

## Тесты 1

1. САПР это:
  - а) проектирование, при котором отдельные преобразования объекта, осуществляются взаимодействием человека и ЭВМ;
  - б) процесс переработки определённого объема информации;
  - в) комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с подразделениями проектной организации.
2. Какое определение понятия "проектирование" Вы считаете правильным?
  - а) совокупность работ, включающих расчеты и моделирование;
  - б) совокупность работ, направленных на получение принципиального решения или облика будущего изделия;
  - в) совокупность работ, имеющих целью создание, преобразование и представление в принятой форме образа некоторого еще не существующего объекта;
  - г) совокупность работ, имеющих целью обосновать принятые конструктивные решения.
3. Жизненный цикл изделия (ЖЦИ) это:
  - а) совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта;
  - б) этапы дизайнерской задумки, конструкторской и технологической подготовки производства;
  - в) производство и обслуживание изделия.
4. Технологическая подготовка производства это:
  - а) совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта;

- б) совокупность методов организации, управления и решения технологических задач на основе применения комплексной стандартизации, автоматизации, экономико-математических моделей и средств технического оснащения;
  - в) производство и обслуживание изделия.
5. Какие системы называют системами расчетов и инженерного анализа или системами?
- а) CAE;
  - б) CAD;
  - в) CAM.
6. Какие системы называют системами конструкторского проектирования?
- а) CAE;
  - б) CAD;
  - в) CAM.
7. Что является преимуществом линейной организационной структуры предприятия?
- а) малая гибкость и приспособляемость к изменению ситуации;
  - б) быстрая реакция исполнительных подразделений на прямые указания вышестоящих;
  - в) возможность привлечения внешних консультантов и экспертов.
8. Что является преимуществом линейно - штабной организационной структуры предприятия?
- а) малая гибкость и приспособляемость к изменению ситуации;
  - б) тенденции к централизации управления;
  - в) возможность привлечения внешних консультантов и экспертов.
9. Что является преимуществом дивизионной организационной структуры предприятия?

- а) она обеспечивает управление многопрофильными предприятиями с общей численностью сотрудников порядка сотен тысяч и территориально удаленными подразделениями;
  - б) тенденции к централизации управления;
  - в) возможность привлечения внешних консультантов и экспертов.
10. Что является недостатком дивизионной организационной структуры предприятия?
- а) большое количество "этажей" управленческой вертикали; между рабочими и управляющим производством подразделения - 3 и более уровня управления, между рабочими и руководством компании - 5 и более;
  - б) тенденции к централизации управления;
  - в) некоторая разгрузка высших руководителей.
11. На каком этапе жизненного цикла изделия разрабатываются маршрутная и операционная технологии изготовления деталей?
- а) на этапе проектирования;
  - б) на этапе подготовки производства;
  - в) на этапе производства.
12. На каком этапе жизненного цикла изделия осуществляются календарное и оперативное планирование?
- а) на этапе проектирования;
  - б) на этапе подготовки производства;
  - в) на этапе производства.
13. На какую систему возлагается управление данными в едином информационном пространстве на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий?
- а) PLM (Product Lifecycle Management);
  - б) IETM (Interactive Electronic Technical Manuals);
  - в) CNC (Computer Numerical Control).

- 14.Какая система относится к АСУП:
- а) система CNC (Computer Numerical Control);
  - б) система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition);
  - в) система ERP (Enterprise Resource Planning).
- 15.Какая система, входящая в АСУТП выполняет сбор данных и диспетчерский контроль?
- а) система CNC (Computer Numerical Control);
  - б) система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition);
  - в) система ERP (Enterprise Resource Planning).
16. Что является главным свойством управленческих структур органического типа?
- а) способность изменять свою форму, приспосабливаясь к изменяющимся условиям;
  - б) дублирование функций на разных "этажах";
  - в) более тесная связь производства с потребителями.
17. Разновидностями, какой структуры являются: проектные, матричные (программно-целевые), бригадные формы?
- а) дивизионной структуры;
  - б) структур органического типа;
  - в) линейной структуры.
- 18.Какая структура управления была предложена Каори Ишикава в 70-х годах и функционирует на фирме "Тойота"?
- а) дивизионная структура управления;
  - б) линейная структура управления;
  - в) матричной программно - целевой структуры управления.
19. Назовите преимущество проектной структуры управления?
- а) большое число "этажей управления" между работниками;
  - б) четкая система взаимных связей функций и подразделений;

в) сокращение численности управленческого персонала по сравнению с иерархическими структурами.

20. Что является недостатком бригадной структуры управления?

а) высокая квалификация и ответственность персонала;

б) сокращение управленческого аппарата, повышение эффективности управления;

в) тенденции к чрезмерной централизации управления.

## Тесты 2

1. Что предусматривает собой принцип типизации при создании САПР?
  - а) целостность системы и иерархичность проектирования отдельных частей и объекта в целом;
  - б) возможность пополнения, совершенствования и обновления составных частей САПР;
  - в) разработку и использование унифицированных элементов САПР.
2. Что характерно для САПР ТП?
  - а) сквозная информационная поддержка на всех этапах обработки информации на основе интегрированной базы данных;
  - б) постоянный контроль за выполнением операций и получением новых данных и их корректировка;
  - в) все промежуточные варианты и необходимые численные данные фиксируются на бумаге и выводятся на печать.
3. Что является обслуживающей подсистемой САПР?
  - а) система управления базой данных;
  - б) система расчётов режима вытяжки;
  - в) система сборки детали.
4. Что входит в техническое обеспечение САПР?
  - а) программы просмотра и воспроизведения;
  - б) устройства ввода-вывода данных;
  - в) методические указания;
  - г) системы управления базами данных.
5. Что является информационным обеспечением САПР?
  - а) программы просмотра и воспроизведения;
  - б) базы данных;
  - в) системы управления базами данных.
6. Что является техническим обеспечением САПР?
  - а) программы просмотра и воспроизведения;
  - б) базы данных;

в) локальные вычислительные сети (ЛВС).

7. Что является техническим обеспечением САПР?

а) системы управления базами данных;

б) базы данных;

в) персональный компьютер.

8. Какие математические модели относятся к моделям «структуры»?

а) плоские и объемные изображения объектов проектирования;

б) кинематические, гидравлические, электронные и др. схемы;

в) модели реальных ситуаций.

9. Какие математические модели относятся к имитационным моделям?

а) плоские и объемные изображения объектов проектирования;

б) кинематические, гидравлические, электронные и др. схемы;

в) модели реальных ситуаций.

10. Какие математические модели относятся к моделям формы и геометрических параметров?

а) плоские и объемные изображения объектов проектирования;

б) кинематические, гидравлические, электронные и др. схемы;

в) модели реальных ситуаций.

11. Что является проектирующей подсистемой САПР?

а) системы выполняющие процедуры и операции получения новых данных;

б) системы передачи и вывода результатов проектирования;

в) система управления базой данных.

12. Что является обслуживающей подсистемой САПР?

а) системы выполняющие процедуры и операции получения новых данных;

б) подсистемы проектирования технологических процессов;

в) система управления базой данных.

13. Как классифицируются методы логического моделирования функциональных схем?

- а) синхронные и асинхронные;
- б) логичные и нелогичные;
- в) открытые и замкнутые.

14. Как классифицируются методы логического моделирования функциональных схем?

- а) двоичные и многозначные;
- б) внешние и внутренние;
- в) смешанные и единичные.

15. САПР изделий это?

- а) CAQ системы;
- б) CAD системы;
- в) CAM системы.

16. САПР технологических процессов это?

- а) CAQ системы;
- б) CAPP системы;
- в) CAM системы.

## Тесты 3

1. Какая стратегия проектирования ТП имеет минимальную трудоёмкость и максимальную надёжность?
  - а) линейная стратегия;
  - б) циклическая стратегия;
  - в) разветвлённая стратегия;
  - г) адаптивная стратегия.
  
2. Какая стратегия проектирования ТП используется в новаторском проектировании?
  - а) адаптивна стратегия;
  - б) линейная стратегия;
  - в) стратегия случайного поиска;
  - г) разветвлённая стратегия;
  
3. Какая стратегия проектирования ТП основана на наиболее полной информации и используется при создании систем искусственного интеллекта?
  - а) адаптивна стратегия;
  - б) линейная стратегия;
  - в) стратегия случайного поиска;
  - г) циклическая стратегия;
  
4. Структура технологического процесса — это:
  - а) множество элементов;
  - б) множество его элементов и множество связей между ними;
  - в) множество связей между элементами;

5. Какая формула по теории графов характеризует структуру технологического процесса?

а)  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$

б)  $St = \{V, S\}$

в)  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$

6. Что определяет эффективность САПР:

а) наличие параллельных этапов проектирования;

б) программное обеспечение;

в) правильный выбор стратегии проектирования технологического процесса;

7. Что осуществляется на этапе разработки технического проекта при выборе средств автоматизированного проектирования на предприятии?

а) детальное проектирование, включающее разработку спецификаций каждой компоненты;

б) разработка требований к техническим средствам;

в) разработка предложений по этапам и срокам автоматизации.

8. Что осуществляется на этапе разработки системного проекта при выборе средств автоматизированного проектирования на предприятии?

а) определение архитектуры системы, ее функции, внешние условия ее функционирования;

б) разработка требований к техническим средствам;

в) разработка предложений по этапам и срокам автоматизации.

9. Что осуществляется при построении модели “как есть” деятельности предприятия при выборе средств автоматизированного проектирования?

а) предварительное моделирование направления деятельности;

б) совершенствование технологий на основе оценки их эффективности;

в) разработка предложений по этапам и срокам автоматизации.

10. Что осуществляется при построении модели “как должно быть” деятельности предприятия при выборе средств автоматизированного проектирования?

а) предварительное моделирование направления деятельности;

б) совершенствование технологий на основе оценки их эффективности;

в) разработка предложений по этапам и срокам автоматизации.