

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

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

**И. Н. Хаймович**

## **Информационные технологии в ОМД**

Электронное учебное пособие  
по лекционному курсу

САМАРА  
2010

Автор: **Хаймович Ирина Николаевна**

Рассмотрена организация производства, его структура и способы автоматизированного проектирования.

Пособие предназначено для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» по направлению 150400.68 «Металлургия».

Подготовлены на кафедре обработки металлов давлением.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

## **Лекция 1: «Технологическая подготовка производства (этапы создания изделия, функции и проблемы, принципы построения АСТПП)»**

Любое изделие, которое нужно изготовить (произвести) называется *объектом производства*. На предприятии обычно различают основное и вспомогательное производство. В *основном производстве* выпускают изделия, которые составляют продукцию предприятия например, фасонный или сортовой прокат, поковки и т.д. Во *вспомогательном производстве* изготавливаются изделия, которые необходимы для производства основной продукции предприятия (приспособления, штампы, пресс-формы и др.). Все изделия, как основного, так и вспомогательного производства, являются объектами производства.

Продукция представляет собой результат некоторой деятельности или выполненных процессов. Ее можно разделить на четыре общие категории:

1. Технические средства – отдельные изделия определенной формы (Изделие – единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках или экземплярах).
2. Обработанные материалы – изделия, являющиеся результатом преобразования сырья.
3. Услуги – итоги непосредственного взаимодействия поставщика и производителя и внутренней деятельности поставщика по удовлетворению нужд потребителя.
4. Программное обеспечение ЭВМ.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Изделия в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей делятся на следующие виды:

- А) неспециализированные ( детали) – не имеющие составных частей;
- Б) специализированные ( сборочные единицы, комплексы, комплекты) – состоящие из двух и более составных частей.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (вал, шайба, литой корпус и т.д.).

Сборочная единица – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии – изготовителе сборочными операциями – свинчиванием, клепкой, пайкой, сваркой и т.д. (насос, генератор, автомобиль).

Производственный процесс – это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и/или определению состояния предмета труда.

Операция – законченная часть процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Этапы создания нового изделия являются элементами *Жизненного Цикла Изделия (ЖЦИ)*, который охватывает все стадии жизни изделия - от изучения рынка перед проектированием до утилизации изделия после использования.

Рассмотрим основное содержание этапов производства изделия.

Поисковое проектирование. На этом этапе производится анализ потребности рынка в данном изделии, исследуются конкурирующие аналоги, оцениваются временные и финансовые затраты для начала производства изделия, планируется серийность (годовой объем выпуска) изделия и устанавливаются его основные технические характеристики, оценивается возможная прибыль предприятия.

Результаты обоснования необходимости выпуска нового изделия оформляются в виде *Технического задания* на разработку проекта изделия. Техническое задание регламентирует состав, структуру и технические характеристики изделия. Отдельный его раздел - *Технико-экономическое обоснование* - посвящен экономическим вопросам.

В поисковом проектировании принимают участие ведущие специалисты предприятия - сотрудники отдела маркетинга, конструкторы, технологи, экономисты. К работе могут привлекаться также отдельные специалисты или коллективы специалистов других фирм.

Конструирование. На данном этапе осуществляется детальная разработка конструкции изделия. Структура, состав и геометрические параметры изделия должны соответствовать техническому заданию и обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики изделия. Важно спроектировать изделие так, чтобы его можно было изготовить наиболее простым образом и с минимальными затратами (разумеется, не в ущерб качеству). Если это требование выполнено, то говорят о технологичности изготовления изделия.

Результаты конструирования оформляются в виде комплекта конструкторской документации. Он включает в себя детализированные и сборочные чертежи, спецификации и другие документы. Чертежи выполняются в соответствии с действующими стандартами (в России используется стандарт ЕСКД, на западе обычно применяются стандарты ISO и ANSI).

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

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

Создание опытного образца. Этот этап имеет своей целью проверку качества принятых конструкторских и технологических решений путем испытаний опытного образца изделия. По результатам испытаний могут быть внесены

изменения как в конструкторскую документацию (то есть в конструкцию изделия), так и в разработанные технологические процессы.

Освоение серийного производства. На данном этапе предприятие должно выйти на намеченные объемы выпуска изделия, стабилизировать качество продукции и добиться заданной трудоемкости на всех стадиях производства. Здесь может понадобиться освоение дополнительных производственных мощностей, совершенствование технологических процессов, повышение численности и квалификации персонала.

Современное производство использует самый широкий спектр технологий при изготовлении деталей изделий. Это как традиционные технологии (обработка материалов резанием, штамповка, ковка, прокатка и др.), так и ряд новых (лазерная и плазменная резка, высокоскоростное фрезерование, литье пластмасс в горячеканальные формы и др.).

Применение той или иной технологии в каждом конкретном случае должно быть представлено в виде технологического процесса (ТП). Стандартом ГОСТ 3.1201-85 устанавливается классификация видов ТП по методу выполнения - обработка резанием (механообработка), обработка давлением, литье металлов и сплавов, сварка, сборка и др. Технологический процесс определяет последовательность выполняемых действий при обработке или сборке, вид выбранной заготовки или материала, используемое оборудование и инструмент, технологические режимы (для обработки резанием это величина подачи, частота вращения шпинделя и величины снимаемых припусков; для литья из пластмасс - температурный режим, давление впрыска, усилие запирающего устройства, время выдержки и т. д.). ТП сборки описывают последовательность действий при сборке как механических, так и электронных узлов изделия.

При неавтоматизированной подготовке производства, технологические процессы разрабатываются непосредственно в виде комплектов технологической документации. При использовании автоматизированных систем ТПП, создаваемые описания технологических процессов размещаются в компьютерной базе данных, а соответствующая документация является лишь отображением

внутреннего представления ТП во внешнюю сферу. Хранящиеся в базе данных ТП являются основным источником информации для решения задач автоматизированного управления технологической подготовкой производства. При этом разработка ТП выполняется с помощью специальных систем автоматизированного проектирования ТП (САПР ТП).

Важную роль при проектировании индивидуальных ТП играют *групповые ТП*, которые являются элементом рационально организованного *группового производства*. Принципы организации группового производства были разработаны профессором С.П. Митрофановым [5] и впоследствии развиты представителями его школы. Эти принципы приняты на вооружение и успешно используются ведущими предприятиями всех стран мира.

В групповом производстве изготавливаемые детали (изделия) объединяются в группы по признакам конструктивной и технологической общности. Это дает возможность унифицировать процессы их изготовления, сократить общее время подготовки производства и повысить ее эффективность. Для объединения изделий в группы используются специальные классификаторы, а после отнесения изделия в ту или иную группу ему присваивается соответствующий классификационный код. В отечественной промышленности принята унифицированная система классификации и кодирования изделий по конструкторским признакам, которая устанавливается стандартами ЕСКД. Для целей ТПП используется технологический классификатор деталей (ТКД), который является логическим продолжением классификатора ЕСКД.

Групповой ТП — это ТП изготовления группы изделий с общими технологическими признаками. Групповой ТП характеризуется общностью используемого оборудования, средств технологического оснащения и наладки. Таким образом, использование групповых ТП, способствует унификации процессов подготовки производства и самого производства.

В условиях отсутствия автоматизации, длительные сроки проектирования и изготовления средств технологического оснащения (СТО) являются одним из основных факторов, сдерживающих производительность ТПП. Особенно это

относится к сложной формообразующей оснастке и инструменту. Поэтому вопросам компьютеризации проектирования и изготовления таких СТО будет уделено особое внимание в следующих разделах.

Рассмотрим, в качестве примера, некоторые проблемы проектирования и изготовления пресс-форм, используемых для литья изделий из пластмасс. К таким изделиям в приборостроении относятся корпусные детали многих приборов, другие детали - ручки, кнопки, переключатели, окошки индикации и др.

Сложность и стоимость пресс-формы зависят от большого числа факторов. К ним относятся: габариты изделия; число гнезд в форме; число поверхностей разъема; наличие и число шиберов; сложность формообразующих поверхностей; точность изготовления деталей формы; качество формообразующих поверхностей; наличие горячеканальной системы и др.

Конструктор пресс-формы стремится минимизировать ее стоимость уже в процессе проектирования пресс-формы. Этот процесс идет по двум направлениям:

1. Принимаются такие решения, которые по возможности упрощают конструкцию пресс-формы. Например, если в изготавливаемой тонкостенной детали имеются небольшие боковые выступы, перпендикулярные направлению разъема формы, то для извлечения детали из формы применяется метод «сдергивания», вместо того, чтобы проектировать в форме боковые шиберы и делать дополнительные поверхности разъема.
2. Принимаются решения, обеспечивающие технологичность изготовления. Например, если в матрице пресс-формы имеется выступ, затрудняющий изготовление матрицы целиком, то выступ оформляется в виде вставки (знака), а в матрице для этой вставки предусматривается соответствующий вырез.

При разработке ТП изготовления пресс-формы принимаются решения, которые учитывают наличие или отсутствие на предприятии того или иного технологического оборудования. Например, если в цехе предприятия есть современный фрезерный станок с ЧПУ, с возможностью высокоскоростной



обработки, но нет электроэрозионного станка для прожига, то целесообразно выполнить (по возможности всю) чистовую обработку формообразующих поверхностей фрезерованием, не прибегая к прожигу.

Рассмотрим особенности построения АСТПП.

Работы по технологической подготовке производства выполняются соответствующими подразделениями и службами предприятия. Как правило, наибольший объем работ и общее управление процессами ТПП возлагаются на Отдел Главного технолога (ОГТ), структура которого может выглядеть так, как показано на рис. 1.

В настоящее время ресурсы большинства отечественных предприятий (парк оборудования, состав специалистов, организация работ, уровень автоматизации ТПП) не обеспечивают в должной мере выпуска продукции, отвечающей мировым стандартам и в сроки, определяемые темпами мирового научно-технического развития. Сегодня время «жизни» изделия может быть сопоставимо с временем, затрачиваемым на его проектирование и подготовку производства. Это иногда приводит к тому, что изделие, вследствие длительных сроков ТПП, фактически устаревает уже к моменту его запуска в серийное производство.

Внедрение информационных технологий на всех этапах производства и в целом жизненном цикле изделия позволит резко ускорить процесс выпуска изделий, и оперативно вносить в изделие требуемые изменения.

При этом необходимо обеспечить принцип единства процесса сбора и обработки данных на всех этапах и во всех структурных подразделениях.

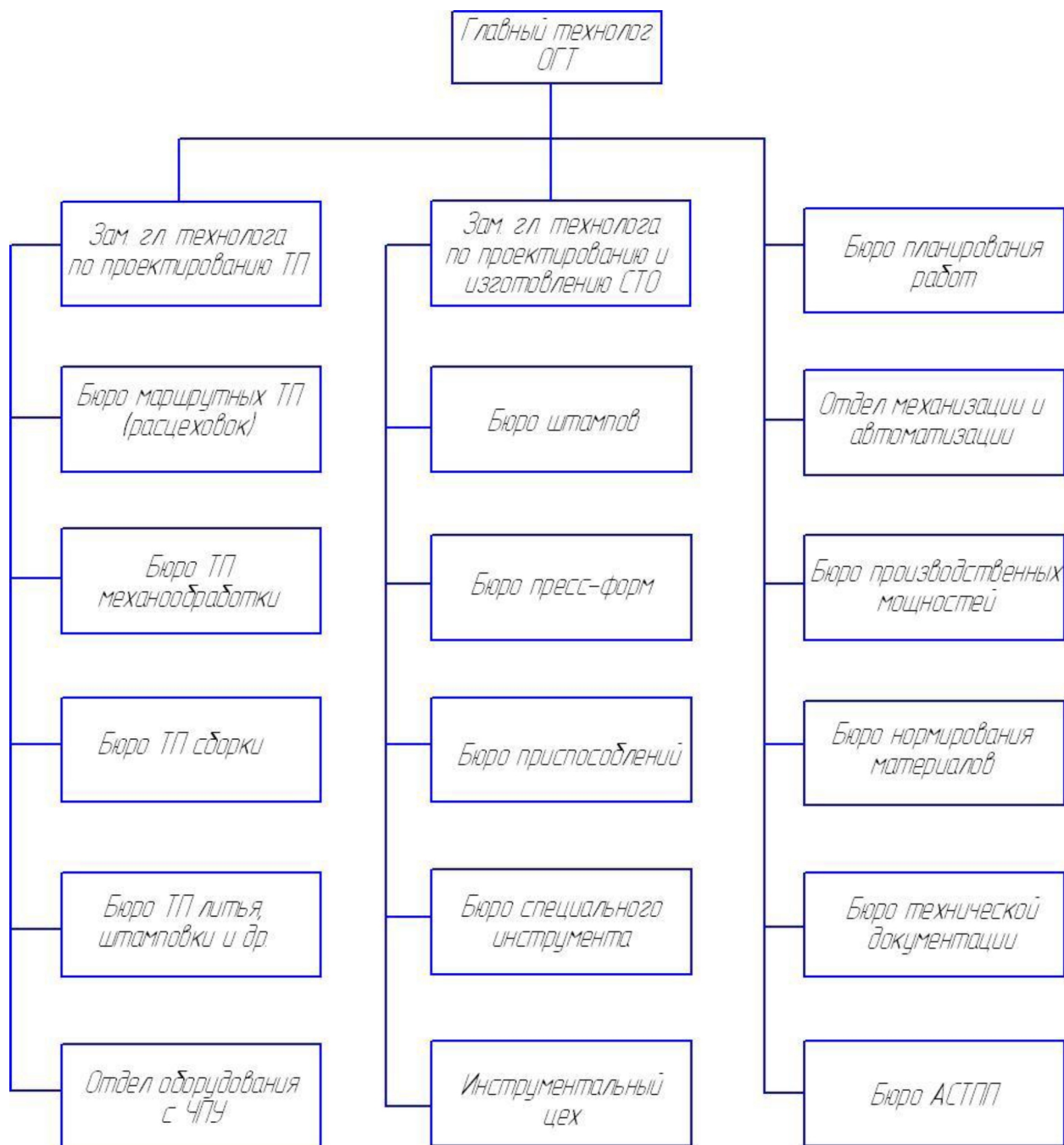


Рис. 1. Типовая структура отдела главного технолога

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

- принимать и хранить проект изделия в электронном виде;
- эффективно отслеживать текущее состояние ТПП изделия;
- организовывать быстрый авторизованный просмотр всех моделей и документов;

- обеспечивать оперативный обмен информацией между пользователями АСТПП;
- обеспечивать информационную согласованность работы всех подсистем АСТПП;
- поддерживать открытость АСТПП, удобство адаптации к меняющимся условиям производства;
- обеспечивать информационный обмен с автоматизированной системой управления производством (АСУП).

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

## **Лекция 2: «Базовые системы автоматизации проектирования и управления в ТПП (CAD/CAM CAE, PDM – системы)»**

Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. 2. К ним относятся этапы проектирования и конструирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, включая создание опытного образца и серийного производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации.

На всех этапах жизненного цикла изделий 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 ТЗ 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.

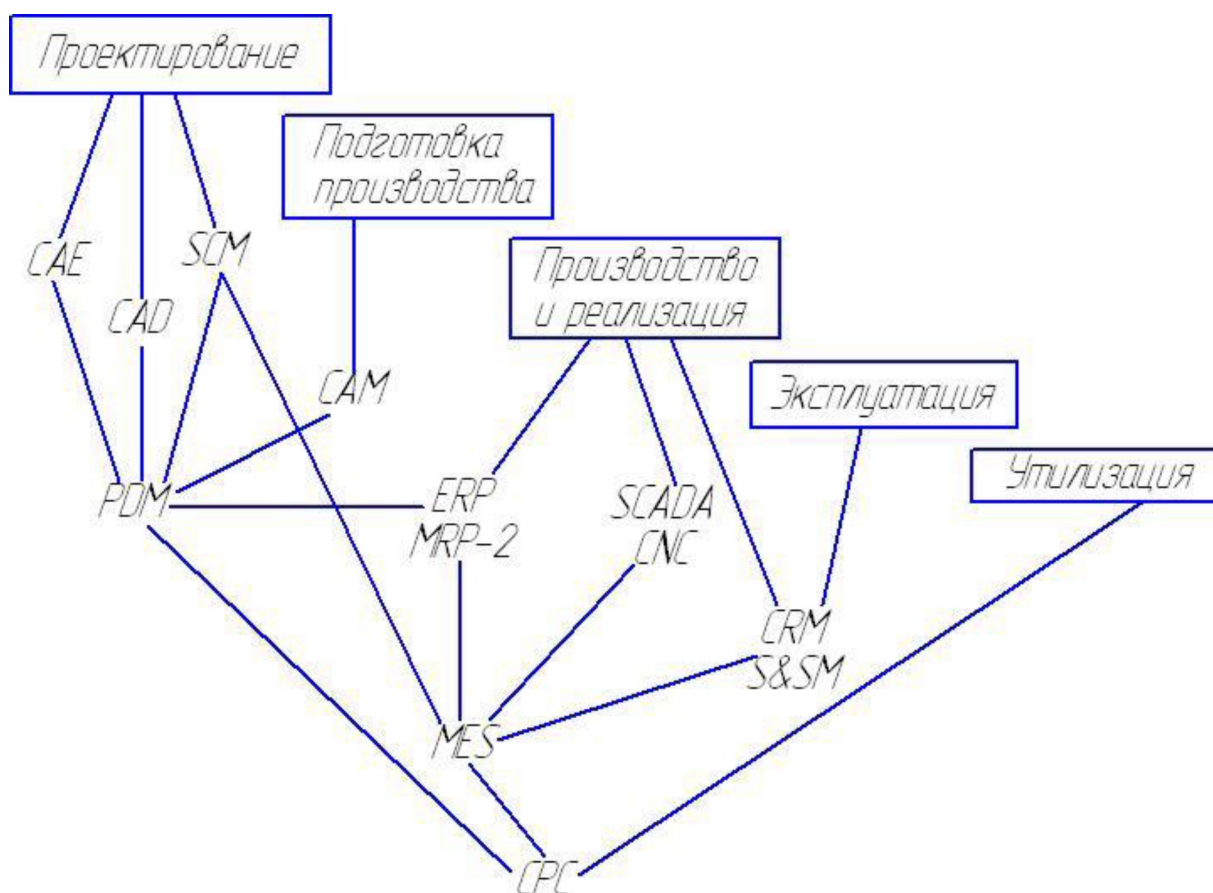


Рис.2. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и используемые АС

Основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий указаны на рис. 2.

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР машиностроительных отраслей промышленности 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 составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах *CAM* (*Computer Aided Manufacturing*). Функции координации работы систем *CAE/CAD/CAM*, управления проектными

данными и проектированием возложены на систему управления проектными данными *PDM (Product Data Management)*.

Уже на стадии проектирования требуются услуги системы *управления цепочками поставок (SCM — Supply Chain Management)*, иногда называемой системой *Component Supplier Management (CSM)*. На этапе производства эта система управляет поставками необходимых материалов и комплектующих.

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)*, производственная исполнительная система *MES (Manufacturing Execution Systems)*, а также *SCM* и система управления взаимоотношениями с заказчиками *CRM (Customer Requirement Management)*.

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, а системы *MES* - на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции осуществляет система *CRM*. Маркетинговые задачи иногда возлагаются на систему *S&SM (Sales and Service Management)*, которая, кроме того, используется для решения проблем обслуживания изделий. На этапе эксплуатации применяют также специализированные компьютерные системы, занятые вопросами ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем.

Для управления технологическим процессом в реальном времени используются АСУТП-системы, которые можно подразделить на два класса:

- SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition) (выполняют дискретные функции и функции разработки ПО для встроенного оборудования)
- CNC-системы (Computer Numerical Control), обеспечивающие непосредственное программное управление оборудованием.

Этапы создания нового изделия могут выполняться как одним, так и несколькими предприятиями. Это зависит от сложности изделия, от возможностей данного предприятия и от структуры промышленного производства в целом. Так, в западной промышленности, наряду с крупными предприятиями (такими, например, как Alcoa) успешно функционирует большое число малых фирм, которые могут либо специализироваться на определенных видах конечной продукции, либо участвовать в производственной цепочке выпуска сложных изделий на основе кооперации. В отечественном приборостроении число малых фирм относительно невелико, основной объем продукции выпускается крупными или средними предприятиями. При этом, как правило, конструирование новых изделий осуществляется специализированными конструкторскими организациями, а технологическая подготовка производства и собственно производство - независимыми от конструкторских организаций предприятиями-изготовителями.

Для организации подобного взаимодействия предприятию нужна чёткая и отлаженная структура организации внутренних информационных потоков. В качестве систем, обеспечивающих подобный информационный обмен выступают PLM-системы (Product Lifecycle Management).

Современная эпоха развития интеграции производственных данных во всем мире проходит под эгидой CALS – технологий – новой концепции развития производственной и коммерческой информатики. В России вместо термина CALS употребляют следующее сокращение: информационная поддержка ЖЦ изделий (ИПИ).

Всего можно выделить три группы ИПИ (CALS) – технологий:

1. Технология представления данных об изделии в электронном виде (первый этап создания единого информационного пространства предприятия – ЕИП).
2. Технология интеграции данных об изделии в рамках ЕИП (второй этап создания ЕИП).
3. Технология реинжиниринга бизнес – процессов. Они применяются для изменения структуры процессов ЖЦ.

Ключевым понятием при внедрении ИПИ – технологий является понятие электронного документа.

Электронный технический документ (ЭТД) – оформленная надлежащим образом в установленном порядке и зафиксированная на машинном носителе техническая информация, которая может быть представлена в форме, пригодной для ее восприятия человеком. ЭТД логически состоит из двух частей: содержательной и реквизитной.

Содержательная часть представляет собой информацию непосредственно об изделии и/или способах и средствах поддержки ЖЦ изделия.

Реквизитная часть – аутентификационные и идентификационные данные ЭТД, включающие набор обязательных информационных атрибутов и аутентификационные признаки (одну или несколько электронных цифровых подписей).

Среди ИПИ – технологий интеграции данных об изделии ключевой является технология управления данными об изделии (PDM - технология). PDM – технология предназначена для управления всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия.

Классические функции PDM – системы:

1. Управление хранением данных и документов. Все данные и документы в PDM – системе хранятся в специальной подсистеме (хранилище данных), которая обеспечивает их целостность, организует доступ к ним в соответствии с правами доступа и позволяет осуществить их поиск. Данные документы являются электронными, то есть обладают электронной подписью.

2. Управление процессами. PDM – система отслеживает все операции пользователей с данными, в том числе следит за версиями. Кроме того, PDM-система управляет потоком работ (например, в процессе проектирования изделия) и занимается протоколированием действий пользователей и изменений данных.

3. Управление составом изделия. PDM – система содержит информацию о составе изделия, его вариантах. Важной особенностью является наличие нескольких представлений состава изделия для различных предметных областей (конструкторский состав, технологический состав, маркетинговый состав и т.д.).

4. Классификация. PDM – система позволяет производить распределение изделий и документов в соответствии с различными классификаторами.

ИПИ – технологии можно применять для информационной поддержки систем управления (менеджмента) качеством (этапы планирования, осуществления, проверки, действия), для интегрированной логистической поддержки (для оптимизации стоимости ЖЦ изделия).

Данные об изделии представляют собой всю информацию о продукте в течении его ЖЦ в электронном виде. Они включают в себя: состав и структуру изделия, геометрические данные, чертежи, планы проектирования и производства, спецификации, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, корреспонденцию, сведения о партиях и отдельных экземплярах изделия и многое другое.

Информационные процессы являются процессами ЖЦ изделия, создающими или использующими данные о нем. Примером служит формальная процедура изменения изделия. Совокупность информационных процессов представляет собой документооборот, происходящий в течении ЖЦ изделия.

### **Лекция 3: «Методы системного синтеза АСТПП»**

Процесс построения АСТПП как единой, целостной системы называется *системным синтезом АСТПП*.

Синтез любой автоматизированной системы включает в себя, как составную часть, *анализ объекта автоматизации*. При создании АСТПП в роли объекта автоматизации выступают процессы технологической подготовки производства.



Чтобы начать выполнять работы, необходимо иметь описание (модель) объекта автоматизации, то есть *модель ТПП*. Следует различать две модели:

- модель ТПП, существующую на предприятии в данный момент;
- модель ТПП, которая будет функционировать после внедрения АСТПП.

В первую очередь необходимо получить модель существующей ТПП. Для этого выполняется предпроектный анализ предприятия который позволяет определить степень готовности предприятия к разработке и внедрению АСТПП, оценить сроки и предполагаемые затраты. Здесь следует получить ответы на вопросы:

- какие имеются задачи ТПП и как они решаются в настоящее время;
- какова организационная структура служб ТПП и организация работ;
- какие информационные взаимосвязи существуют между задачами ТПП;
- какие виды и формы документов используются;
- каков общий уровень квалификации персонала, каков уровень компьютерной грамотности и т. д.

Модель ТПП, которая формируется в результате предпроектного анализа предприятия, представляет собой совокупность функциональной организационной и информационной моделей:

- Функциональная модель описывает совокупность функциональных подсистем и связей, отражающих порядок взаимодействия подсистем при общем функционировании ТПП;
- Организационная модель описывает состав и структуру подразделений и служб ТПП;
- Информационная модель описывает потоки информации, существующие в функциональной и организационной моделях.

Требуемая глубина сбора информации зависит от ряда факторов, если новая система рассматривается как развитие или совершенствование уже имеющейся, то требуется более детальное изучение и обсуждение существующих механизмов ТПП. Если система строится на новых решениях, анализ может быть проведен в укрупненном варианте.

После предпроектного анализа переходят к разработке технического задания на создание АСТПП. В техническом задании, как уже отмечалось, оговариваются функции АСТПП, ее базовые характеристики, стратегия и график выполнения работ, предполагаемые затраты, перечень базовых систем автоматизации проектирования и управления, выбранных для использования в АСТПП. В техническом задании описывается как модель существующей ТПП, так и (с той или иной степенью глубины) модель будущей ТПП. Эта модель уточняется и совершенствуется на последующих стадиях создания АСТПП.

Для построения моделей сложных систем существует специальная методология SADT (Structured Analysts Design Technique). Она была создана в начале 70-х годов с целью унифицировать подходы к описанию сложных систем. SADT включает как концептуальный подход к построению моделей систем, так и набор правил и графических обозначений для их описания. Предлагаемые методы построения *функциональных моделей*, где описание систем выполняется с точки зрения выполняемых ими функций, получили название методологии IDEF0. Существуют также специальные методологии для построения *информационных моделей*, описывающих потоки информации (IDEFIX) и *динамических моделей*, отображающих причинно-следственные связи между объектами системы (IDEF/CPN). Рассмотрим кратко методологию IDEF0, так как функциональные модели носят центральный характер.

Формой представления моделей в IDEF0 являются диаграммы. Диаграммы содержат блоки и дуги. Блоки изображают функции моделируемой системы и представляются в виде прямоугольников. Дуги, изображаемые в виде соединительных линий со стрелками, связывают блоки и отображают взаимосвязи между ними.

Блоки соответствуют *функциям* системы, поэтому названиями являются глаголы или глагольные обороты (например «Разработать технологический процесс»). Дуги изображают *объекты*, например, планы, данные, оборудование, и поэтому описываются (помечаются) существительными или существительными с определениями. Между функциями и объектами возможны четыре отношения:

вход, управление, механизм, выход (рис. 3). *Входные дуги* изображают объекты, используемые функциями. *Дуги управления* предоставляют информацию, необходимую для выполнения функций. *Дуги механизмов* описывают, как функции реализуются. *Выходные дуги* изображают объемы, в которые преобразуются входы. Таким образом, дуги на диаграммах изображают интерфейсы между функциями системы, а также между системой и окружающей средой.

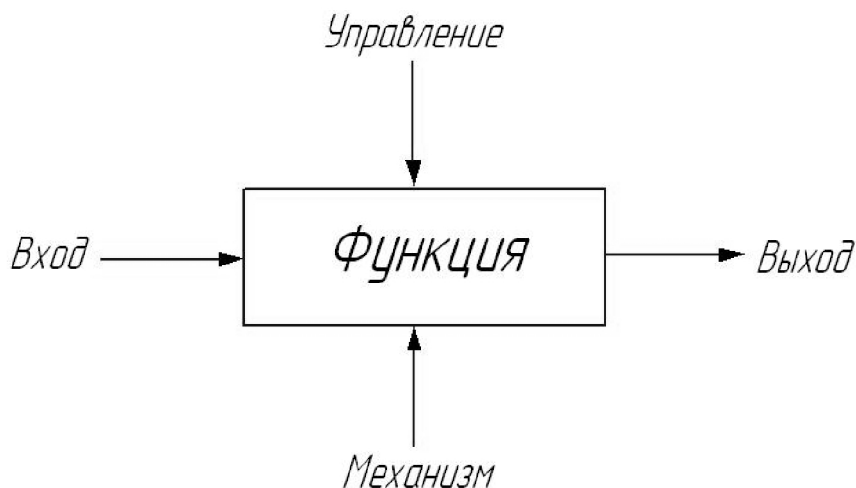


Рис. 3. Отношения между функциями и объектами

Описание сложной системы всегда зависит от того, с какой точки зрения она рассматривается. Поэтому на диаграммах IDEF0 указывается, с точки зрения какого должностного лица или специалиста осуществляется описание (например, «Точка зрения начальник инструментального цеха»).

На одной диаграмме IDEF0 должно быть не более шести блоков, что облегчает понимание и использование диаграмм. Выполнение этого требования достигается выбором соответствующего уровня детализации функций в диаграмме. Для более подробного описания тех блоков, где функции указаны в «обобщенном» виде, можно построить дополнительные диаграммы, детализирующие эти функции и процессы их выполнения. Число уровней такой детализации не ограничено.

При формировании функциональной модели описываются связи выбранной подсистемы с внешней средой (другими подразделениями, филиалами,

предприятиями и т.д.) с указанием каналов связи и их характеристик. В ходе их выявления функциональная модель пополняется граничными связями.

Для каждого подразделения, описанного в организационной структуре, определяется список выполняемых функций, который оформляется в виде дерева и служит основой для составления функциональной модели верхнего уровня. Подобная модель деятельности по завершении будет включать в себя некоторый набор функций, распределенный по нескольким уровням, с указанием исполняющих их структурных единиц предприятия, а так же нормативную и прочую документацию, регламентирующую выполнение каждой из них.

Описываются в модели внутренние связи между отдельными функциями выбранной подсистемы, формируются результаты действия для каждой функции предприятия с входными материалами, в качестве внутренних используются документы, циркулирующие между подразделениями.

В заданиях указываются следующие структурные подразделения:

- конструкторское бюро (работает с чертежами, моделями изделий, извещениями об изменениях в конструкции, со списками изделий и деталей, отслеживает применяемость изделий, дает заявку на новые материалы);
- производственный участок (на нем находятся рабочие места - оборудование с конкретным исполнителем);
- планово – экономический отдел (формирует справочник по группам материалов, справочник по материалам (ценник));
- планово – диспетчерский отдел (формирует оперативный план завода, отслеживает изменения в оперативном плане завода, устанавливает цеховые оперативные планы, отслеживает изменения в цеховых оперативных планах, формирует квартальный план завода, отслеживает фактический выпуск деталей);
- технологический отдел (формирует технологический процесс, технологические операции, отслеживает извещения об изменениях в тех. процессе, отслеживает применяемость операций в тех. процессах,

устанавливает трудоемкость по операциям, ведет перечень оборудования, отслеживает нормы расхода материалов).

- отдел материально – технического снабжения (устанавливает потребности в материалах на плановый и фактический выпуск по оперативному, квартальному, цеховому оперативным планам);
- отдел труда и зарплаты (устанавливает расценки по технологическим операциям, проверяет цеховые сводки).

По функциональной модели предприятия легко построить бизнес – процессы.

Процесс – это логическая последовательность действий, в результате которой при использовании некоторых ресурсов предприятия получают доступный для наблюдения результат. Процесс активизируется каким – либо событием.

Рассмотрим три приема, позволяющие построить структуру процессов подразделения. Первый прием можно назвать документоориентированным подходом формирования процесса (рис. 4). Здесь основной показатель объединения – набор действий над конкретным документом, составляющий его ЖЦ. В данном случае процесс можно охарактеризовать следующими свойствами:

- он обрабатывает (изменяет один документ (хотя применяться могут несколько документов));
- в процессе могут участвовать несколько исполнителей;
- он не привязан к какой – либо определенной цели.

Такой подход удобно применять при моделировании процессов подразделения, которое ориентировано не на получение какого – либо определенного целевого результата, а только на выполнение некоторого набора функций. Кроме того, это способ сбора данных, при котором сначала выявляется список всей рабочей документации, а затем по каждому документу строится модель документоориентированного процесса.

В качестве респондентов имеет смысл использовать непосредственных исполнителей действий процесса. Тогда для построения процессов потребуется следующая информация:

- событие, сообщение или документ, поступление которого инициирует процесс;
- объект обработки процесса (обрабатываемый документ);
- дополнительно используемые документы;
- перечень действий процесса;
- сведения об исполнителях действия;
- примерная длительность каждого действия;
- логика выполнения действий процесса.

Второй – ресурсоориентированный (рис. 5) – подход позволяет формировать процессы целиком (или частично), разбивая их на группы действий, исполняемые отдельными сотрудниками. Процессы, построенные вторым способом характеризуются следующими свойствами:

- все действия в описываемой части выполняет один исполнитель;
- в процессе могут обрабатываться и участвовать различные документы;
- в процессе не прослеживается общая цель.

Третий подход – целеориентированный, состоит в том, что процесс представляется как набор действий, нацеленных на получение конкретного результата с использованием различных исходных данных для создания документов. Свойства такого процесса следующие:

- он вырабатывает конкретный целевой результат (документ, изделие и др.);
- в процессе могут участвовать несколько исполнителей;
- создаются и используются различные документы.

Этот способ применяется при построении окончательных моделей бизнес – процессов предприятия.

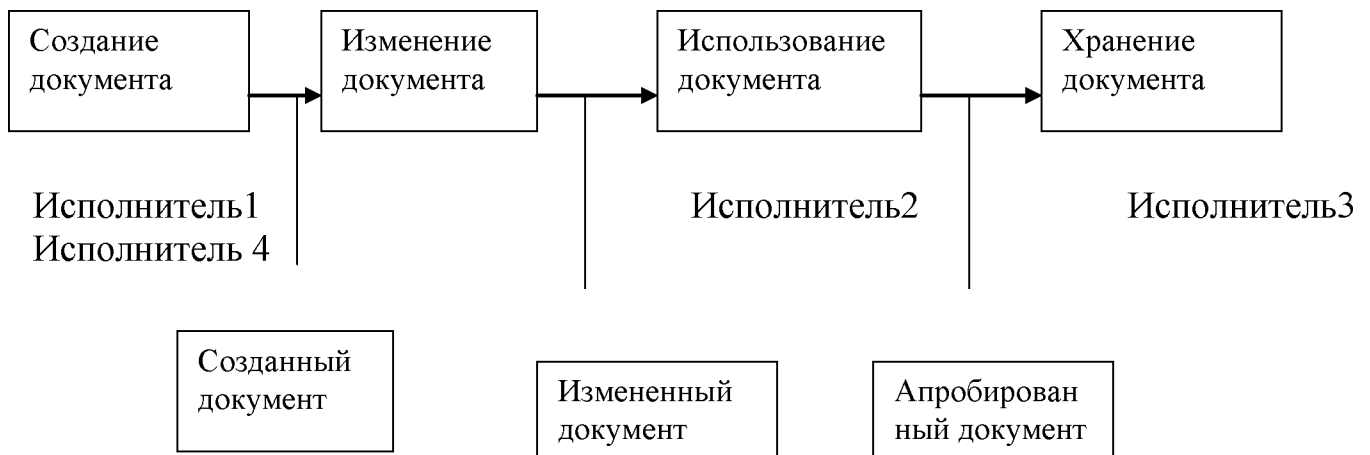


Рис.4. Документоориентированный процесс

Исполнитель 2

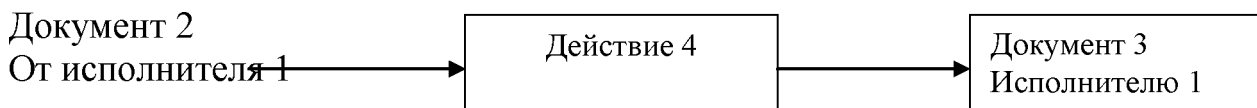


Рис. 5. Ресурсоориентированный процесс

Существуют специальные программные средства (например, пакет Design/IDEF), позволяющие автоматизировать процессы формирования структур и графических изображений создаваемых функциональных моделей IDEF0. Тем самым автоматизируются начальные этапы процесса проектирования сложных информационных систем.

Пакет Design/IDEF относится к так называемым системам класса CASE (Computer Aided Software Engineering). Средства CASE позволяют в наглядной форме моделировать предметную область, анализировать ее на всех этапах разработки и сопровождения, разрабатывать необходимые приложения. При разработке проекта информационной системы, Design/IDEF обеспечивает:

- формулировку требований и целей проекта - определение того, что проектируемая система будет делать;

- разработку спецификаций (формализованного описания требований);

создание проекта - определение состава подсистем и взаимодействий между ними;

- документирование проекта - создание базы данных проекта, текстовые описания составных частей проекта;

- анализ проекта - проверка проекта на полноту и непротиворечивость.

Проект информационной системы, создаваемый в Design/IDEF, состоит из двух частей:

- проект функциональной структуры системы, содержащий иерархически связанные страницы с IDEF0-диаграммами и описывающий все модули системы, их взаимосвязи, входные и выходные параметры;

- проект информационной структуры системы - логической модели ее базы данных, описывающей все структуры и взаимосвязи данных.

Оба проекта проверяются на полноту и непротиворечивость, сопровождаются базой данных проекта и документацией.

Использование методологии IDEF0 при построении моделей ТПП является крайне желательным, так как позволит повысить качество глубины проработки, систематизировать информацию, уменьшить число ошибок, улучшить проектную документацию и т. д. Методология IDE позволяет всем участникам проекта создания АСТПП (как сотрудника предприятия, так и представителям внешних фирм) однозначно понять существующие процессы ТПП, получить полную и достоверную информацию для перехода к следующему этапу системного синтеза, построению единого информационного пространства ТПП.

Функционирование АСТПП как единой, целостной системы предполагает функционирование всех ее компонентов в едином информационном пространстве (ЕИП) ТПП. Под ЕИП понимается единая компьютерная информационная среда, реализуемая средствами PDM системы и обеспечивающая совместную, согласованную работу конструкторов, технологов и других специалистов предприятия на протяжении всего времени жизненного цикла изделия.



Большое число различных видов данных, используемых в АСТПП требует определения некоторых общих критериев, которым должны удовлетворять все эти данные. Иными словами, необходимо определить *базовую модель данных*. Только в этом случае можно будет построить унифицированные и эффективные механизмы хранения и обработки информации. При выборе базовой модели данных необходимо учитывать следующее:

1. АСТПП создается и используется большим числом специалистов решающих различные задачи. Поэтому модель данных должна быть организована так, чтобы все специалисты могли эффективно использовать результаты работы друг друга и, при необходимости вносить в модель свои изменения;
2. Процесс создания АСТПП является итеративным, поэтому модель должна, с одной стороны, допускать последовательные уточнения, а с другой - быть устойчивой к изменениям предметной области. Это означает, что при модификациях предметной области должен изменяться только некоторый минимальный необходимый набор элементов модели. Таким требованиям отвечает объектно-ориентированный подход.

Объектно-ориентированная модель данных содержит следующие основные понятия: объект, характеристики объекта; связь между объектами, характеристики связи. Характеристиками объекта могут быть любые атрибуты, которые необходимы для представления этого объекта при решении поставленных задач обработки информации. Например, информация основной надписи документа может служить характеристикой этого документа.

Между объектами организуются связи и определяются характеристики этих связей. Характеристики связей не зависят от характеристик связываемых объектов. Например, «Номер зоны», «Номер позиции» и «Количество» являются характеристиками иерархической связи детали со сборочной единицей. Данная деталь может быть связана с различными сборочными единицами, и при этом указанные характеристики могут быть различными. Без установления связи эти характеристики не имеют смысла.

Таким образом, каждое изделие или документ представляются как самостоятельные объекты, которые могут быть связаны между собой различными видами связей, а вся информация об объекте должна быть «разложена» по четырем «полочкам» объектно-ориентированной модели, это - объект, это — характеристики объекта, это - связь объекта с другими объектами; это - характеристики связи.

Первым и одновременно одним из наиболее важных и ответственных шагов при построении ЕИП является разработка *системы классификации информационных объектов*. Основным требованием к системе классификации является соответствие целевым функциям ТПП предприятия. Определение классов объектов и их характеристик формируется последовательно по мере создания АСТПП. Класс - это набор объектов, имеющих общие атрибуты, причем среди этих атрибутов есть хотя бы один, который отличает объекты данного класса от объектов других классов в моделируемой предметной области. Например, при классификации изделий, объекты-детали образующие класс «Деталь» имеют характеристику «Материал», которая отличает эти объекты от всех других видов изделий по ЕСКД – сборочных единиц, комплексов, стандартных изделий и др.

Классификация информационных объектов может быть выполнена разными способами. При построении системы классов необходимо стремиться к тому, чтобы:

- по возможности избежать дублирования информации;
- упростить работу пользователя с данными;
- учесть распределение прав доступа;
- ускорить поиск данных при выполнении запросов.

Учет всех этих факторов, при условии соответствия модели данным целевым условиям ТПП предприятия, требует определенного «искусств» и хорошего понимания механизмов хранения и обработки данных, а там знания особенностей используемой PDM-системы.

Размещение конкретных данных в ЕИП и их обработка осуществляются в процессе непосредственного функционирования систем АСТПП. Важной частью содержимого ЕИП является описание состава, структуры, геометрии и материалов изделий в виде следующих компонентов: состав изделия - в виде дерева проекта; структура - в виде сборочных файлов САD-систем; геометрия - в виде трехмерных моделей и чертежей; материалы - в виде баз данных обозначений и свойств материалов.

Другой важной частью содержимого ЕИП является описание структуры и состава технологических процессов изготовления изделий. Описание ТП представляется в виде дерева выполняемых технологических операций и переходов, а также соответствующей технологической документацией, которая генерируется автоматически в требуемых форматах документов.

Информация, получаемая на этапах ТПП, хранится, вместе с информацией других этапов ЖЦИ, в единой базе данных и используется как PDM-системой, так и другими системами. Все эти системы и их компоненты, работающие с информацией, можно классифицировать по так называемым «контурам» программного обеспечения, которые включают *внутрисистемный контур*; *технологический контур*; *проектный контур*; *внешний контур* (рис. 6).



Рис.6. Контурь программного обеспечения

Внутрисистемный контур представляет собой программное обеспечение для выполнения следующих базовых функций:

- редактирование структуры базы данных и экранных форм;
- ввод в базу данных информации об объектах, иерархических и логических связях между объектами;
- ведение состава проектов;
- классификация объектов и наследование информации по иерархии классов;
- ведение жизненного цикла документов;
- автоматическое ведение версий документов;
- поиск документов по учетной информации и логическим связям;
- автоматическое наращивание обозначений документов и объектов;
- регламентация прав доступа к информации;
- экспорт и импорт информации;
- составление графиков производственных заданий и отслеживание их выполнения.

Технологический контур - это набор прикладных программ (подсистем, модулей). Созданные прикладные программы решают самые разнообразные задачи проектирования, управления и документирования в АСТПП. К таким задачам относятся: проектирование технологических процессов; разузлование изделий; расчет потребности в материалах и стандартных изделиях, формирование циклограмм сборки; получение сводных конструкторско-технологических документов и др.

Проектный контур представляет собой набор используемых CAD/CAM- и CAE-систем. Для решения своих задач специалисты-проектировщики используют «свою» CAD/CAM-систему и соответствующие средства интерфейса (интеграции) с внутрисистемным контуром PDM. В качестве простейшего примера интеграции можно привести обмен идентификационными данными документа. CAD-системы имеют функцию ввода идентификационных данных (например, в основную надпись чертежа), а PDM-система имеет функцию ввода идентификационных данных в паспорта чертежей, хранимых в базе данных.

Другой пример интеграции состоит в обмене 3D-моделями. Модели, созданные в САД-системе, должны передаваться в PDM-систему для хранения, а модели, хранимые в PDM-системе (например модели стандартных изделий или заимствованных деталей), должны передаваться в САД-систему при создании моделей сборочных единиц.

Внешний контур - это потребители информации, созданной на этапе ТПП, которые обслуживают остальные этапы ЖЦИ (маркетинг снабжение, производство, контроль, упаковка, реализация, монтаж, техобслуживание, утилизация). Рабочие места «потребителей» могут быть оснащены PDM системами или другими системами. Для этих систем должен существовать соответствующий интерфейс. Так, специальный модуль SmartGateway обеспечивает интеграцию PDM системы SmarTeam с ERP-системами, в частности, с известной системой управления производством SAP R/3.

Таким образом, единое информационное пространство создает основу для успешного комплекса функционирования АСТПП, для эффективной организации совместной согласованной работы конструкторов, технологов и других специалистов ТПП предприятия. В результате обеспечиваются:

- ускорение процессов ТПП за счет параллельного выполнения работ электронного обмена данными между специалистами;
- повышение качества и достоверности информации за счет прозрачности системы и взаимоконтроля участников процессов проектирования;
- накопление и сохранение информации в электронном виде;
- отсутствие ненужного дублирования информации;
- гибкость создаваемой АСТПП, удобство ее развития и адаптации к меняющимся условиям производства.

Рассмотрим автоматизацию управления бизнес-процессами. Любой информационный объект в ЕИП создается (прямо или косвенно) действиями конкретного специалиста или группы специалистов. В свою очередь, деятельность специалистов служб ТПП предприятия подчинена производственным планам и заданиям, в результат выполнения которых и

происходит формирование данных объектов. Отсюда следует, что управление созданием и изменениями информационных объектов тесно связано с управлением производственными заданиями, которые регламентируют содержание и сроки выполняемых проектных работ. Для такого управления используются специальные методы и средства автоматизации управления потоками производственных заданий на предприятии. Более широко данные технологии определяют как автоматизацию бизнес-процессов (деловых процессов), протекающих на предприятии и составляющих суть его деятельности. В качестве примера потока производственных заданий в сфере ТПП, можно привести последовательность заданий (работ), возникающих после внесения изменений в конструкцию выпускаемого предприятием изделия. Вследствие изменений в изделии, формируются задания на изменение или разработку новых ТП, на модификацию используемых средств технологического оснащения, на приобретение нового инструмента и т. д. Все эти задания должны быть увязаны между собой во времени, а их выполнение должно контролироваться, то есть должно осуществляться управление потоком заданий.

График заданий имеет один стартовый (начальный) узел соответствующий началу работ, и один конечный узел, достижение которого говорит о завершении выполнения графика. График описывает общую схему производственного процесса безотносительно к объекту, для которого этот процесс применяется. Например, график «Разработать сборочный чертеж» описывает схему действий, не относящихся к конкретной сборочной единице.

После того, как график создан, он может быть использован для запуска процесса выполнения конкретного задания. Инициирование процесса выполнения происходит на основе какого-либо события – например, окончания разработки модели сборочной единицы. При инициировании происходит «привязка» графика заданий к конкретной ситуации (в данном примере, это привязка графика «Разработать сборочный чертеж» конкретной сборочной единице).

Сам процесс выполнения происходит следующим образом. После инициирования процесса в стартовом узле графика, иницируются те узлы,

которые связаны соединителями со стартовым узлом. Пользователи, прикрепленные к этим узлам, средствами внутренней электронной почты получают директивы (уведомления) о необходимости выполнить указанные задания. Вместе с директивами передается вся необходимая для работы информация. После того, как пользователь выполнил задание, он сообщает системе о выполнении. Это инициирует следующие узлы графика, которые имеют соединения с данным узлом и т. д., до завершения выполнения всех работ в конечном узле графика. Выполненные узлы задания имеют специальную цветовую пометку, что позволяет легко контролировать общее состояние работ.

Графики заданий предусматривают возможность создания последовательных, параллельных, а также комбинированных путей (соединений). Задания в графиках могут иметь так называемые триггеры (переключатели) событий, которые срабатывают либо когда задание получено, либо когда задание выполнено. С помощью триггера событий можно инициировать другой график заданий или программу-скрипт, обеспечивая большую гибкость выполняемых действий.

Любое задание может находиться или в одном из «стандартных» состояний (*work-in-process* - не завершено; *registered* - зарегистрировано, *controlled* - контролируется; *released* - утверждено, *frozen* - заморожено), или в одном из состояний, заданных пользователем в процессе выполнения действий.

Инструкции, файлы и данные, которые должны быть задействованы присоединяются к посылаемым пользователем сообщениям. Большие наборы данных например, CAD-модели, в действительности не посылаются, но пользователю сообщается их расположение, чтобы он мог легко получить доступ к ним. Это обеспечивает небольшой размер присоединенного пакета. Отправленные данные задач и инструкции появляются в почтовом ящике получателя. Уведомления о событиях, например, об утверждении, могут быть также посланы другим пользователям, которым не нужно выполнять никаких действий.

Внедрение методов и средств автоматизации бизнес-процессов затрагивает не только технических специалистов (конструкторов, технологов), уже знакомых с

компьютерными технологиями. Оно требует определенного уровня компьютерной грамотности от большого числа других специалистов и руководителей подразделений, значительного повышения общей исполнительской дисциплины. Поэтому руководство предприятия должно быть готово к проведению соответствующих подготовительных работ при внедрении технологии автоматизации бизнес-процессов.

#### **Лекция 4: «Компьютерное проектирование в АСТПП»**

В стандартах ЕСТД (ГОСТ 3.1201-85) устанавливается классификация видов ТП по методу выполнения - обработка резанием (механообработка), обработка давлением, литье металлов и сплавов, сварка, сборка и др. Проектирование всех технологических процессов имеет в своей основе общую методологию, однако, в целях большей конкретности изложения, рассмотрим ниже проектирование технологических процессов обработки давлением.

Напомним, что ТП обработки давлением состоит из маршрута и операций. Маршрут состоит из последовательности операций по обработке данной детали, например: «Заготовительная», «Разделительная», «Штамповочная», «Термообработка». Операция может включать в себя последовательность переходов, например: «Установить заготовку», «Осадить заготовку», «Штамповать в черновом ручье», «Штамповать в чистовом ручье». Для каждой операции в ТП указываются необходимое оборудование, инструмент и оснастка. В переходах задаются технологические режимы обработки, например, усилие штамповки, число ударов молота и т.д. Таким образом, структура ТП носит иерархический характер и может быть представлена в виде дерева.

Комплект технологических документов на ТП включает в себя маршрутную карту (описание маршрута), операционные карты (описание операций), ведомость оснастки (перечень используемых средств технологического оснащения) и ряд других документов, в соответствии с ЕСТД (ГОСТ 3.1201-85). В стандартах ЕСТД устанавливаются также формы бланков и правила оформления технологической документации.



Проектирование ТП деталей было одной из первых задач, попытки решения которых предпринимались в АСТПП. При этом многие предложенные ранее идеи и методы автоматизации проектирования сохранились до сегодняшнего дня. Однако, некоторые подходы, с учетом сегодняшних требований, нуждаются в коренных изменениях.

Существует три основных метода автоматизированного проектирования ТП:

- Индивидуальное проектирование;
- Проектирование на основе группового ТП;
- Проектирование ТП методом синтеза.

*Метод индивидуального проектирования* заключается в «ручной» компоновке необходимой последовательности операций и переходов с использованием имеющейся в системе автоматизации проектирования (САПР) базы данных. Эта база содержит списки наименований операций и переходов, перечни применяемого оборудования, приспособлений, режущего, вспомогательного и мерительного инструмента. Индивидуальное проектирование предполагает также возможность использования разработанных ранее ТП (в качестве ТП-аналогов). При этом проектирование, по существу, сводится к редактированию уже имеющегося ТП.

Сам выбор ТП-аналога представляет собой отдельную задачу, которая решается по схеме: «Данная деталь», «Деталь-аналог», «ТП-аналог». Иначе говоря, для поиска ТП-аналога необходимо решить задачу поиска детали-аналога. При этом могут использоваться специальные классификаторы деталей и алгоритмы поиска.

*Проектирование на основе группового ТП* базируется на предварительно выполненном группировании деталей и разработанных групповых ТП. При этом групповой ТП используется в качестве «шаблона», который настраивается на параметры конкретной детали.

Основной проблемой здесь является группирование деталей. Существует три методики группирования: на основе использования классификатора деталей; путем отбора деталей из базы данных на основании составленного технологом

запроса; алгоритмическое формирование групп деталей в n-мерном пространстве признаков. Реализация любого из этих методов требует выполнения значительного объема предварительных работ: в первом случае это классификация и кодирование деталей, в двух других приобретение и освоение соответствующего программного обеспечения, его настройка и формирование базы данных деталей.

*Метод синтеза* состоит в алгоритмическом формировании ТП на основании имеющегося геометрического описания детали. Так как не существует строгих математических методов формирования структуры ТП на основании описания детали, то алгоритмы синтеза носят в основе эвристический характер и являются действительными только в пределах некоторых (выбранных и оговариваемых заранее) групп или классов деталей.

Эвристические алгоритмы проектирования ТП могут быть реализованы в виде специальных таблиц или правил. Методы их построения опираются на теорию представления знаний, которая является областью теории искусственного интеллекта.

Разработанные ранее, а также используемые сегодня САПР ТП реализуют те или иные из указанных методов. При этом во всех случаях описание ТП формируется в виде некоторой информационной модели, а технологическая документация является отображением этой модели во внешнюю сферу.

Большая часть используемых на практике САПР ТП базируется на использовании метода индивидуального проектирования. Это обусловлено тем, что такие системы наиболее просты и являются универсальными.

Основное ограничение этих используемых сегодня систем состоит в том, что они не интегрированы в единое информационное пространство ТПП предприятия. Вследствие этого, их использование при комплексной автоматизации либо крайне затруднено, либо невозможно.

Формируемые этими системами ТП представляют собой локальные файлы, что требует наличия специальных интерфейсных программ для «перекачки» ТП в единую базу данных ТПП. При этом состав параметров, описывающих ТП, в

файле ТП и в единой базе данных может не совпадать, что порождает новые, иногда непреодолимые трудности.

Кроме того, как мы уже отмечали, САПР ТП использует в своей работе собственную базу данных. Однако, единая база данных ТПП также содержит информацию об оборудовании, оснастке и инструменте. Возникает ненужное дублирование информации и необходимость обслуживания нескольких баз вместо одной. Возможная же интеграция САПР ТП с единой базой данных может оказаться затруднительной из-за того, что описание данных в САПР ТП не совпадает с описанием в единой базе данных.

Решение этих проблем заключается в том, что САПР ТП должна разрабатываться в среде PDM-системы, что обеспечит интеграцию результатов проектирования в единое информационное пространство (ЕИП).

Проектирование ТП (как проектирование «с нуля», так и проектирование на основе ТП-аналога) выполняется как стандартный процесс построения дерева проекта. Можно добавлять, удалять или заменять узлы дерева, описывать их конкретные характеристики. При этом определяется последовательность операций в маршрутном ТП, последовательности переходов в операционных ТП, выбирается необходимое оборудование, приспособления и инструмент, указываются режимы обработки.

Все эти действия осуществляются с использованием соответствующих разделов базы данных. Например, при добавлении в дерево ТП новой операции, технолог выбирает наименование операции из предлагаемого системой списка. При выборе, например, деформирующего инструмента для перехода «Протяжка», технолог просматривает списки имеющихся бойков и т. д.

Средства настройки системы позволяют реализовать так называемый направленный поиск информации. Этот поиск используется при автоматическом формировании списков данных, которые предлагаются технологу при решении задач выбора оборудования, оснастки технологических переходов и других элементов ТП. Направленный поиск позволяет получать такие списки, которые не содержат ничего лишнего. Так при выборе оборудования в ковочной операции

предлагается только список молотов или прессов (но не фрезерных или электроэрозионных станков), при выборе очередного перехода в штамповочной операции предлагаются только возможные для данной операции переходы и т. д. Пользователь может сам легко связывать те или иные группы объектов для обеспечения направленного поиска.

Выше отмечалось, что проектируемый ТП формируется в виде некоторой информационной модели. Благодаря реализованному в PDM системах объектно-ориентированному подходу, информационная модель ТП не содержит в себе непосредственно тех данных, которые были «взяты» из базы при проектировании ТП (например, наименования операций и переходов, сведения о инструменте, нормативно-справочную информацию и др.). Она содержит в себе только ссылки - специальные указатели на местоположение этих данных. Это позволяет исключить ненужное дублирование информации. Любое изменение элемента базы данных (например, наименования приспособления или инструкции по технике безопасности) приводит к тому, что эта информация автоматически «заменяется» во всех разработанных ТП. Тем самым автоматически обеспечивается соответствие информации, содержащейся в ТП, и информации различных разделов базы данных.

После того, как проектирование ТП завершено, выполняется его нормирование и ТП поступает на утверждение. Для утвержденного ТП генерируется комплект технологических документов, который размещается в классе «Технологическая документация». По запросу пользователя, комплект или отдельные документы могут быть выведены на печать.

Некоторые технологические документы по своему содержанию являются не текстовыми, а текстово-графическими (графическими). К таким документам относятся карта эскизов, карта наладки и карта заказа оснастки.

Формирование графических документов ТП осуществляется в два этапа:

1. Проектирование графического изображения (эскиза) в САД-системе или его сканирование с готового чертежа;

2. Формирование текстовой части документа на соответствующем макете бланка и включение графического изображения в документ в PDM-системе.

Разработка операционного эскиза в CAD-системе может быть выполнена путем непосредственного проектирования (то есть «с нуля») или на основе имеющейся модели (чертежа) изделия. Если ТП содержит несколько операционных эскизов (для последовательных операций), то можно строить текущий эскиз, используя в качестве «заготовки» предыдущий. При этом используется модель текущего состояния заготовки, которая последовательно трансформируется от своего исходного состояния до состояния готовой детали.

Управляющие программы для оборудования с ЧПУ, разработанные в CAD/CAM-системе, также являются «частью» ТП. А именно, каждая управляющая программа (УП) является «частью» соответствующего операционного ТП для станка с ЧПУ. Поэтому УП присутствуют в общей модели ТП и хранятся в классе «Технологические процессы». Кроме того, оформленные на бланках тексты УП хранятся в классе «Технологическая документация».

Таким образом, реализация метода индивидуального проектирования ТП средствами PDM-системы обеспечивает решение поставленной выше задачи - результаты проектирования размещаются в ЕИП и становятся доступными широкому кругу специалистов. Однако, сам уровень автоматизации проектирования ТП, при использовании метода индивидуального проектирования, остается невысоким. Поэтому проблема синтеза ТП с применением методов искусственного интеллекта по-прежнему является актуальной.

Особенность прежних систем синтеза ТП состояла в том, что они требовали описания детали на входе системы. Это описание было трудоемким и могло содержать плохо диагностируемые ошибки. Написание маршрутного ТП по чертежам вручную занимало у опытного технолога *меньше времени, чем описание детали для САПР ТП*. Поэтому практическая ценность систем синтеза была ограничена.

Сегодня, с учетом использования CAD-систем для автоматизации конструирования, геометрия требуемой детали может быть получена из CAD-системы «бесплатно». Однако, описание получаемой CAD-модели не содержит набора технологических признаков, необходимых для проектирования ТП. Поэтому нужна специальная программа («Геометрический анализатор»), которая на основании CAD-модели формировала бы технологическое описание детали. Геометрический анализатор должен строиться на основе методов искусственного интеллекта, распознавания образов и использования баз знаний (рис. 7).

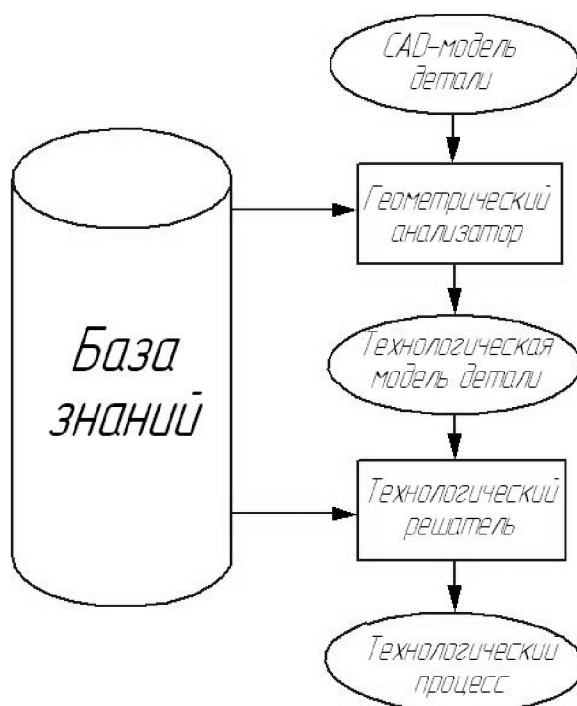


Рис. 7. Общая схема проектирования ТП на основе CAD – модели методом синтеза

После программы «Геометрического анализатора» должна работать программа «Технологический решатель», которая, на основании сформированного технологического описания детали, осуществляет непосредственное проектирование ТП методом синтеза. Решение этой задачи также требует применения методов искусственного интеллекта и использования баз знаний. Сегодня разработка методов синтеза ТП носит в основном характер научных исследований. Практическая реализация этих методов позволит обеспечить качественно новый уровень интеграции при решении задач конструкторского и технологического проектирования.

Рассмотрим компьютерное проектирование средств технологического оснащения (СТО). Проектирование различных видов СТО является одной из важных задач, которые решаются в АСТПП. При этом в основном рассматриваются 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, штамповый инструмент 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.

Универсальные средства 3D-моделирования деталей и сборочных единиц, а также средства формирования чертежно-конструкторской документации не являются единственным инструментом CAD-систем. 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 САД-системе приведена на рис. 8.

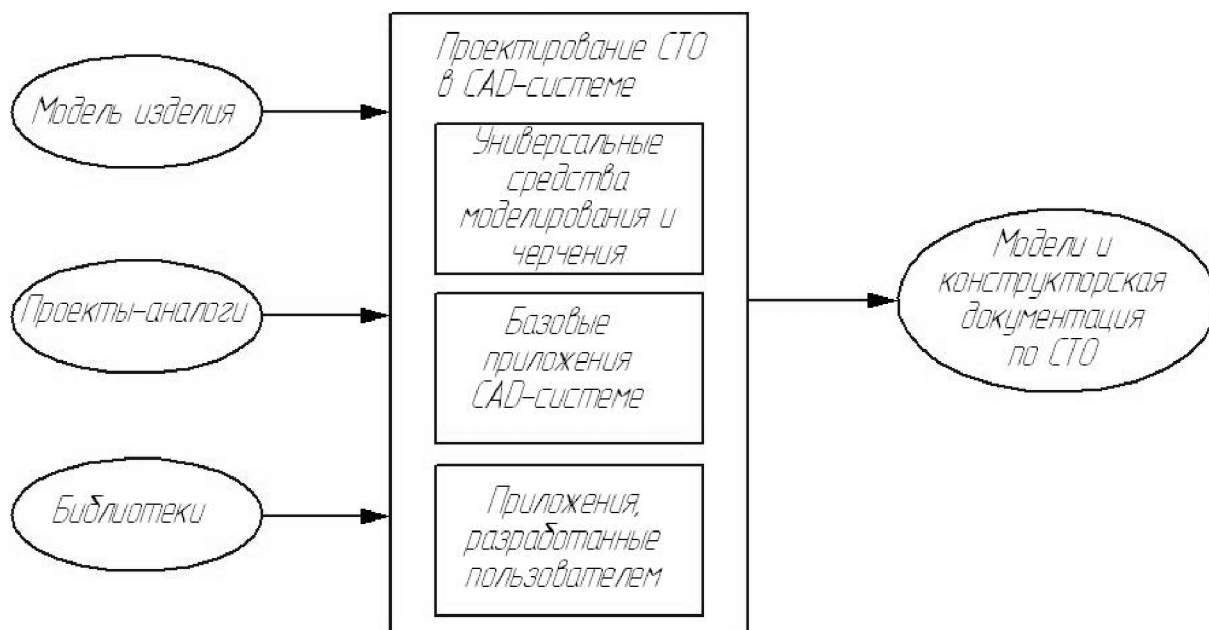


Рис. 8. Схема проектирования СТО в САД – системе

Исходные данные для проектирования поступают в виде 3D-моделей изделий (деталей). Если модель была создана в другой САД-системе, то она принимается через один из имеющихся интерфейсов. После чего проводятся операции проверки геометрии. Затем производятся операции по отработке конструкций на технологичность.

Обработка изделия на технологичность подразумевает использование САЕ-систем. Использование САЕ-систем позволяет провести полный и всесторонний анализ технологического процесса изготовления детали. При этом устанавливаются или уточняются все технологические параметры проектируемой технологии. Использование САЕ-систем в большинстве случаев подразумевает необходимость корректировки геометрии проектируемого изделия. Поэтому



использование CAE-систем в большинстве случаев осуществляется совместно с CAD-системами.

В качестве примера рассмотрим проектирование пресс-форм. После завершения работы с моделью изделия (проработки вопроса технологичности его изготовления), 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 разреза (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 разреза.

Команда построения наружных и внутренних линий разреза работает в автоматическом или интерактивном режиме. Поверхности разреза также могут быть созданы автоматически. При интерактивном их построении разрешается

использовать любые операции системы CAD 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.

Следующим этапом является проектирование конструкции пресс-формы. Задачу можно решать двумя способами: стандартными средствами моделирования деталей и сборочных единиц, или с использованием специализированных приложений.

Работая со специализированными приложениями, конструктор оснастки может использовать не только стандартные каталоги деталей пресс-форм, но также создавать, вести и использовать свои собственные нормали. PDM-система должна обеспечивать 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.

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. Для проектирования электродов пользователем сначала определяется 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. 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 электрод.

После создания моделей электродов можно полностью автоматически создать необходимые чертежи. 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

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.

Таким образом, при проектировании СТО (формообразующей оснастки инструмента) в САЕ/CAD системах используются как универсальные CAD-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 - САЕ/CAD системы автоматически проводит соответствующие изменения по всем этапам процесса проектирования.

Форма деформирующего инструмента, используемого для современных, высокотехнологичных деталей, как правило, является серьёзным ограничением для изготовления деформирующего инструмента с помощью режущих станков с ручным управлением. С другой стороны использование станков с ЧПУ требует написания управляющих программ (УП).

Ручное составление 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 CAD/CAM-системы. Рассмотрим (на примере фрезерной обработки), какие средства для автоматизации предоставляет CAD/CAM системы.

Модели обрабатываемых деталей могут быть либо построены в CAD/CAM системе, либо приняты через один из имеющихся интерфейсов. При программировании обработки деталей системы обеспечивают 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;
- 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;
- 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

последняя черновая обработка, потом получистовая обработка поверхности, потом чистовое фрезерование контура.

Еще один важный вопрос - методы 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. Как было отмечено выше, разработка постпроцессоров выполняется с помощью специального генератора.

Данный генератор должен быстро и эффективно создавать постпроцессоры для любых видов оборудования с ЧПУ - фрезерных обрабатывающих центров, многокоординатного оборудования, электроэрозионных и токарных станков. Постпроцессоры представляют собой автономные программные модули, входом которых является описание траектории инструмента в стандартном формате CLDATA (Cutter Locations DATA - данные о положении инструмента).

Наиболее передовые идеи в области проектирования постпроцессоров 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;

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.

Рассмотрим процесс изготовления литейных форм с помощью технологий быстрого прототипирования.

Отличительной чертой современного быстрого литья является не само литьё металла (все способы которого известны давно), а способы получения выплавляемой (выжигаемой) модели и литейной формы.

Технологии быстрого литья позволяют произвести единичный экземпляр прототипа, создать уникальную продукцию в рекордно сжатые сроки (в течение дней, а не месяцев — как по традиционной технологии). Это чрезвычайно важно при разработке опытных изделий, особенно сложной конфигурации. Но, как уже говорилось, зачастую при создании новой продукции конечное изделие сильно отличается от прототипа или первой версии. Литейная оснастка, изготовленная для производства первого прототипа практически не используется для получения последующих версий изделия. В этом случае технология Rapid Prototyping оказывается не только выгодной с точки зрения сокращения сроков изготовления детали, но и рентабельной.

Получение выжигаемых моделей и литейной оснастки основано на применении RP (Rapid Prototyping) технологий – технологий быстрого



прототипирования, которые могут быть разделены на две группы субтрактивные и аддитивные.

К субтрактивным (отнимающим, удаляющим в ходе обработки материал) относятся токарное, шлифовальное и др. оборудование и методы обработки, удаляющие материал из заготовки.

Более продвинутый подход - аддитивное (add - прибавлять) прототипирование, при котором формообразующая жидкость, листовая или мелкодисперсный порошок материал последовательно фиксируются на локальных участках и уровнях синтезируемого объекта, выстраивая его область за областью. Корни аддитивных технологий берут начало в 19 веке, когда был запатентован первый слоистый метод создания шаблонов для производства рельефных топографических карт, используемых военными ведомствами для получения макетов местности. Но распространение эти методы получили лишь во второй половине прошлого столетия. В 1972 году на фирме Mitsubishi был разработан процесс формирования трехмерных топографических карт с применением фотополимеризующейся резины. А в 1974-м с помощью аддитивных методов впервые начали изготавливать объекты, поверхности которых трудно сфабриковать машинной обработкой: пропеллеры самолетов, трехмерные кулачки со сложными профилями, лекала для дыропробивных прессов и т.п.

В начале 70-х был предложен порошковый процесс, имеющий много общего с современными лазерными методами поверхностного синтеза. При формировании объекта этим методом мелкие частицы подаются к матрице либо самотеком, под действием магнитостатической или электростатической силы, либо с помощью сопла. Лазерным, электронным или плазменным пучком частицы локально нагреваются, образуя, в результате сцепления друг с другом, непрерывный слой. Для увеличения силы связи частиц можно использовать несколько синхронно работающих источников тепла, например лазеров. Правда, для формирования прототипов с помощью этого метода материал должен быть плавким, хотя бы частично.

В настоящее время известно свыше 30 различных процессов аддитивного прототипирования, среди которых наиболее успешно проработаны следующие:

- стереолитография (Stereo Lithography, STL);
- сплавляющее экструдерное осаждение (Fused Deposition Modelling, FDM);
- баллистическое осаждение частиц (Ballistic Particle Manufacturing, BPM);
- многослойное изготовление объектов (Laminated Object Manufacturing, LOM);
- селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS).

Перечисленные технологии наиболее активно продвигаются на мировой рынок, поэтому они заслуживают подробного рассмотрения, тем более что пока трудно прогнозировать, какие из них станут ключевыми.

**Стереолитография** - самая известная технология трехмерной печати. Стереолитографическое оборудование на мировом рынке широко представлены фирмами 3D Systems (США) [18, 19], CМЕТ, D-МЕС, Mitsui, Teijin Seiki (Япония), Vestro Optical Systems (EOS), Fockele S Schwarze (Германия). В России разработана экспериментальная установка и выпускается стереолитографическая система ЛС-250. Общеизвестный лидер в области стереолитографии - компания 3D Systems. Типичная установка фирмы состоит из четырех основных блоков: процессора построения сечений, управляющего процессора, камеры синтеза и лазерного блока (рис. 23).

Процессор построения сечений преобразует данные файла модели на стандартном языке высокого уровня STL (Stereolithography Text Language), используемого в большинстве устройств, в данные совокупности послойных сечений с заданным шагом, помещаемые в SU-файл (машинно-зависимый двумерный формат векторных данных управления лучом лазера). По данным этого файла управляющий процессор на протяжении всего процесса синтеза контролирует перемещения механических узлов устройства (элеватора, системы зеркал, тральщика и т. п.).

Камера синтеза представляет собой резервуар, заполняемый жидким фотоотверждаемым полимером. Внутри него по командам управляющего процессора в вертикальном направлении перемещается опорная платформа (эlevator). В исходном состоянии зазор между рабочей поверхностью элеватора и поверхностью жидкого полимера равен толщине первого слоя синтезируемого объекта (рис. 9).

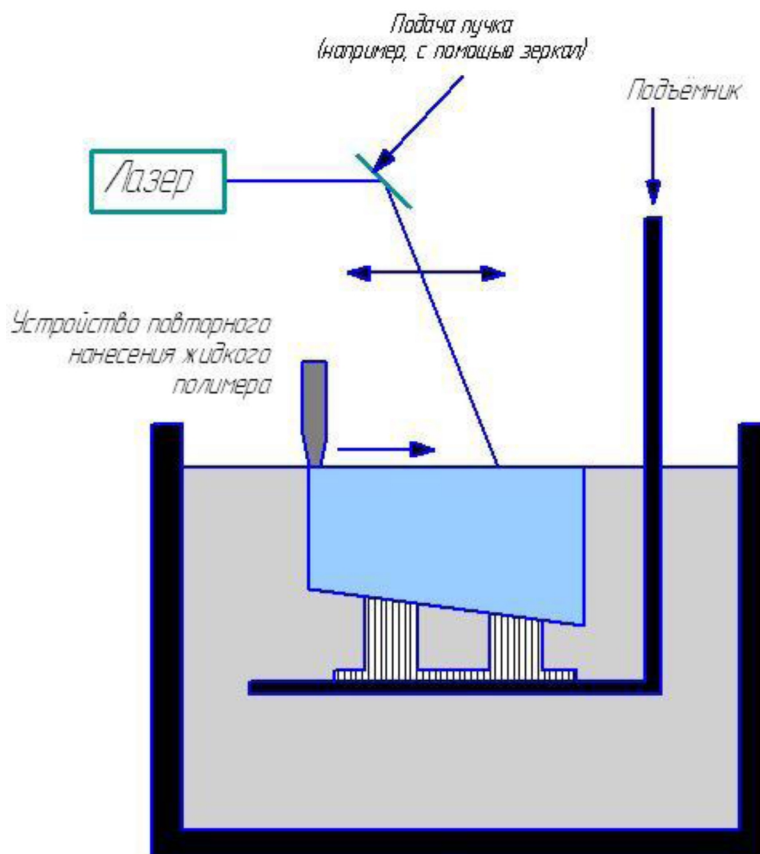


Рис. 9. Схема стереолитографической установки

С началом синтеза лазерный луч сканирует поверхность полимера в соответствии с текущими данными сечения модели. Фотополимерная жидкость под действием лазерного излучения переходит в твердую фазу, причем для этого не требуется большой энергии. После того, как лазерный луч полностью отсканирует первый слой, эlevator опускается на один уровень и процесс сканирования повторяется. По завершении синтеза заготовка модели удаляется из резервуара и для обеспечения заданной прочности обрабатывается мощным УФ-излучением.

Для поддержки выступающих фрагментов модели в ходе формирования последующих уровней используются опорные элементы, образуемые точечной лазерной засветкой фотополимера. После завершения синтеза объекта эти элементы удаляются.

FDM-процесс предусматривает протягивание обжимными роликами через экструдер диаметром менее 0,178 мм нити из стирол-бутадиен-акрилонитрила (СБА), поликарбоната, воска или эластомера (рис.10). Нить при этом нагревается, переходит в полужидкое состояние и наносится на матрицу формируемого трехмерного объекта в ходе построчного сканирования экструдером. Компонировочное вещество, осаждаясь на матрице объекта, быстро затвердевает при температуре окружающей среды. Процессор FDM-системы управляет перемещением головки экструдера по трем осям и регулирует температуру нагрева подаваемого материала.

Особенность FDM-системы - прецизионный нагрев материала до температуры, лишь незначительно превышающей температуру его затвердевания. Во многих FDM-устройствах используются несколько бобин с различными по цвету или составу нитями, причем сменой бобин также управляет процессор. Время смены не превышает 1 мин. Достоинство FDM-систем - безотходная работа, не требующая фильтрации токсичных газообразных продуктов (рис. 10).

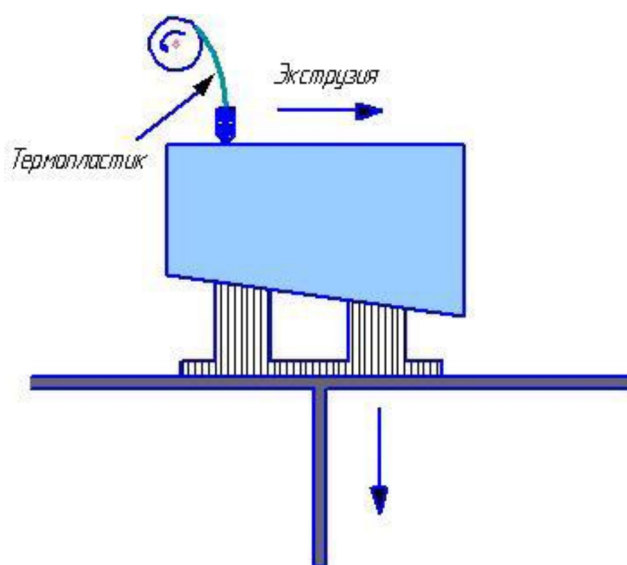


Рис. 10. Схема FDM установки

Формирование трехмерного, спроектированного САПР объекта с помощью FDM-системы сводится к преобразованию файла модели детали в STL-формат и трансформированию STL-описания моделируемого объекта в набор данных, характеризующих послойные поперечные сечения требуемого разрешения. Эти данные транслируются затем в файл машинных команд SML-формата (Stratasys Modeling Language), по которым и осуществляется синтез.

ВРМ-технология по сути аналогична обычному процессу струйной печати. Реализуется она путем перемещения пьезоэлектрической головки, выбрасывающей на поверхность синтезируемой модели крошечные капли расплавленного нетоксичного цветного термопласта, закрепляющиеся на этой поверхности. Для получения гладкой поверхности иногда применяется вторая, нагревающая головка. При синтезе объекта с выступающими формами используется специальный связующий материал, который поддерживает их на стадиях формирования объекта, а затем легко удаляется с помощью растворителя. Достоинства ВРМ-технологии - дешевизна, малые габариты ВРМ-системы, относительно низкое энергопотребление, отсутствие системы вентиляции. Это - достаточно новая технология, и ВРМ-платформы пока выпускает лишь фирма ВРМ Technology, владеющая большинством патентов на нее. Поэтому сейчас отмечается лишь один недостаток этой технологии - низкая производительность ВРМ-систем.

ЛОМ-технология - результат развития слоистых методов формирования шаблонов. Заключается она в послойном вырезании по заданной программе сечений трехмерной модели из супертонких листовых материалов с помощью лазера или прецизионной фрезы и последующем склеивании их друг с другом. Разрешающая способность ЛОМ-процедуры уже сейчас может достигать 50 мкм. По мере уменьшения толщины листовых материалов и совершенствования механизмов прецизионного позиционирования резца этот показатель может быть доведен до 10 мкм. Получить такое разрешение с помощью других технологий быстрого прототипирования пока нельзя из-за трудностей формирования лазерного пучка, жидкостной или порошковой струи малого диаметра, а также

жидкого либо порошкового слоя малой толщины. Другие достоинства LOM-метода - возможность создания твердотельных объектов с размерами, недостижимыми пока для других технологий, и отработанность механических компонентов на устройствах другого назначения. Кроме того, при LOM-синтезе применяются разнообразные нетоксичные материалы (металл, пластмасса, керамика) более чем 60 цветов и оттенков. Когда вертикальным разрешением можно поступиться в пользу увеличения скорости синтеза, допускается применение более толстых листовых заготовок.

Современная SLS-технология основана на принципе послойного формирования трехмерного объекта путем выборочного спекания металлического или неметаллического порошка под воздействием управляемого процессором луча, как правило,  $\text{CO}_2$ -лазера. В этой технологии широко используются материалы, вязкость которых при высокой температуре уменьшается, - поликарбонатные пластмассы, поливинилхлорид, нейлон, металл, керамика, воск и др. Неспекшийся порошок используют повторно для формирования последующих уровней изделия (рис. 11).

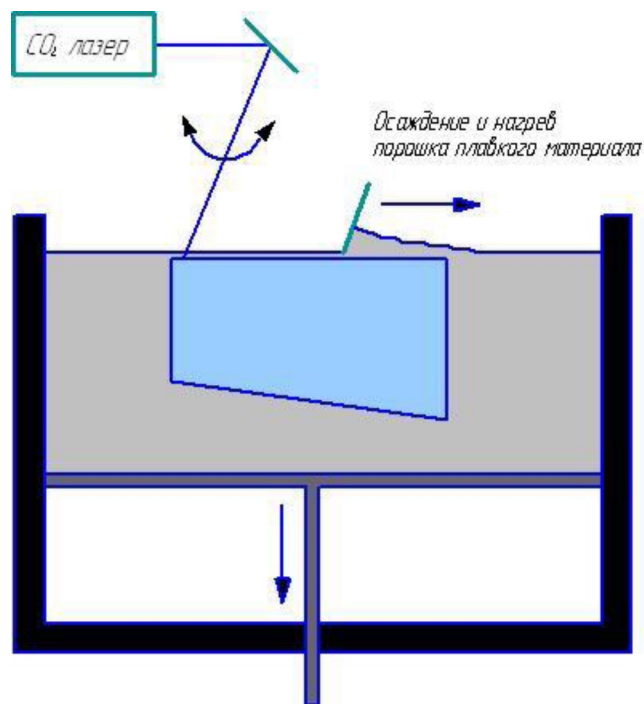


Рис. 11. Схема селективного лазерного спекания порошка

Порошкообразное сырье в последнее время все чаще получают посредством воздействия на нитевидную заготовку из требуемого материала сверхмощным электромагнитным импульсом длительностью  $10^{-7}$ - $10^{-6}$  с, энергия которого в два-три раза превышает энергию связи атомов разрушаемого вещества. В результате формируется мелкодисперсный порошок со средним размером частиц от 10 мкм до 20 нм и высокой поверхностной энергией (100 Дж/г для алюминиевой пудры с характерным размером частиц 20 нм). Кроме того, деформация кристаллической решетки, вызываемая "электровзрывом", образование химических связей молекул металла и нейтральных газов, появление вакансий и атомов внедрения приводят к возникновению "избыточной" энергии наночастиц. Высокая энергонасыщенность наночастиц обуславливает их высокую активность при спекании, а это, в свою очередь, позволяет существенно снизить температуру синтеза. Основные проблемы SLS-технологии:

- вероятность неконтролируемого закрепления на поверхности изготавливаемого оригинал-макета лишних частиц порошка в процессе загустения исходного материала;
- шероховатость наклонных поверхностей синтезируемых объектов, появление ступенек при послойном формировании;
- необходимость фильтрации токсичных газов, образуемых в процессе синтеза, вследствие чего сегодня все известные SLS-системы оснащены фильтрующим оборудованием.

В решении указанных проблем наиболее существенно продвинулись фирмы DIM (США) и EOS (Германия), широко реализующие SLS-технологию на установках собственного производства. В России исследования этой технологии интенсивно ведутся в лаборатории технологических лазеров самарского филиала ФИАН.

### **Лекция 5: «Виртуальные предприятия и АСТП»**

Понятие «виртуальный», образованное от латинского «virtus» (сила, способность, доблесть) употребляется для характеристики объекта, который, будучи нереальным, «кажущимся», существует в смысле оказываемого им

действия. В области промышленного производства термин «виртуальный» все чаще употребляется для обозначения компьютерных моделей проектируемых изделий, моделей технологических и производственных процессов.

Применение этого термина является оправданным. В самом деле, компьютерная модель изделия не существует, как физический объект, однако воспринимается конструкторами, технологами и другими специалистами, как нечто реальное. Наличие модели изделия является необходимым условием для развертывания процессов подготовки производства, то есть оказывает влияние на реально происходящие действия. Поэтому часто модель изделия или детали называют виртуальным объектом.

То же самое можно сказать о технологических процессах. Выше, при рассмотрении САЕ-систем, приводились примеры компьютерного моделирования процессов горячей штамповки, литья из пластмасс и др. При рассмотрении программирования обработки на оборудовании с ЧПУ возможна имитация (моделирование) процессов обработки деталей, моделирование работы станка с ЧПУ. Анализ виртуального технологического процесса позволяет технологу принимать реальные оптимальные решения.

Производственные процессы управления также могут существовать в виде моделей. В качестве примера достаточно привести компьютерные модели потоков производственных заданий.

Таким образом, полномасштабное использование компьютерных технологий приводит к тому, что *все проектные и организационные решения на предприятии принимаются сначала на уровне моделей.* При этом реальные объекты и процессы становятся своего рода отображением «виртуальных» объектов и процессов во внешнюю среду. Это позволяет говорить о *виртуализации современного производства.*

Понятие «виртуальный» распространилось также на организационные структуры промышленных предприятий. Появился термин «виртуальное предприятие», которое определяется как «кооперирование юридически независимых предприятий или частных лиц для обеспечения услуг (производства)



на основе общего понимания бизнеса (экономических целей)». Иначе говоря, виртуальные предприятия представляют собой группы людей, совместно занимающихся общим бизнесом, независимо от их фактического места работы и местонахождения, пересекая границы предприятий и стран. Они (и предприятия, и люди) могут быстро реагировать на изменения рынка при критически низких затратах с точки зрения традиционного бизнеса.

Более строго виртуальное предприятие определяется следующим образом. Виртуальное предприятие - это временная межпроизводственная кооперация ряда юридически независимых предприятий, которая:

- создается в короткий срок и поддерживается с помощью современных информационных технологий;
- путем интеграции возможностей участников разрабатывает и производит актуальную продукцию или услуги;
- обходится без новых юридических образований, которые заменяются гибкой координацией.

Основное отличие виртуального предприятия от обычного заключается в том, что цель обычного предприятия - обеспечить себя такими заказами, которые бы в наибольшей степени соответствовали его возможностям и обеспечили наибольший доход, то есть заказы подбираются под имеющиеся ресурсы. Например, предприятие, основной продукцией которого являются измерительные приборы, будет стараться искать заказы на продукцию этого вида. Цель виртуального предприятия в отличие от обычного - оптимальным образом подобрать ресурсы под существующий заказ (запрос рынка). Таким образом, для виртуального предприятия во главу угла ставится выполнение запроса рынка, тогда как для обычного - возможности и ресурсы предприятия.

Виртуальные предприятия - это постоянный поиск наиболее выгодных и надежных партнеров для производства нужных изделий. Виртуальные предприятия могут постоянно перестраивать свою конфигурацию и структуру производственных процессов так, чтобы сохранять максимальную эффективность. Благодаря своей способности создавать и использовать самые

новаторские идеи при меньших затратах и в более сжатые сроки, они сегодня, в развитых странах, уже составляют серьезную конкуренцию крупным традиционным предприятиям.

Создание и функционирование виртуальных предприятий, как организационных структур, возможно только при условии использования современных информационных технологий, методов компьютерной проектирования и изготовления, компьютерной поддержке всех этапов жизненного цикла производимых изделий.

Существует четыре типа организационных структур виртуальных предприятий:

1. Организатор (или организаторы) виртуального предприятия не принимает непосредственного участия в производстве. Его задача - выпуск на рынок конкретного продукта в кратчайший срок. Для этого организатор осуществляет подбор производителей и налаживает связи между ними (связывает производителей в сети), а также реализует функции продаж и маркетинга. Создаваемые сети производителей носят название *активных сетей*;
2. Организатор не только подбирает партнеров для активной сети, но и участвует в ряде производственных процессов, стремится управлять подбором заказов. Он стремится также занять звенья цепочки производства ценностей, по тем или иным причинам оставленные крупными предприятиями. Расширяя сферу деятельности, организатор приобретает большую устойчивость по отношению к изменениям рынка;
3. Организатор создает определенную информационную и управленческую среду для включения производителей в активные сети. Для этого могут использоваться, например, средства Internet. Тем самым создаются предпосылки для того, чтобы в короткий срок построить нужную активную сеть, так как партнеры уже имеют опыт взаимных контактов и общие установки для совместной работы. В таких виртуальных предприятиях могут быть реализованы крупные проекты промышленного производства.

Создаваемые информационно-управленческие структуры могут превратиться в настоящие инновационные пространства, где продавцы, поставщики и представители родственных областей будут обмениваться информацией о потребностях, технике и технологиях.

4. В тех отраслях, где основная часть производства осуществляется с помощью обработки информации и знаний, благодаря современным информационным технологиям возникают структуры, которые можно назвать виртуальными рынками. Отношения между участниками этих предприятий возникают только через использование специальных информационных систем.

В качестве примера виртуального рынка можно привести американский телекоммуникационный концерн MCI, который создал координируемую с помощью свода правил сеть из 9000 свободных инженеров-рационализаторов. MCI тестирует и оценивает рационализаторские предложения, после чего оформляет перспективные достижения в готовые для продажи на рынке услуги. Тем самым с помощью сети MCI создает для себя доступ к рынку идей и инноваций, не имея при этом своего собственного рационализаторского отдела.

В результате деятельности виртуальных предприятий в мире формируется более динамичный, быстро развивающийся глобальный рынок, отличающийся широким разнообразием товаров и услуг.

Рассмотрим виртуальное предприятие, которое относится ко второму из описанных выше классов. Последовательность действий по созданию такого предприятия включает в себя следующие этапы:

- проектирование процессов,
- привязка процессов к ресурсам, требующимся для их поддержки;
- привлечение ресурсов других компаний по контрактам;
- эксплуатация виртуальной организации.

**Проектирование процессов.** Первый шаг заключается в том, чтобы описать все процессы, требующиеся для производства продукта и/или обеспечения намеченных услуг. Это можно сделать с помощью методологии SADT и диаграмм

IDEF0. В данном случае они используются для построения новых процессов. Располагая этими инструментами, можно описать графически каждую функцию, участвующую в процессе и все документы, которые будут использоваться.

Затем следует определить ресурсы, необходимые для поддержки этих процессов, оценить суммарное время, требующееся для их выполнения и стоимость процессов. Когда все процессы полностью определены и оценены, они используются при составлении технико-экономического обоснования планируемого предприятия, а команда разработчиков получает описание того, как создаваемое предприятие должно функционировать.

**Привязка к ресурсам.** После того, как совокупность процессов полностью спроектирована, каждую функцию в каждом процессе необходимо привязать к определенному ресурсу. Например, некоторые функции, требующиеся в цепочке поставок, можно привязать к складу. На этом уровне вопрос о том, какой именно это будет склад и где он располагается, пока не стоит. Цели этого этапа заключаются лишь в том, чтобы определить необходимость склада и выбрать функции, которые он должен выполнять.

По завершении этапа в распоряжении предприятия оказывается список необходимых ресурсов, а для каждого ресурса - список функции, которые он должен будет выполнять, вместе с описанием входа, описанием выхода и спецификациями качества обслуживания.

**Привлечение ресурсов по контрактам.** Следующий этап заключается в том, чтобы конкретизировать ресурсы. Применительно к виртуальному предприятию это означает, что необходимо найти производственные ресурсы вне структуры предприятия-организатора. При этом необходимо, опираясь на сравнение результатов или обязательств различных поставщиков, выбрать наилучшего поставщика для каждого ресурса с учетом ранее составленных спецификаций функций.

В поиске поставщиков необходимых услуг большая роль принадлежит Internet. Internet предоставляет универсальную коммуникационную и презентационную среду, которая позволяет эффективно и при низких затратах

давать информацию о предоставляемых услугах, а также осуществлять поиск нужной информации.

Необходимые ресурсы, как правило, привлекаются на контрактной основе и оплачиваются по мере предоставления услуг. Одним из важнейших преимуществ такой организации является резкое сокращение размера первоначальных финансовых вложений (стартового капитала). Кроме того, организаторы виртуального предприятия опираются на персонал, инструменты и методологии, которые *уже имеются*. Это может способствовать резкому снижению общих капиталовложений, а также существенно сокращает сроки выпуска планируемой новой продукции.

**Эксплуатация созданного предприятия.** После того как все ресурсы определены, самым насущным вопросом становится способность руководства предприятия эксплуатировать сложный комплекс ресурсов, подконтрольных множеству различных и независимых организаций. Важнейшую роль в этом призваны сыграть PDM-системы и технологии Workflow. Инструменты Workflow могут поддерживать межорганизационные процессы и автоматически передавать каждую функцию, запланированную в соответствии с описанием процесса, надлежащему ресурсу для исполнения, сопровождая ее при этом надлежащей входной информацией.

При эксплуатации виртуального предприятия необходимо осуществлять контроль за тем, как каждый субъект выполняет свои контрактные обязательства. Здесь также могут помочь инструменты Workflow, решающие эту задачу при помощи механизмов регистрации, фиксирующих каждое событие с указанием даты, времени и участника. Такой регистрационный журнал служит основой для мониторинга и управления качеством услуг, предоставляемых каждым субъектом в цепочке.

Построение виртуальных предприятий, относящихся к третьему из описанных выше классов, имеет свои дополнительные особенности. Они заключаются в том, что организаторы создают и поддерживают специальную информационно-управленческую среду для вовлечения участников виртуальных

предприятий в активные сети. В простом случае речь идет о чисто информационной сети отношений, которая рождается из личных связей между сотрудниками различных предприятий. При более глубокой организации возможно централизованное распространение информации, проведение специальных совещаний совместные инвестиции и др.

Идеальный тип виртуального предприятия возникает тогда, когда на базе созданной информационно-управленческой среды вновь и вновь формируются ориентированные на заказы, временно ограниченные активные сети (рис. 12). При этом число партнеров в информационно-управляющей среде может быть намного больше, чем в активной сети, что приводит к новым конфигурациям деятельности специалистов предприятий.

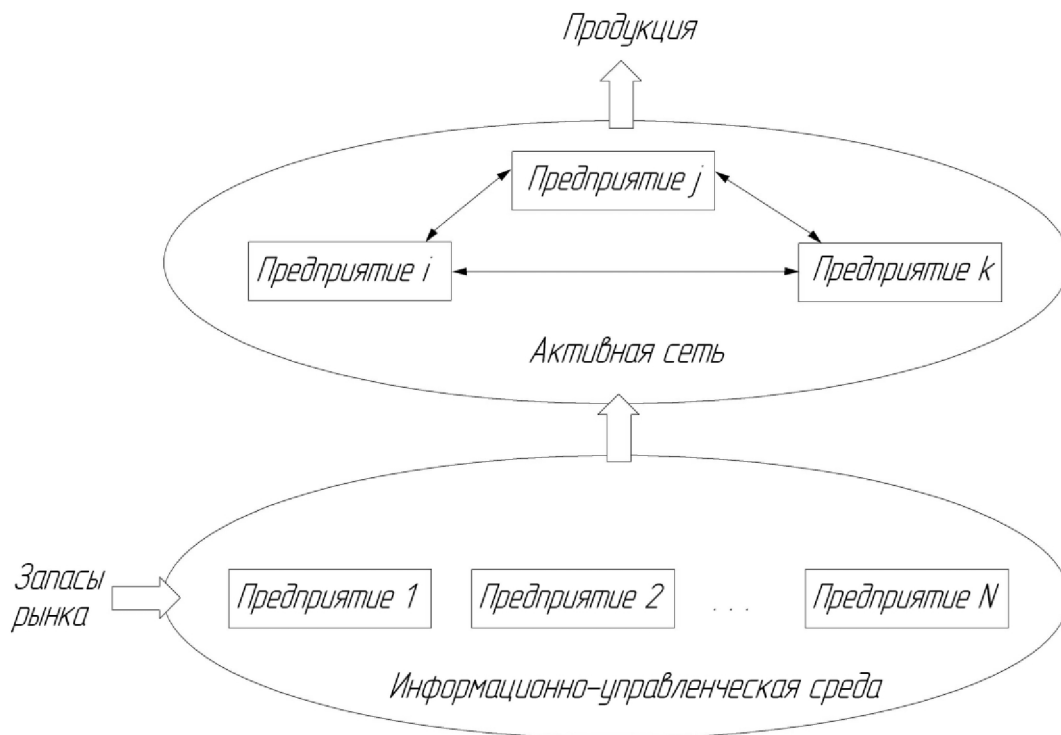


Рис.12. Схема формирования активных сетей при создании виртуальных предприятий

Виртуальные предприятия сегодня рассматриваются как путь к оптимизации промышленного производства. Это рассмотрение приводит к определенной системе взглядов на то, как обычное предприятие должно использовать свои возможности.

Основными понятиями данной системы взглядов являются интеллектуальные и физические ресурсы предприятия. Под *интеллектуальными ресурсами* понимается совокупность опыта предприятия при выпуске конкретных видов продукции, внедренные передовые технологии и рационализаторские предложения, интеллектуальный уровень и знания специалистов предприятия. Интеллектуальные ресурсы - это тот потенциал, который трудно копировать реальным и потенциальным конкурентам. Под *физическими ресурсами* понимается структура и состав производственных подразделений предприятия, виды и количество имеющегося технологического оборудования.

Оптимизация промышленного производства на предприятии достигается за счет рационального использования его интеллектуальных и физических ресурсов в составе виртуальных предприятий. Иными словами, чтобы обеспечить оптимальное использование своих возможностей, предприятие должно осуществлять менеджмент интеллектуальных и физических ресурсов, который позволит, несмотря на определенную структурную жесткость и инерционность предприятия, быстро реагировать на динамику изменений рынка.

С помощью менеджмента интеллектуальных ресурсов можно быстро перестраиваться в соответствии с изменением рыночных запросов, а с помощью менеджмента физических ресурсов - осуществлять более полную загрузку производственных подразделений. Участвуя в виртуальных структурах, предприятие использует свои наиболее сильные стороны, а «неудобные» для себя производственные задачи передает партнерам. Кроме того, общаясь с партнерами, предприятие приобретает доступ к новым интеллектуальным ресурсам.

Рассмотрим пример виртуального предприятия, которое специализируется на проектировании и изготовлении изделий из пластмасс сложной геометрической формы. К таким изделиям относятся:

- пластмассовые корпуса и другие детали различных приборов и устройств (телефонные аппараты, пейджеры, системы охранной сигнализации, автомобильные радары и антирадары, кассовые аппараты, сетевые фильтры, электробытовые приборы и др.);

- пластмассовая тара и упаковка (пластиковые банки и бутылки для пищевых продуктов, косметики, моющих средств и др.);
- детские пластмассовые игрушки;
- пластмассовые изделия спортивного инвентаря и т. д.

Последовательность производственных задач, которые необходимо решить при выполнении заказа, включает в себя следующие этапы: прием заказа, разработка дизайна изделия, конструирование изделия проектирование, формообразующей, оснастки, изготовление спроектированной оснастки, опытное изготовление изделия, серийное изготовление изделия.

Однако конкретный заказ не обязательно требует выполнения всех этапов. Например, заказчик может представить готовые данные по изделию, так что требуется выполнить лишь этапы, начиная с проектирования формообразующей оснастки. В другом случае, может не требоваться изготовления изделия, так как заказчик берет эту функцию на себя. Таким образом, «входной точкой» для заказа может служить любой из этапов работ. То же самое имеет место по отношению к «выходной точке» для сдачи результатов работы.

Общий объем работ, связанных с приемом и выполнением заказов, распределяется между организаторами и другими участниками виртуального предприятия. Организаторы виртуального предприятия берут на себя выполнение следующих функций:

- маркетинг и прием заказов;
- конструкторское проектирование изделий;
- проектирование формообразующей оснастки;
- разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Другие участники виртуального предприятия обеспечивают решение следующих задач.

- разработка дизайна изделий;
- обмер изделий-прототипов на координатно-измерительных машинах;
- изготовление формообразующей оснастки;
- опытное и серийное изготовление изделий.



Подбор участников виртуального предприятия при формировании активной сети выполняется с учетом характеристик конкретного заказа, возможностей и текущей загруженности участников.

Некоторые из производственных задач, решаемых организаторами, могут выполняться также по кооперации. Например, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ может выполняться специалистами предприятия, изготавливающего оснастку.

В сфере ТПП участники виртуального предприятия используют средства и методы автоматизации, описанные в предыдущих главах. Общая схема проектно-технологических работ в ТПП и их связь с задачами планирования и управления производством представлена на рис. 13.

Прием заказа - первая и одна из самых ответственных задач, решаемых организаторами виртуального предприятия. На этом этапе решается принципиальная возможность изготовления изделия, определяются трудоемкость и сроки выполнения работ. Так как виртуальные предприятия, в силу своего положения, должны использовать самые передовые методы и технологии, то работы по приему и предварительной оценке заказов нуждаются в применении соответствующих средств автоматизации.

Переход предприятий на 3D-проектирование с применением САД-систем приводит к тому, что все большая часть заказов поступает в виде 3D-моделей изделий. В таких случаях для приема и оценки заказа используются специальные системы.

Далее системы широко используются менеджерами и инженерами предприятий, производящих сложную формообразующую оснастку. Система позволяет принять заказ в виде трехмерных моделей изделий и при этом сделать необходимые расчеты, оценить заложенные конструктором уклоны, выявить поднутрения и вертикальные поверхности, определить количество формообразующих движений оснастки и их направления. Для этого система автоматически разделяет модель изделия на наборы формообразующих поверхностей, а в режиме анимации производится согласованное перемещение

отдельных частей будущей оснастки друг относительно друга. Результаты анализа могут быть сохранены и переданы через стандартный интерфейс конструктору оснастки для внесения изменений. Согласование изменений и конструктивных решений с внутренними или внешними заказчиками выполняется в реальном времени через Internet.

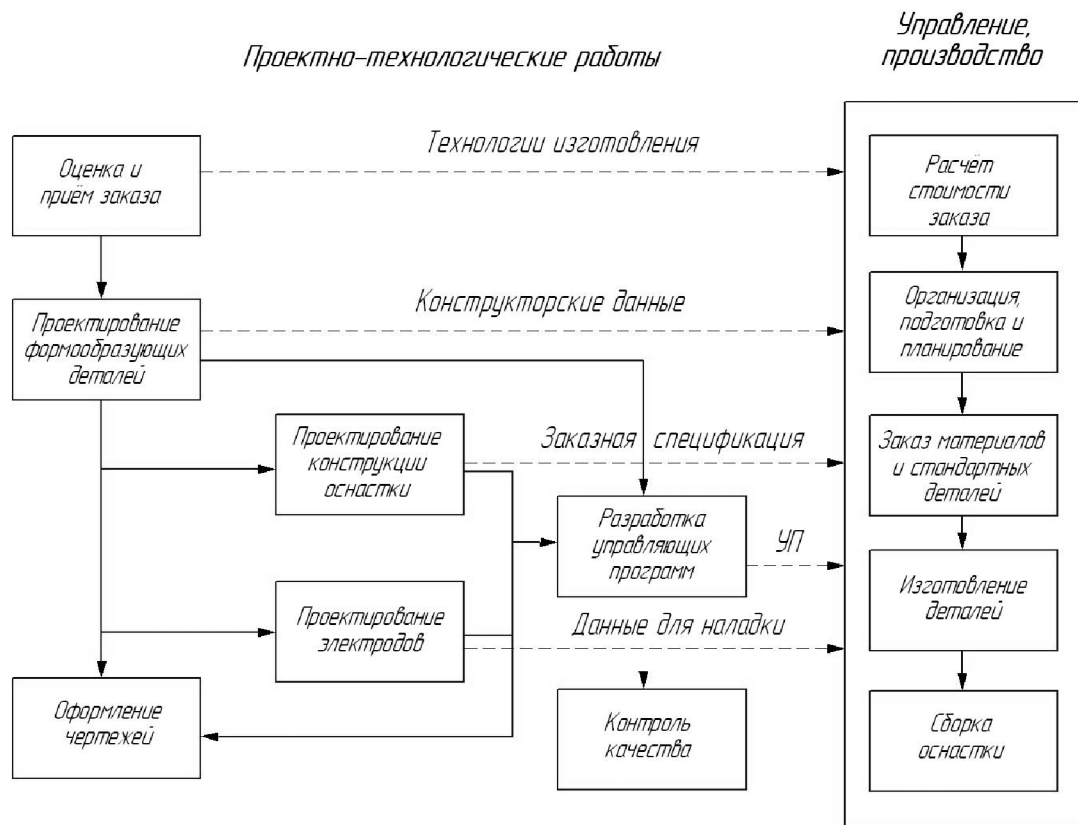


Рис.13. Общая схема проектно-технологических работ на виртуальном предприятии

Таким образом, система позволяет отработать изделие на технологичность, помогает определить реальные сроки и стоимости выполнения заказов. При этом сроки и затраты на проектирование и изготовление сложной оснастки значительно сокращаются.

Еще одна из форм поступления заказа - физический образец изделия-прототипа. При этом задача состоит в том, чтобы путем динамического обмера физического образца на координатно-измерительной машине восстановить его компьютерную модель, после чего выполняется стандартная последовательность этапов проектирования и изготовления изделия. Такой способ получения

информации об изделии называется обратным инженерным проектированием.

Существуют различные типы координатно-измерительных машин с контактным (с помощью щупа) или бесконтактным (с помощью лазера) способом обмера. В частности, высокими эксплуатационными характеристиками обладают координатно-измерительные машины серии Hawk с лазерным способом обмера.

Помимо решения производственных задач, организаторы виртуального предприятия берут на себя функции по созданию единой информационно-управленческой среды для участников виртуального предприятия (напомним, что число таких участников больше, чем число участников активной сети). К этим функциям относятся:

- оперативное информирование участников о ходе работ, выполняемых в активных сетях, о возникающих проблемах и о результатах работ;
- внедрение единых базовых компьютерных средств автоматизации (CAD/CAM-, CAE- и PDM-систем) на предприятиях, участвующих в создаваемых виртуальных структурах. Этим достигается сокращение времени и улучшение качества выполнения заказов, повышение уровня взаимопонимания предприятий-участников;
- регулярное проведение семинаров для специалистов-участников виртуального предприятия с целью их ознакомления с новыми техническими решениями и для обмена опытом;
- размещение технической и презентационной информации в Internet с целью поиска новых заказов и привлечения новых участников.

Учет поступающих заказов и контроль за ходом выполнения работ выполняется в виртуальном предприятии на базе использования PDM систем. На базе этой же системы решаются такие задачи, как накопление банка данных по ресурсам участников виртуального предприятия, подбор участников для объединения в активную сеть, контроль уровня цен по всем видам услуг и др.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие этапы создания нового изделия Вам известны?
2. Объясните следующие понятия: CAD, CAE, CAM, CAIP, PDM, АСУП, АСУТП, CALS, ТПП, СТО, ЕИП, ЖЦИ.
3. Каковы особенности современного предприятия, которые способствуют развитию средств автоматизации?
4. В чём отличие прототипирования индивидуального ТП при использовании PDM-систем от традиционного производства?
5. За счёт чего можно достичь снижения стоимости СТО?
6. Какова типовая структура отдела главного технолога?
7. В чём заключается анализ объекта автоматизации?
8. Что включает понятие IDEF?
9. Зачем современному предприятию необходима ЕИП? На чём основывается ЕИП?
10. Что такое базовая модель данных?
11. Что содержит ЕИП?
12. Что такое дерево выполняемых технологических операций?
13. В чём заключается технологии автоматизации бизнес-процессов?
14. Поясните в чём отличие между методами автоматизированного проектирования ТП?
15. Какова схема проектирования ТП на основе CAD-модели методом синтеза?
16. Опишите схему проектирования СТО в CAD-системе.
17. Назовите основные причины использования станков с ЧПУ в металлургии?
18. Почему для написания ПУ для станков с ЧПУ необходимо использовать САМ-системы?
19. Назовите достоинства использования САМ-систем для проектирования механообработки деформирующего инструмента.
20. Что такое устройство быстрого прототипирования?
21. Какие виды технологий быстрого прототипирования вам известны?
22. Поясните, что означает термин “виртуальное предприятие”? В чём отличие

виртуального предприятия от традиционного?

23. Какие типы организационных структур Вы знаете?

24. Перечислите этапы построения виртуального предприятия.

25. Что такое интеллектуальные ресурсы предприятия? Физические ресурсы?

26. Как осуществляется подготовка производства на виртуальном предприятии?

27. Нарисуйте схему проектно-технологических работ в ТПП.

28. Какие возможности открывает использование предприятия сети Internet?