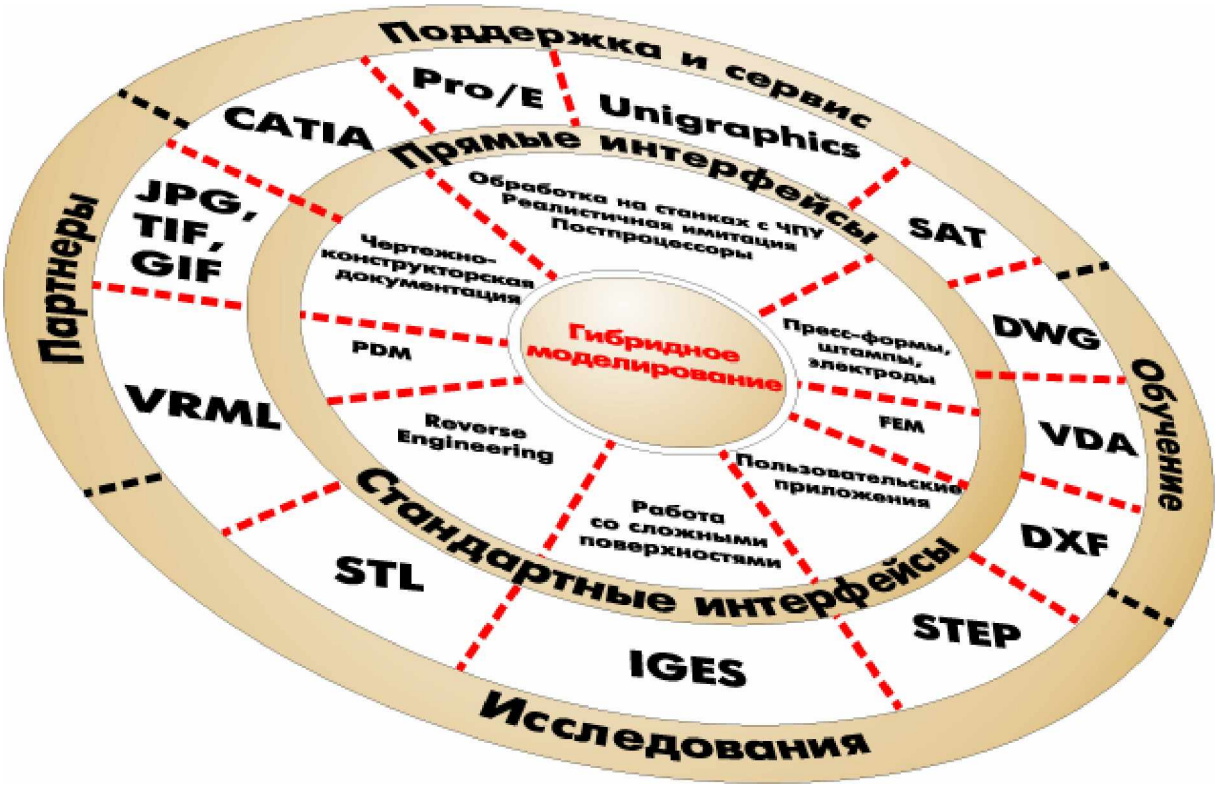
Е. И. Яблочников

Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении



Санкт-Петербург 2002

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный институт
точной механики и оптики (технический университет)

Е.И. Яблочников

Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2002

УДК 658.512.011.56

Е.И. Яблочников. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении / Учебное пособие. - СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2002.- 92 с.

Технологическая подготовка производства (ТПП) является одним из основных этапов создания промышленных изделий. Уровень ТПП сегодня определяет сроки выпуска новой продукции, ее качество и конкурентоспособность. Поэтому особую актуальность приобретают вопросы автоматизации ТПП.

В учебном пособии рассматриваются методы и средства для построения автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) в приборостроении. Показывается роль и место АСТПП на предприятии, приводятся характеристики базовых средств автоматизации – CAD/CAM, CAE и PDM-систем. Рассматривается построение АСТПП как целостной системы на основе организации единого информационного пространства предприятия. Описываются методы компьютерного проектирования технологических процессов, средств технологического оснащения и управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Приводятся сведения о современных организационных производственных структурах – виртуальных предприятиях.

Присвоен гриф УМО «Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптотехники для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 653700 – Приборостроение, специальности 191000 – Технология приборостроения»

Автор благодарит коллектив сотрудников СП ЗАО “Би Питрон” за помощь в подготовке материалов при написании учебного пособия.

© Санкт-Петербургский государственный
Институт точной механики и оптики
(технический университет), 2002
© Е.И.Яблочников, 2002

1. Технологическая подготовка производства в приборостроении

1.1 Промышленные изделия приборостроения и этапы их создания

Приборостроение включает в себя создание любых машин, механизмов, агрегатов и устройств, которые могут быть отнесены к классу приборов. Это различные измерительные, навигационные, медицинские и бытовые приборы, компьютерная техника, приборы систем управления, радиоэлектронные изделия и др. Продукцию современного приборостроения отличают повышенные требования к качеству и точности изготовления.

Любое изделие, которое нужно изготовить (произвести) называется *объектом производства*. На предприятии обычно различают основное и вспомогательное производство. В *основном производстве* изготавливают изделия, которые составляют продукцию предприятия – например, топливно-измерительную аппаратуру, приборы медицинской диагностики или телевизоры. 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.

Процесс создания любого нового изделия основного производства включает в себя ряд последовательных этапов.

1. 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.

2. 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 деталировочные 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).

В настоящее время в конструкторскую документацию могут включаться компьютерные модели деталей и сборочных единиц изделия. Об этом будет сказано ниже.

3. 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.

4. Создание опытного образца. Этот этап имеет своей целью проверку качества принятых констукторских 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.

5. 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.

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.

Этапы создания конкретного 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 Hewlett Packard) 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.

1.2 Функции и проблемы технологической подготовки производства

Кратко перечень функций ТПП описан в предыдущем разделе. Остановимся на некоторых из них более подробно.

Обеспечение технологичности конструкции изделия. Эта задача должна решаться специалистами служб ТПП в тесном контакте с конструкторами изделия. В результате нужно добиться максимально возможого упрощения процессов изготовления деталей изделия и процессов его сборки. При окончательном определении конструкции нужно представлять, какая оснастка понадобится для изготовления той или иной детали, и стараться упростить оснастку за счет допустимых изменений в конструкции. Например, пластмассовый корпус прибора нужно спроектировать так, чтобы пресс-форма для его изготовления была возможно более простой (с меньшим числом линий разъема, без боковых шиберов и т. п.).

Разумеется, упрощения конструкции не должны приводить к ухудшению внешнего вида (дизайна), качества или эксплуатационных характеристик изделия. Поэтому обеспечение технологичности во многих случаях является сложной творческой задачей, требующей оптимального учета многих технических и экономических факторов.

Технологичности конструкции изделия способствуют также унификация и стандартизация. Они дают возможность заимствования или приобретения готовых деталей и узлов изделия. Например, установка в приборе стандартного блока питания избавляет предприятие от затрат на его проектирование и изготовление.

Проектирование технологических процессов. 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 запирания, 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 производ-

ства были разработаны профессором С.П. Митрофановым 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.

Проектирование и изготовление средств технологического оснащения (СТО). В условиях отсутствия автоматизации, длительные сроки проектирования и изготовления 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 индкации 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.

Еще одна важная задача ТПП – **управление процессами ТПП** – будет рассмотрена подробнее позже, когда речь пойдет об автоматизации. Именно автоматизация управления процессами ТПП позволяет обеспечить эффективное комплексное решение всех задач подготовки производства.

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 отечественных приборостроительных 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 в приборостроении 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.

Основные сегодняшние проблемы ТПП в отечественном приборостроении состоят в следующем:

- Проектирование во многих случаях носит ручной характер, применяемые средства автоматизации используются для решения лишь отдельных задач, нет комплексного характера автоматизации;
- Коммуникации между специалистами и службами ТПП осуществляются в основном на бумажных носителях, что приводит к общему замедлению всех процессов ТПП;
- Решение задач обеспечения технологичности конструкции начинается на поздних стадиях проектирования изделия, что приводит к многочисленным изменениям в конструкторской документации;
- Допускается большое число ошибок при проектировании, следствием чего являются значительные финансовые и временные затраты на проведение необходимых изменений;
- Отсутствует эффективная специализация и кооперация с другими предприятиями при решении задач ТПП.

В результате затягиваются сроки запуска новых изделий в производство, неоправданно увеличиваются затраты, качество изделий заметно уступает западным образцам.

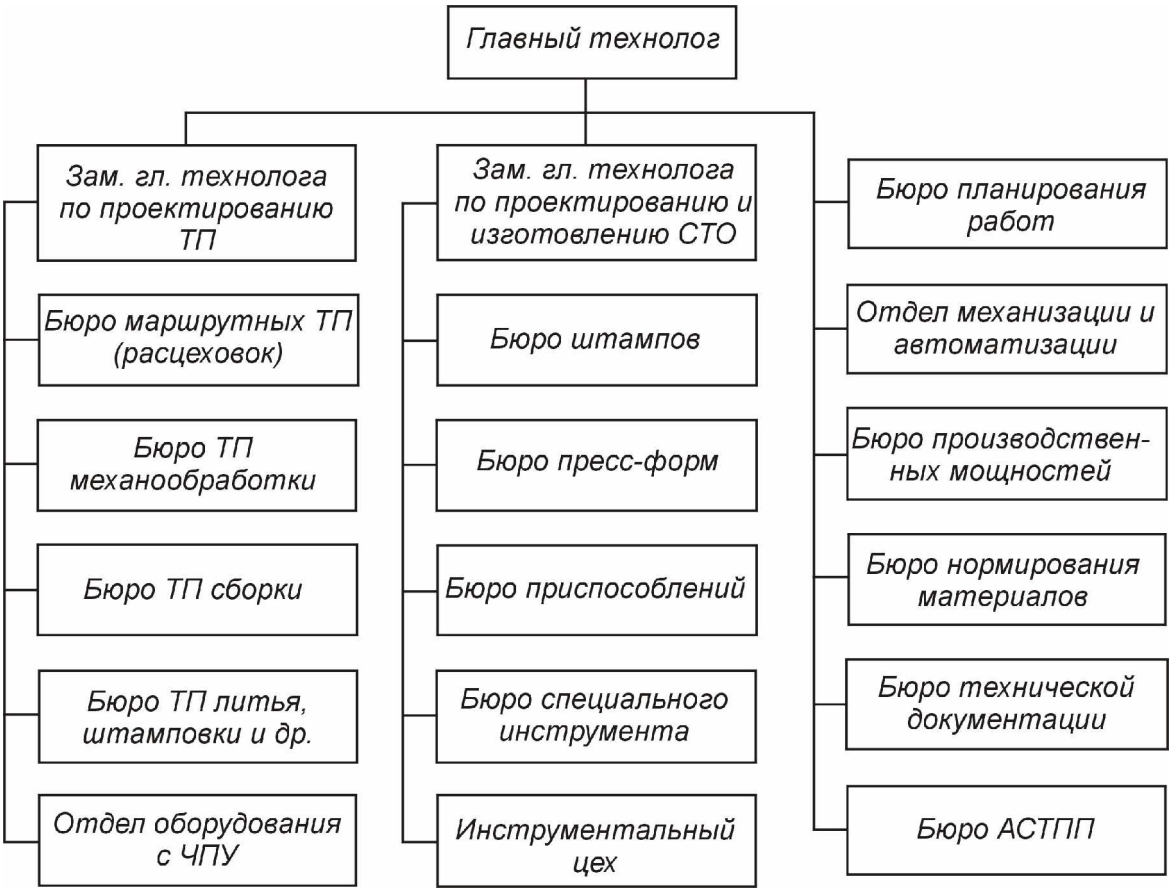


Рис. 1. Структура отдела главного технолога (ОГТ)

Практически все ведущие предприятия приборостроения видят решение большинства проблем ТПП во внедрении компьютерных технологий, создании автоматизированных систем ТПП (АСТПП). На многих из них существенно повышен уровень комплексного решения проектных задач. Информация о спроектированном изделии принимается в электронном виде и является исходными данными для развертывания процессов ТПП. Компьютеризировано решение комплекса задач по проектированию и изготовлению оснастки, выполняется компьютерное моделирование технологических процессов литья из пластмасс, штамповки, обработки на станках с ЧПУ и др. Некоторые предприятия вплотную подошли к решению задачи автоматизации управления процессами ТПП, то есть к построению АСТПП предприятия.

1.3 Принципы построения АСТПП

В нашей стране АСТПП начали создаваться еще в 60-х годах двадцатого века. В разработке теоретических основ построения АСТПП и достижении практических результатов большая роль принадлежит нашим ученым: С. П. Митрофанову, В. И. Аверченкову, Г. К. Горанскому, Н. М. Капустину, Д. Д. Куликову, В. В. Павлову, Б. С. Падуну, В. Д. Цветкову и многим другим. Однако, та вычислительная база, на которой строились АСТПП до начала 90-х годов, резко отличалась от привычных для нас сегодня персональных компьютеров и рабочих станций. Это были большие (по габаритам) электронно-вычислительные машины, занимавшие целые залы, с очень малым по сегодняшним меркам быстродействием и небольшими объемами оперативной и внешней памяти, практически не дающие возможности работы в интерактивном графическом режиме и т. д.

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

1. **Принцип системного единства.** Элементы АСТПП должны разрабатываться как части единого целого, где функционирование элементов подчинено общей цели. Кроме того, должна обеспечиваться

интеграция АСТПП с автоматизированной системой управления производством (АСУП).

2. **Принцип декомпозиции.** Разделение АСТПП на составляющие (подсистемы) должно быть выполнено по наиболее слабым организационным и информационным связям. Правильная декомпозиция уменьшает сложность системы и облегчает условия ее эксплуатации.
3. **Принцип модульности.** Все компоненты АСТПП должны представлять собой логически независимые модули, которые могут использоваться как в автономном, так и в комплексном режиме.
4. **Принцип совместимости.** Все компоненты АСТПП должны обеспечивать возможность их совместного функционирования. Это требует их организационной, информационной и программной совместимости.
5. **Принцип открытости.** На этапе создания АСТПП невозможно предусмотреть все нюансы и перспективы дальнейшего развития производства. Поэтому АСТПП должна быть открыта для модернизации и включения в нее новых решений.
6. **Принцип стандартизации.** В АСТПП должно быть использовано максимальное число унифицированных, типовых и стандартных решений. Это уменьшает затраты на создание АСТПП, повышает надежность ее функционирования.
7. **Принцип эргономичности.** Так как АСТПП является человеко-машинной системой, следует предусматривать удобство работы ее пользователей (правильное разделение функций, удобство и простоту интерфейсов, учет психологических факторов и др.).
8. **Принцип ориентации на новые достижения.** При создании АСТПП должны использоваться последние научно-технические достижения в области методов построения АСТПП, в области методов и средств технологической подготовки производства, а также в области организации производства.

Следует различать целевые и собственные функции АСТПП (рис. 2). Целевые функции соответствуют тем задачам, для решения которых создается АСТПП, а собственные функции – это те задачи, которые должны решаться в АСТПП для обеспечения целевых функций.

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

- Информация о деталях и сборочных единицах изделия;
- Информация о технологических процессах изготовления изделия;

- Информация об используемых средствах технологического оснащения;
- Нормативно-справочная информация;
- Планово-учетная информация.



Рис. 2. Целевые и собственные функции АСТПП

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

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

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

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

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

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

базовым системам для автоматизации управления ТПП – системы класса PDM (Product Data Management). Краткая характеристика таких систем приводится ниже, в гл. 2.

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

Так, в мире существуют организации, считающиеся независимыми экспертами по проблемам CAD/CAM, CAE и PDM. К ним относятся CIMdata, Daratech, Gartner-Group, Dataquest и другие. Эти организации занимаются анализом и изучением тенденций развития CAD/CAM-, CAE- и PDM-систем, разработкой рекомендаций по их выбору. В регулярных отчетах публикуется рейтинг ведущих систем и рекомендуется область их наиболее эффективного применения. При этом используются различные источники данных и методы сбора информации – опросы пользователей, публикации, пресс-релизы фирм-разработчиков. Применяемый метод опеределения рейтинга систем основан на экспертных оценках.

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

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

Процесс создания АСТПП не может быть оторван от других мероприятий по техническому переворужению производства. Если предприятие использует устаревшие технологии и оборудование, трудно ожидать большого эффекта от процессов компьютеризации. Поэтому руководство предприятия должно быть готово к затратам на (пусть постепенное) приобретение современного оборудования с ЧПУ, контрольно-измерительных машин, новых термопластавтоматов, установок для быстрого прототипирования изделий (получение физических образцов по компьютерным моделям), к затратам на освоение и внедрение современных высокоэффективных технологий.

2. Базовые системы автоматизации проектирования и управления в ТПП

2.1 CAD/CAM-системы в ТПП

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

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

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

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

CAD/CAM-системой называется система, которая обеспечивает интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Объединение этих, достаточно различных классов задач в рамках одной системы обусловлено тем, что их решение базируется на использовании единой трехмерной геометрической модели изделия. Общность модели позволяет избежать всех проблем, связанных с передачей данных из одной системы в другую, обеспечивает интегрированное решение проектных задач.

Построение пространственной геометрической модели проектируемого изделия является центральной задачей компьютерного проектирования. Именно эта модель используется в CAD/CAM-системе для дальнейшего решения задач формирования чертежно-конструкторской документации, проектирования средств технологического оснащения, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ (рис. 3). Кроме того, эта модель передается в CAE-системы и используется там для проведения инженерных исследований. По компьютерной модели, с помощью методов и средств быстрого прототипирования, может быть получен физический образец изделия.

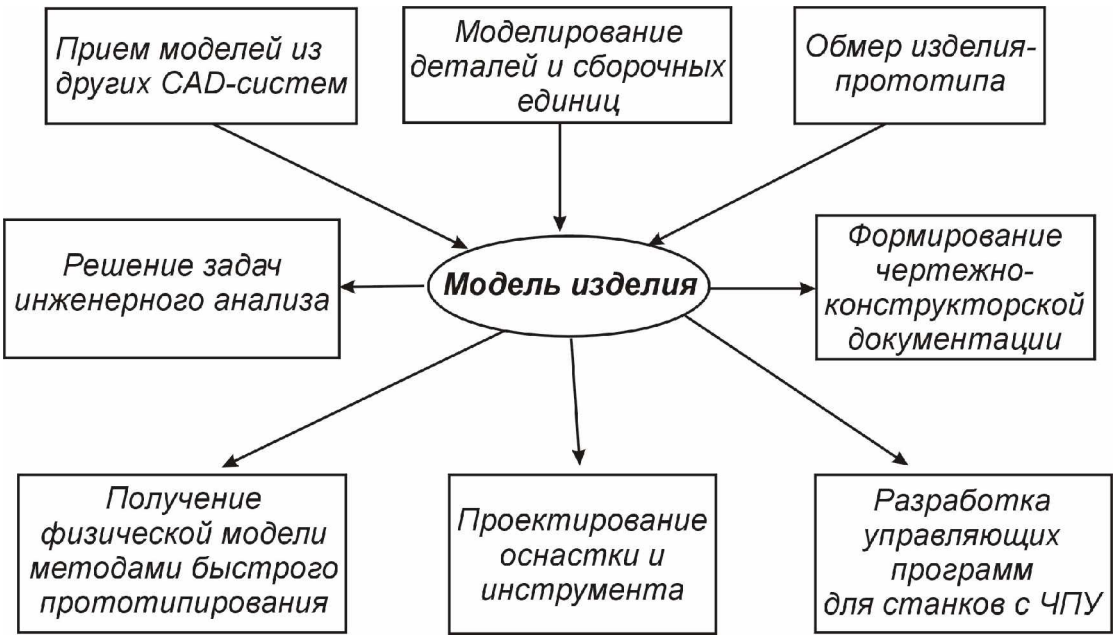


Рис. 3. Роль компьютерной модели изделия

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

1. Мысленные “образы чертежей” заменяются “образами моделей”, что раскрепощает пространственное мышление и способствует более быстрому принятию решений.
2. Свобода в создании сложных геометрических форм и понимание того, что эти формы могут быть легко реализованы “в металле” с помощью интегрированных технологий, стимулируют творчество, повышают интерес к работе.
3. Используя при проектировании созданную ранее модель похожего изделия (изделия-аналога), конструктор может иногда в десятки раз сократить общее время работы над проектом. Этот фактор способствует

упорядочению информации о выполненных разработках, приводит к большей систематизации мышления.

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

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

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

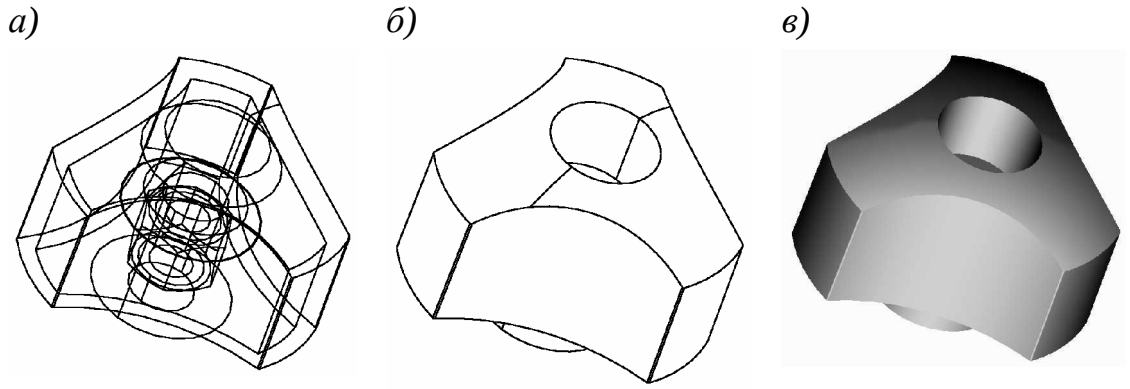


Рис. 4. Виды представления объекта: а) каркасное; б) с удалением невидимых линий; в) полутоновое

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

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

В зависимости от способа построения, различают следующие виды поверхностей: линейчатые; вращения; кинематические; галтельного сопряжения; проходящие через продольные и поперечные сечения; поверхности для “затягивания окон” между тремя и более смежными поверхностями;

NURBS-поверхности, определяемые заданием контрольных точек продольных и поперечных сечений; планарные поверхности.

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

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

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

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

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

При *гибридном моделировании* обеспечивается возможность одновременной работы с твердотельными объектами и с поверхностями.

При этом можно “отрезать” поверхностью часть твердого тела, превращать замкнутый поверхностями объем в твердое тело и т. п. Гибридное моделирование позволяет сочетать все удобства твердотельного моделирования с возможностью построения объектов сколь угодно сложной геометрической формы.

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

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

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

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

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

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

Сегодня в мире предлагается большое число различных CAD-, CAM- и CAD/CAM-систем, отличающихся по функциональной мощности, области применения, степени сложности освоения системы пользователем, стоимости. Из наиболее распространенных в мире CAD-, CAM- и CAD/CAM-систем, в России хорошо известны Catia, Unigraphics, Pro/Engineer, Cimatron, PowerShape/PowerMill, SolidWorks, AutoCAD. Значительных успехов достигли также отечественные разработки – системы Компас, T-Flex, Спрут и др.

Некоторые системы находят наибольшее применение в сфере проектирования сложных изделий, некоторые чаще используются в сфере подготовки производства. В частности, в сфере ТПП широкое распространение получила CAD/CAM-система Cimatron (разработка компании Cimatron Ltd.).

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

- Управление данными о проектируемых объектах на основе использования базы данных, обеспечение коллективной работы пользователей с помощью встроенной системы PDM;
- Проектирование деталей и сборочных единиц с использованием методов поверхностного, твердотельного и гибридного моделирования, включая применение булевых операций для замкнутых и открытых объектов;
- Интеграция с другими системами на основе стандартных интерфейсов (форматы DXF, IGES, STEP, VDA, SAT, STL) и прямых интерфейсов (Catia, Unigraphics, Pro/Engineer, Cimatron it, AutoCad);
- Быстрое создание моделей формообразующих деталей оснастки без необходимости предварительной доработки (“лечения”) исходной модели изделия независимо от того, в какой CAD-системе она разработана, графическая визуализация уклонов и поднутрений;
- Проектирование формообразующей оснастки (пресс-форм) с использованием баз нормализованных деталей (плит, колонок, толкателей и др.). Перечень и параметры нормализованных деталей устанавливаются одним из принятых стандартов – HASCO, DME, EOC и др. Допускается также использование собственных библиотек деталей;
- Проектирование электродов для выполнения операций прожига при изготовлении формообразующих элементов оснастки (прожиг выполняется на электроэрозионных станках), автоматическое получение для этих операций полного комплекта производственной документации;
- Автоматическое выявление инженерных изменений в геометрии моделей, получаемых из любых CAD-систем, и отслеживание этих изменений на всех этапах работ, выполненных в Cimatron E – во всех моделях, документах и программах ЧПУ;
- Автоматическое создание видов и сечений чертежа для открытых и закрытых геометрических объектов, при полной ассоциативности чертежа и модели. Развитые и удобные средства оформления чертежей, поддержка ЕСКД и других чертежных стандартов;
- Формирование управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ. Широкий спектр процедур чернового, получистового и чистового фрезерования, использование как обычной (2.5- и 3-

координатной), так и многокоординатной обработки. Оптимизация траектории движения инструмента, создание и использование типовых технологических решений (темплейтов), поддержка высокоскоростной резки, реалистичная имитация и контроль качества обработки.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности системы при проектировании изделий, на рис. 5 представлена модель сетевого фильтра, созданная в системе Cimatron, а на рис. 6 – сгенерированный в Cimatron чертеж крышки корпуса этого сетевого фильтра. Вопросы использования системы Cimatron при проектировании средств технологического оснащения и програмировании обработки на станках с ЧПУ будут рассмотрены более подробно в пп. 4.2 и 4.3.

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

- Использование единой интегрированной CAD/CAM-системы для решения задач проектирования и подготовки производства. В этом случае достигается наибольший уровень унификации, устраняется проблема интерфейсов, быстрее повышается общее качество работ. Однако, приобретение необходимого числа автоматизированных рабочих мест для проектирования может потребовать существенных затрат, так как стоимость интегрированных CAD/CAM-систем относительно высока;
- Использование в конструкторских подразделениях двухуровневых комплексов: 3D CAD-системы для построения объемных моделей и 2D или 3D CAD-системы для автоматизации чертежных работ. В этом случае можно снизить затраты за счет оснащения большого числа рабочих мест относительно дешевыми системами для автоматизации чертежных работ;
- Приобретение CAD- и CAM-систем у разных поставщиков (в этом случае системы обычно имеют прямые интерфейсы). Это решение также позволяет снизить общие затраты и одновременно обеспечить требуемую функциональность рабочих мест.

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

Анализ ситуации и опыт работы автора по разработке проектов автоматизации служб ТПП на базе CAD/CAM-систем позволяет предложить следующую последовательность этапов выбора.

1. Определение цели автоматизации и критериев выбора. Например, в качестве критерия выбора может быть задан уровень автоматизации решаемых задач.

а)

б)

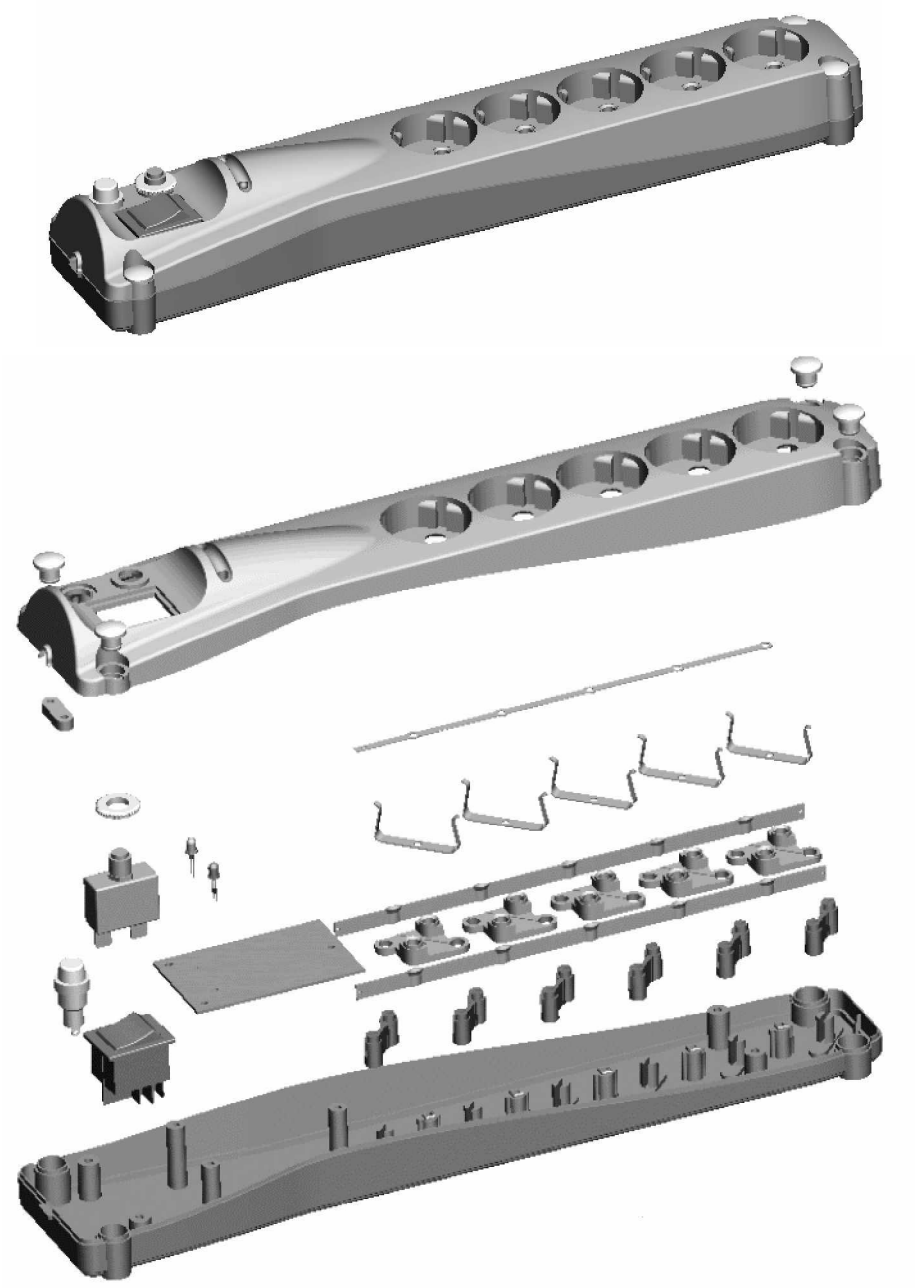


Рис. 5. Модель сетевого фильтра, построенная в системе Cimatron: а – собранный вид; б – вид “разобранной сборки”

2. Проведение анализа работы подразделения, подлежащего автоматизации и разработка его модели, например, с использованием методологии функционального моделирования IDEF0 (об этой методологии говорится ниже, в п. 3.1).
3. Укрупненный анализ CAD/CAM-систем. Вначале рекомендуется провести анализ с общих позиций. Далее проводится анализ по группам основных характеристик: организационно-экономическим, функциональным, адаптивным, интеграционным. Результатом этого этапа

является выбор 2-3 систем для проведения опытно-промышленной эксплуатации (тестирования).

4. Обучение в специализированных учебных центрах группы специалистов, выделенных для тестирования (1-2 недели).
5. Опытно-промышленная эксплуатация с учетом реальных производственных примеров, предложенных специалистами предприятия (4-6 недель).
6. Подведение итогов тестирования, подготовка отчета, конфигурирование рабочих мест, разработка предложений для принятия решения.
7. Углубленный анализ технико-коммерческих предложений поставщика, принятие решения.

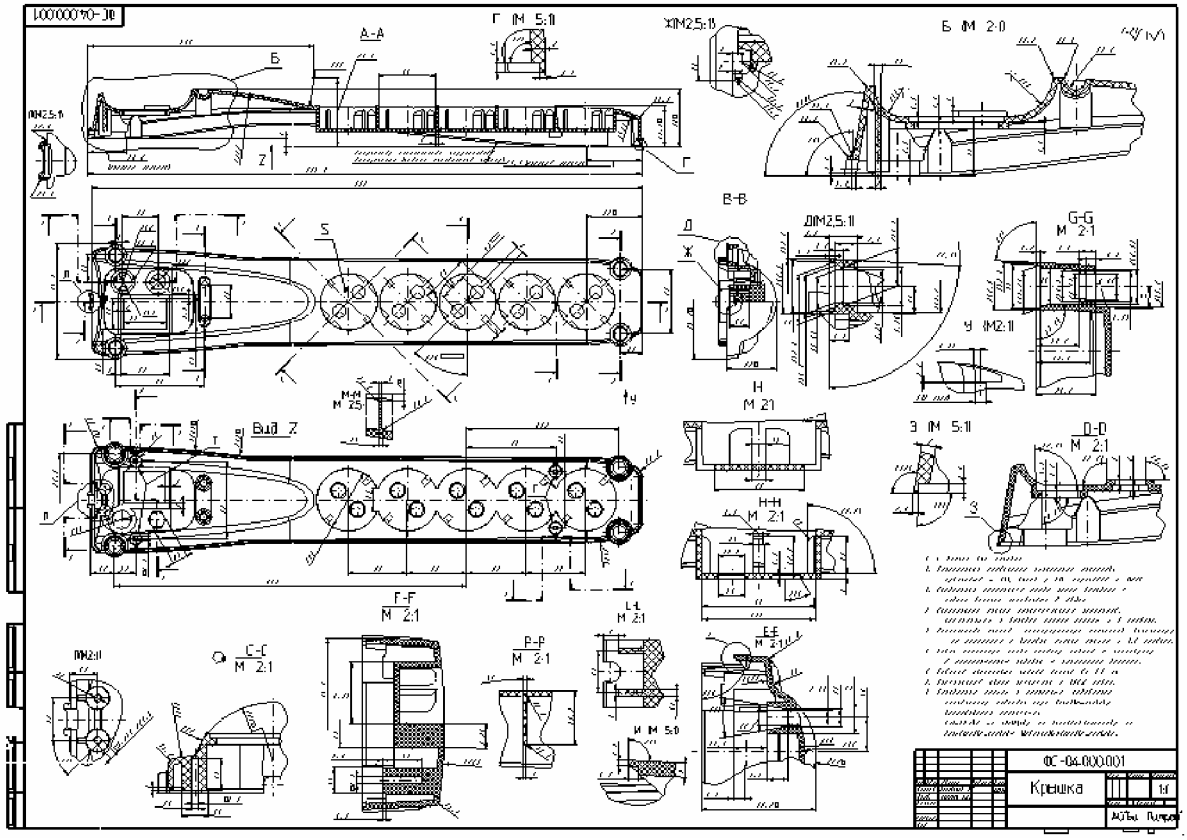


Рис. 6. Чертеж крышки корпуса сетевого фильтра, полученный в системе Cimatron

2.2 CAE-системы и моделирование технологических процессов

Термин CAE (Computer Aided Engineering) можно перевести как "компьютеризация инженерных исследований" или "компьютеризация инженерного анализа". Инженерные исследования являются неотъемлемой частью процесса конструкторского проектирования, если понимать

проектирование в широком смысле этого слова. Однако, в отличие от CAD-систем, решающих геометрические задачи, CAE-системы моделируют *физические процессы поведения* проектируемого объекта – например, поведение изделия при различных механических нагрузках, ударах, различных температурных режимах и др. В результате исследований оптимизируются соответствующие прочностные или тепловые характеристики, повышается ресурс и долговечность объекта.

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

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

Математической основой инженерных исследований являются методы нелинейного конечноэлементного анализа (FEA – Finite Element Analysis). FEA – это чрезвычайно мощное средство, которое дает инженеру возможность моделировать структурное поведение объекта, выполнять изменения и наблюдать результаты этих изменений.

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

В зависимости от того, отвечает ли исследуемая модель требованию линейности, используется линейный или нелинейный конечноэлементный анализ. В отличие от линейного FEA, где решение достигается в одном шаге, нелинейный FEA представляет собой итерационную процедуру,

которая может потребовать сотен и даже тысяч шагов. Существует три основных типа нелинейностей:

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

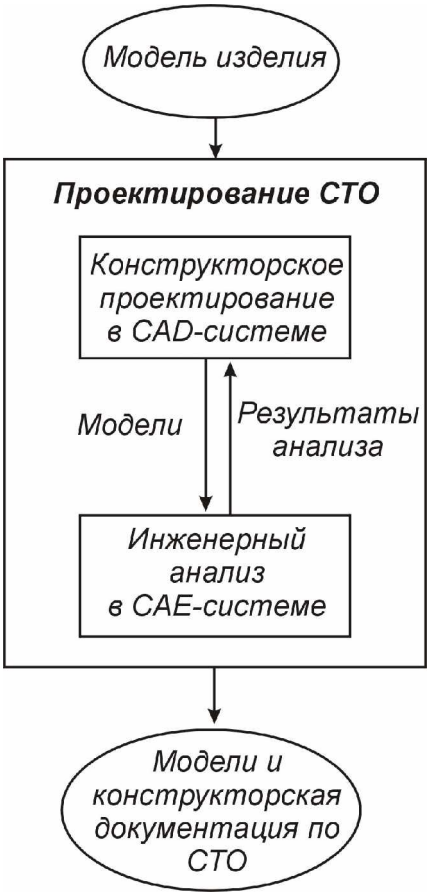


Рис. 7. Роль CAE-систем в проектировании средств технологического оснащения (СТО)

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

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

Первые системы для автоматизации задач инженерного анализа появились более 30 лет назад. Одна из таких широко известных в мире систем – это система **MSC.Nastran** (разработка компании MSC.Software).

Сегодня MSC.Nastran обеспечивает решение самого широкого спектра инженерно-конструкторских задач, включая расчет напряженно-деформированного состояния, частот и форм собственных колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и переходных процессов и т. д.

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

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

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

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

В качестве примера, на рис. 8 показаны результаты компьютерного моделирования процесса горячей штамповки в системе MSC.Superforge. Здесь моделируется изменение состояния заготовки при штамповке детали “соединительный рычаг". В данном примере из одной заготовки изготавливаются сразу две детали, а процесс горячей штамповки выполняется в два этапа (за два перехода).

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

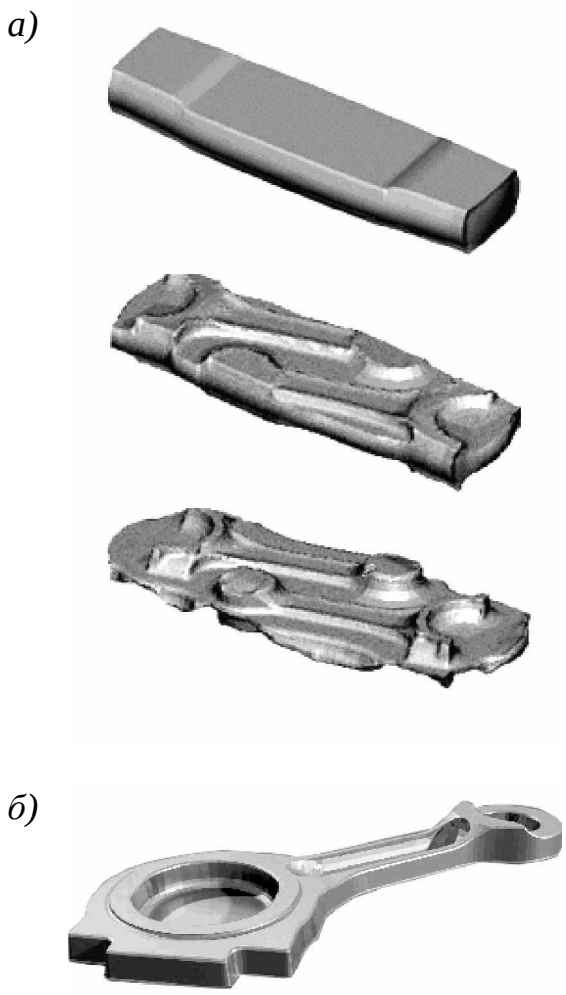


Рис. 8. Компьютерное моделирование процесса горячей штамповки в CAE MSC.Superforge: а – изменение состояния заготовки в переходах; б – готовая деталь

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

воздушных ловушек; выбор и замена материала (по технологическим параметрам); оценка технологического режима впрыска материала.

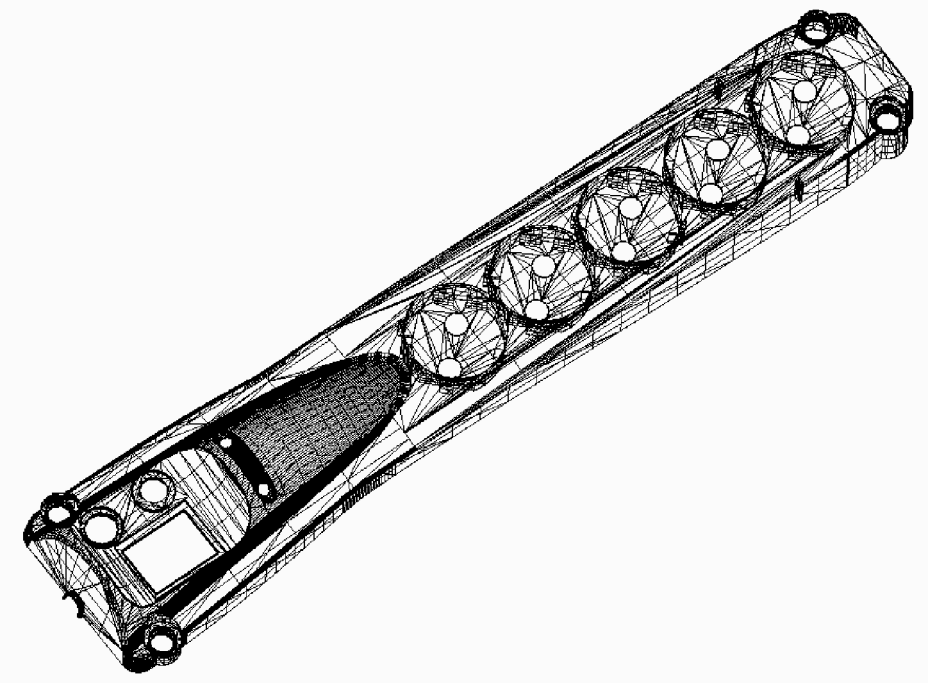


Рис. 9. Модель корпуса сетевого фильтра, построенная в CAD/CAM Cimatron и переданная в Moldflow Part Advizer в формате STL

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

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

Технологические процессы литья изделий из металлов имеют свою специфику. Здесь в качестве примеров CAE-систем, успешно используемых для компьютерного моделирования, можно отметить системы

ProCAST и **Полигон**. Они обеспечивают решение таких задач анализа процессов литья изделий из металлов, как: моделирование процессов затвердевания; моделирование образования усадочных раковин и макропористости; моделирование образования микропористости; моделирование развития деформаций для прогноза кристаллизационных трещин; формирование любых критериев качества и соответствующие расчеты для прогноза структуры, механических свойств.

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

2.3 PDM-системы для управления ТПП

Выше уже отмечалась важность автоматизации решения задач управления подготовкой производства в АСТПП. Управление ТПП строится на основе хранения и использования информации об изделии на определенных стадиях его жизненного цикла.

В соответствии со стандартами ISO 9000:2000, *Жизненный Цикл Изделия (ЖЦИ)* охватывает все стадии жизни изделия – от изучения рынка перед проектированием до утилизации изделия после использования. Компьютерная поддержка этапов ЖЦИ строится на основе применения так называемых CALS-технологий (CALS – Continuous Acquisition and Life-Cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта). В качестве одного из базовых инструментов реализации CALS-технологий выступают системы класса PDM (Product Data Management).

Первые PDM-системы появились в конце 80-х – начале 90-х годов. Их появление было вызвано необходимостью повышения эффективности автоматизации проектирования при коллективной работе конструкторов над одним сложным изделием. Дополнительно к системам автоматизации проектирования (САПР) требовалось программное обеспечение, которое отслеживало бы состав всех файлов проекта, создаваемых в САПР, на предмет их целостности, непротиворечивости и актуальности.

Разработкой первых PDM-систем наиболее плодотворно занимались создатели мощных САПР, которые раньше других поняли, что успешное внедрение этих САПР требует решения вопросов взаимной увязки конструкторских данных, надежного хранения наработок каждого из участников проекта, обеспечения нужных уровней доступа ко всей проектной информации.

При таком подходе исходными данными для работы PDM становились:

- структура изделия (получаемая напрямую из среды САПР);
- структура отношений между участниками проекта;
- дополнительная производственная информация, относящаяся к проекту в целом.

Областью применения первых PDM-систем были группы проектировщиков. Основной целью при этом было устранение несогласованности автоматизированной коллективной работы. Упорядочение, рационализация и координация движения проектной информации внутри группы конструкторов-проектировщиков и достигались за счет применения этих PDM.

С тех пор прошло более 10 лет. По мере возникновения новых задач и требований, системы PDM развивались и претерпевали изменения. Каковы же основные требования к современной PDM-системе?

Главная цель PDM – поддержка электронного описания продукта (изделия) на всех стадиях его жизненного цикла. Эта поддержка должна обеспечивать решение следующих задач:

1. Ведение проектов: управление работами, процедурами и документами в составе проекта, контроль за выполнением проекта.
2. Планирование и диспетчирование работ.
3. Распределение прав доступа к информации между отдельными участниками проекта или их группами.
4. Организация и ведение распределенных архивов конструкторской, технологической и управленческой документации (электронные архивы).
5. Управление изменениями в документации: контроль за версиями документов, ведение протокола работы с документами, листов регистрации изменений и извещений.
6. Фиксирование стандартных этапов прохождения документов, контроль за прохождением документов по этапам.
7. Интеграция с CAD/CAM-системами и их приложениями, используемыми при проектировании.
8. Контроль целостности проекта.

9. Поиск необходимой информации в проекте на основании запросов.

В силу ее использования большим числом специалистов, PDM является многопользовательской системой, которая работает в компьютерной сети. Она организует единое информационное пространство предприятия, обеспечивая создание, хранение и обработку информации в единой базе данных с помощью системы управления базами данных (СУБД).

По сравнению с CAD/CAM-системами, внедрение PDM-системы на предприятии является более сложным и длительным процессом. Это связано с необходимостью значительных организационных изменений как в коллективе в целом, так и на каждом рабочем месте руководителя, конструктора и технолога. Более конкретно, сложности могут быть обусловлены следующими причинами:

1. Цели, которых хочет достичь предприятие путем внедрения системы, сформулированы нечетко. Вместо этого существует перечень локальных проблем конкретных подразделений, решение которых не может решить проблем предприятия в целом.
2. Руководство предприятия не до конца понимает важность личного участия в проекте внедрения.
3. Существует внутренняя оппозиция ряда сотрудников предприятия тем изменениям, которые неизбежны в результате внедрения системы.
4. Сотрудники предприятия не владеют навыками работы на компьютере и не готовы к внедрению системы.
5. Отсутствуют квалифицированные специалисты, способные сопровождать систему.
6. На предприятии отсутствует необходимая техническая инфраструктура.
7. Проект рассчитан на длительный срок, что приводит “к недоверию” в достижении конечного результата.

Один из способов поэтапного внедрения PDM состоит в следующем. В первую очередь, на основе результатов предпроектного обследования предприятия, создается (возможно, частично) структура единой базы данных. Далее, к работе в среде PDM-системы последовательно подключаются такие рабочие места, где специалисты наиболее подготовлены к внедрению, и где внедрение поэтому может быть выполнено наиболее быстро.

Примером здесь может служить рабочее место конструктора, который уже имеет опыт проектирования в CAD-системе. Такой конструктор практически сразу (в пределах одной недели) почувствует существенное повышение качества своей рабочей среды, забудет о проблемах, связанной с поиском нужных файлов, отслеживанием модификаций и

версий, загрузкой больших сборок только для того, чтобы найти нужную подсборку или деталь.

Другой способ поэтапного внедрения PDM заключается в выполнении сначала так называемого “пилотного проекта" в небольшой группе или в конкретном специальном проекте. После успешного внедрения PDM-системы на одном из небольших производственных участков предприятия (и проверки ее работоспособности) можно продолжить ее внедрение (масштабировать систему) на всем предприятии. Такой подход также помогает решить многие проблемы, неизбежно возникающие при внедрении на начальном этапе.

Для того, чтобы обеспечить возможность поэтапного внедрения, PDM-система должна представлять собой очень гибкий, масштабируемый программный продукт, который можно использовать в диапазоне от одного рабочего места до структурных подразделений предприятия и предприятия в целом.

Среди используемых в мире PDM-систем, отвечающих современным требованиям, одно из ведущих мест занимает **PDM SmarTeam**. Система включает в себя следующие основные компоненты (рис. 10):

SmarTeam – базовая система, предоставляющая полный набор средств для совместной работы при создании, редактировании, поиске и хранении любых типов данных и документов. Обеспечивается управление проектами, ведение версий, экспорт и импорт информации. Для редактирования структур баз данных и настройки системы используется приложение Data Model Designer; для расширения пользовательских функций используется специальный программный интерфейс API;

SmartView – модуль, обеспечивающий просмотр векторных, растровых, офисных файлов более 200 форматов, а также внесение пометок в документы (RedLining);

SmartVault – компонент серверной архитектуры SmarTeam, обеспечивающий защиту данных, распределение прав и контроль доступа ко всем данным и документам;

SmartFlow – подсистема маршрутизации данных и документов; обеспечивает их автоматическое прохождение по предприятию в соответствии с задаваемыми процедурами согласования, утверждения, внесения изменений и др.;

SmartWeb – подсистема, обеспечивающая удаленный доступ специалистов к базе данных SmarTeam;

SmartGateway – подсистема, обеспечивающая интеграцию с ERP-системами (системами управления производством) и другими PDM-системами;

Smart Multi-site – подсистема, организующая работу сети филиалов предприятия в едином информационном пространстве;

mySmarTeam, mySmartPublish, SmartBOM, SmartBriefcase – подсистемы, реализующие информационную интеграцию предприятия с заказчиками и поставщиками.

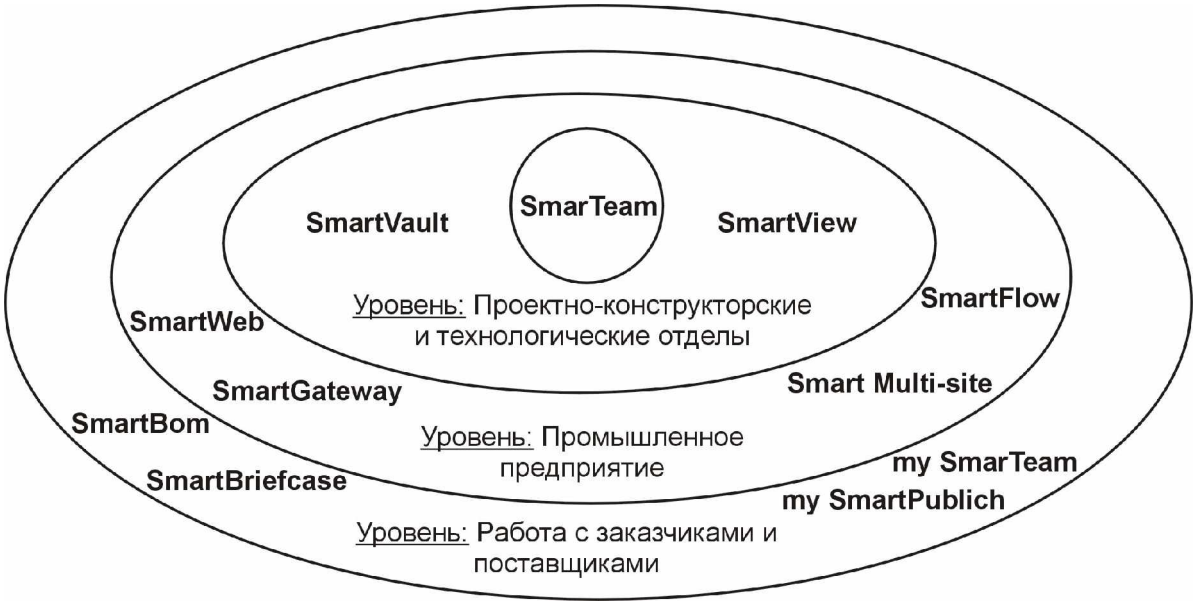


Рис. 10. PDM-система SmarTeam

SmarTeam обеспечивает прием информации, создаваемой на различных этапах ЖЦИ, причем ввод информации может выполняться либо в системах проектирования, либо в самой PDM. Хранение информации осуществляется в базе данных известных СУБД – например, Oracle, InterBase, MS SQL-Server.

Средства, позволяющие создавать структуры баз данных и экранные формы представления информации в интерактивном режиме, без использования языков программирования, позволяют легко адаптировать SmarTeam к условиям предприятия. Пользователи могут создавать базы данных стандартных и типовых деталей, используемых материалов, складов оснастки и др. Разработка программ для решения различных задач АСТПП в среде PDM SmarTeam выполняется с использованием специального программного интерфейса API (Application Programming Interface).

Наличие общей базы данных об изделии позволяет организовать процесс параллельного проектирования, когда каждый специалист использует данные об изделии для решения своих задач. Даже в тех случаях, когда последующий проектант использует результаты работы предыдущего, применение параллельного проектирования может заметно снизить общее время ТПП (рис. 11).

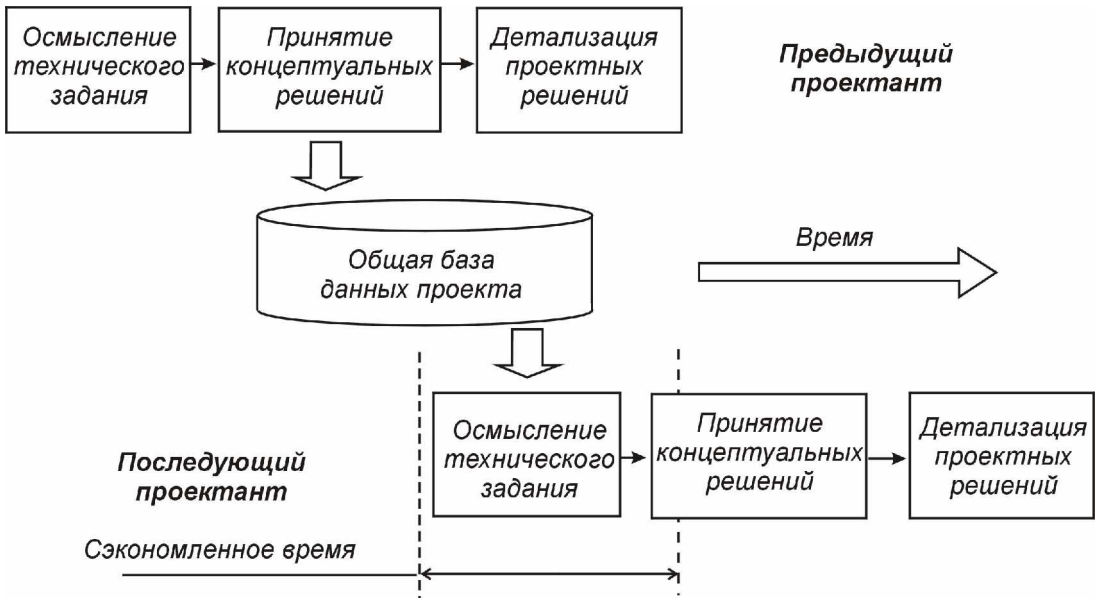


Рис. 11. Схема использования параллельного проектирования

Важной задачей, решаемой SmarTeam, является организация электронных архивов. Электронный архив – это не просто набор отсканированных документов или CAD-файлов, созданных конструкторами. Для каждого документа проекта в электронном архиве хранится соответствующая информация, описывающая все действия, производимые над документом (изменение, тиражирование, выдача по заявкам и др.) на протяжении всего жизненного цикла документа.

SmarTeam дает возможность руководителям подразделений работать в единой информационной среде вместе со своими специалистами. Для этого существуют специальные функции, такие как RedLining (использование “красного карандаша” для внесения замечаний при проверке результатов деятельности своих подчиненных); средства WorkFlow (о них будет сказано ниже) – с их помощью руководители могут контролировать и управлять потоками производственных заданий. Кроме того, в распоряжении руководителя имеются все возможности поиска и просмотра информации по проектам. Быстрое получение ответов на вопросы: “Какие документы должны быть сделаны к указанной дате?”, “Какие документы должны быть сделаны к указанной дате, но не сделаны?”, “Где находится данный документ?” и т.д., позволяют своевременно и правильно принимать решения по планированию работ и управлению подразделениями.

Информация в SmarTeam организована в виде проектов. Проект представляется в виде иерархического дерева, которое описывает связи между входящими в проект объектами – например, дерево проекта изделия описывает связи между деталями и сборочными единицами изделия (рис.

12). Каждый проект характеризуется учетной карточкой, которая заполняется при создании проекта. В учетной карточке хранится номер проекта, его наименование, фамилия руководителя, дата создания и т. д.

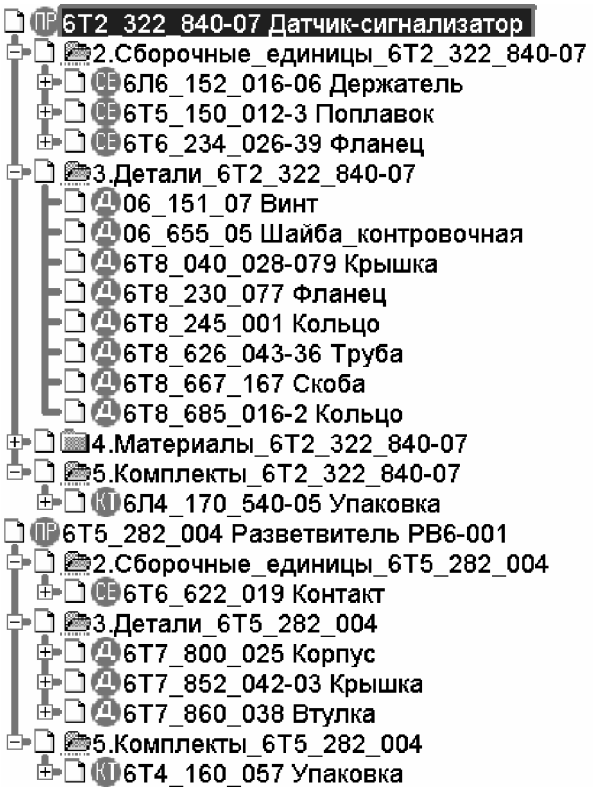


Рис. 12. Дерево проекта в PDM SmarTeam

Для входа в проект нужно выбрать его из списка проектов. При этом в левой части экрана появится дерево проекта, а в правой – учетная карточка объекта, выбранного на данный момент в проекте (рис. 13). Поля учетной карточки объекта содержат его обозначение, наименование, дату создания, фамилию разработчика и др. Кроме того, здесь указывается тип, имя и местоположение файла, содержащего объект.

В дополнительных разделах учетной карточки объекта содержатся его логические связи с другими объектами в дереве проекта (раздел “Связи”), а также указывается состояние объекта в текущий момент (раздел “Изменения”). По разделу “Изменения” можно проследить все этапы прохождения объекта (документа) в процессе проектирования.

Функции SmarTeam позволяют строить и редактировать дерево проекта, создавать новые объекты, заполнять и редактировать учетные карточки и т. д. Для того, чтобы перейти к работе с файлом объекта, достаточно указать этот объект в дереве проекта и выбрать команду “Редактировать”. SmarTeam по типу файла автоматически определит нужное приложение и вызовет его с одновременным открытием данного файла. Другая команда “Просмотр” позволяет увидеть графическое изображение объекта, не входя в режим редактирования (рис. 15). Это изображение

представляет собой слайд, который был автоматически сохранен при предыдущей работе с объектом.

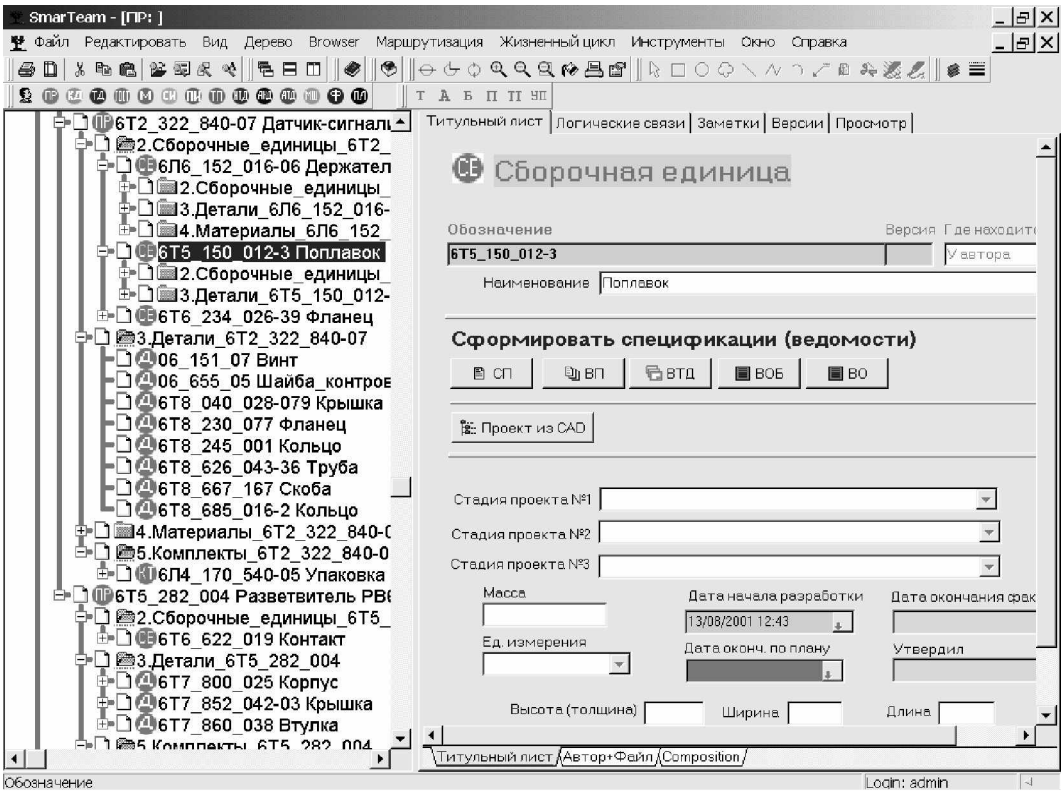


Рис. 13. Учетная карточка объекта проектирования

Пользователь имеет возможность осуществлять автоматический поиск необходимой информации в проекте. Для этого необходимо дать системе соответствующий запрос (критерий поиска). Можно использовать готовые запросы или создавать новые.

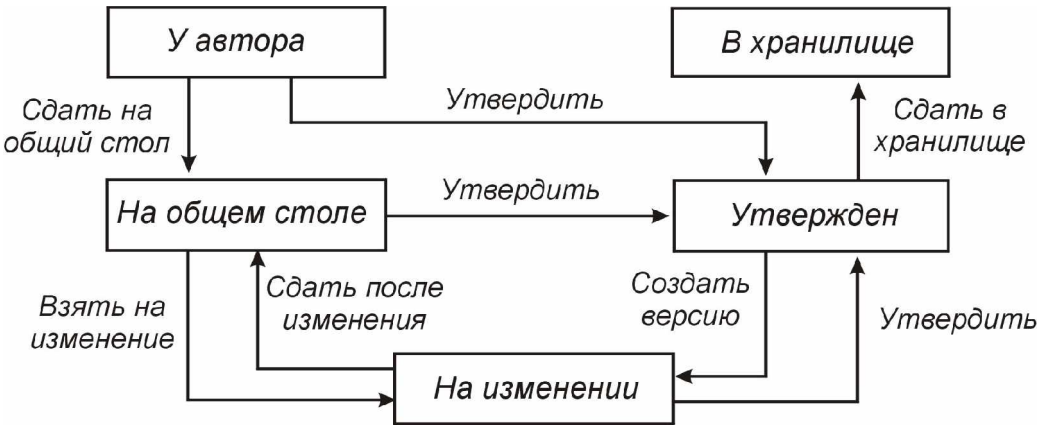


Рис. 14. Состояния объекта (документа)

Единая база данных и средства настройки SmarTeam дают возможность организовать работу технологов, конструкторов и других специалистов предприятия в едином информационном пространстве. Это, в частности, позволяет конструкторам, расцеховщикам, расчетчикам норм расхода материалов и другим специалистам заимствовать и использовать введенную ранее технологами (при проектировании технологических процессов) информацию о выполняемых операциях, необходимом инструменте, оснастке и др.

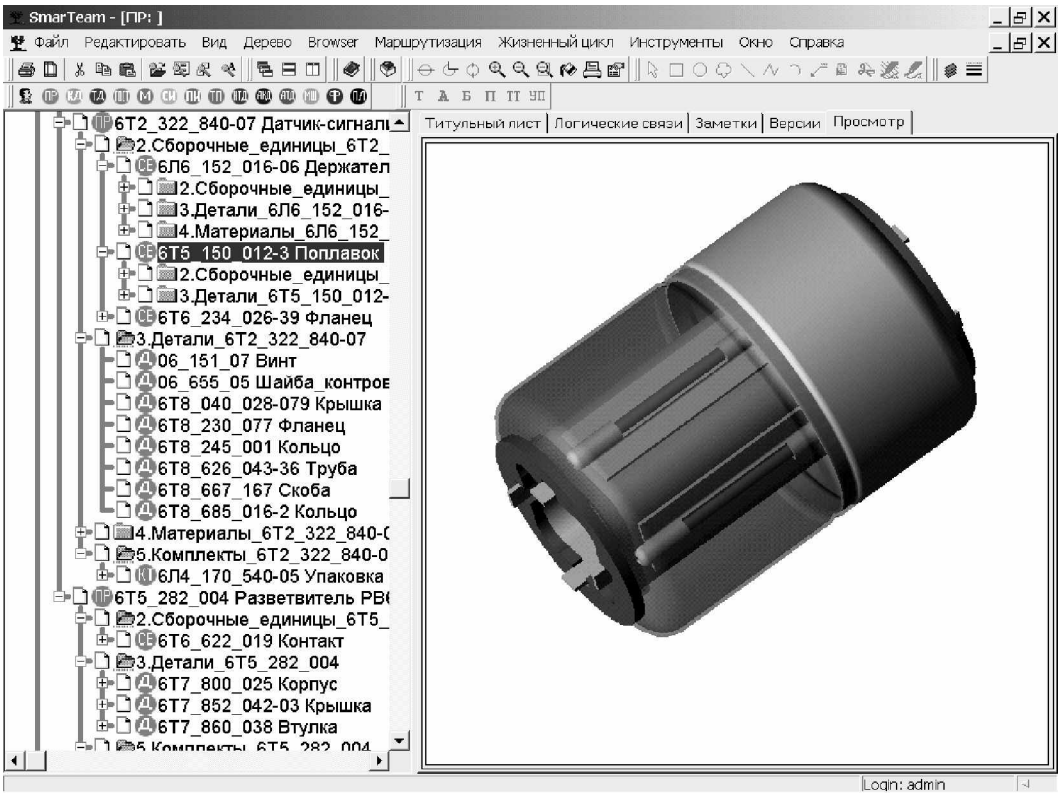


Рис. 15. Графический просмотр объекта проектирования

Результатом внедрения PDM-системы должна стать согласованная коллективная работа конструкторских бюро, технологических отделов, службы технической документации (СТД), других подразделений предприятия.

3. Методы системного синтеза АСТПП

3.1 Предпроектный анализ предприятия и построение моделей ТПП

В предыдущей главе были рассмотрены базовые средства, используемые для автоматизации процессов ТПП. Теперь перейдем к вопросам построения АСТПП как единой, целостной системы. Процесс такого построения будем называть *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, существующей 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. Так, 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 Analysis 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 блоков 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. 16). *Входные дуги* изображают объекты,

используемые функциями. *Дуги управления* предоставляют информацию, необходимую для выполнения функций. *Дуги механизмов* описывают, как функции реализуются. *Выходные дуги* изображают объекты, в которые преобразуются входы. (Примеры конкретных отношений между функциями и объектами в диаграмме IDEF0 показаны на рис. 17.) Таким образом, дуги на диаграммах изображают интерфейсы между *функциями* системы, а также между системой и окружающей средой.

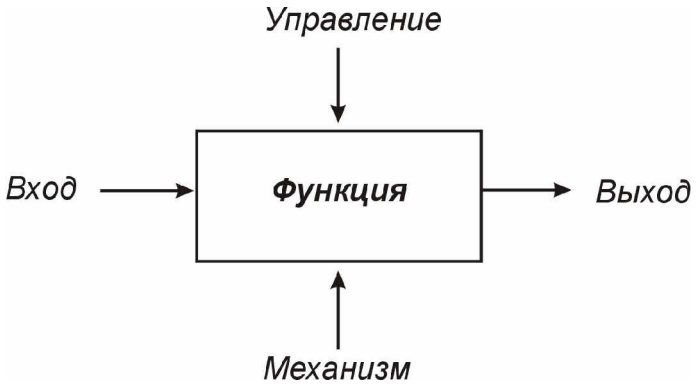


Рис. 16. Отношения между функциями и объектами

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.

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.

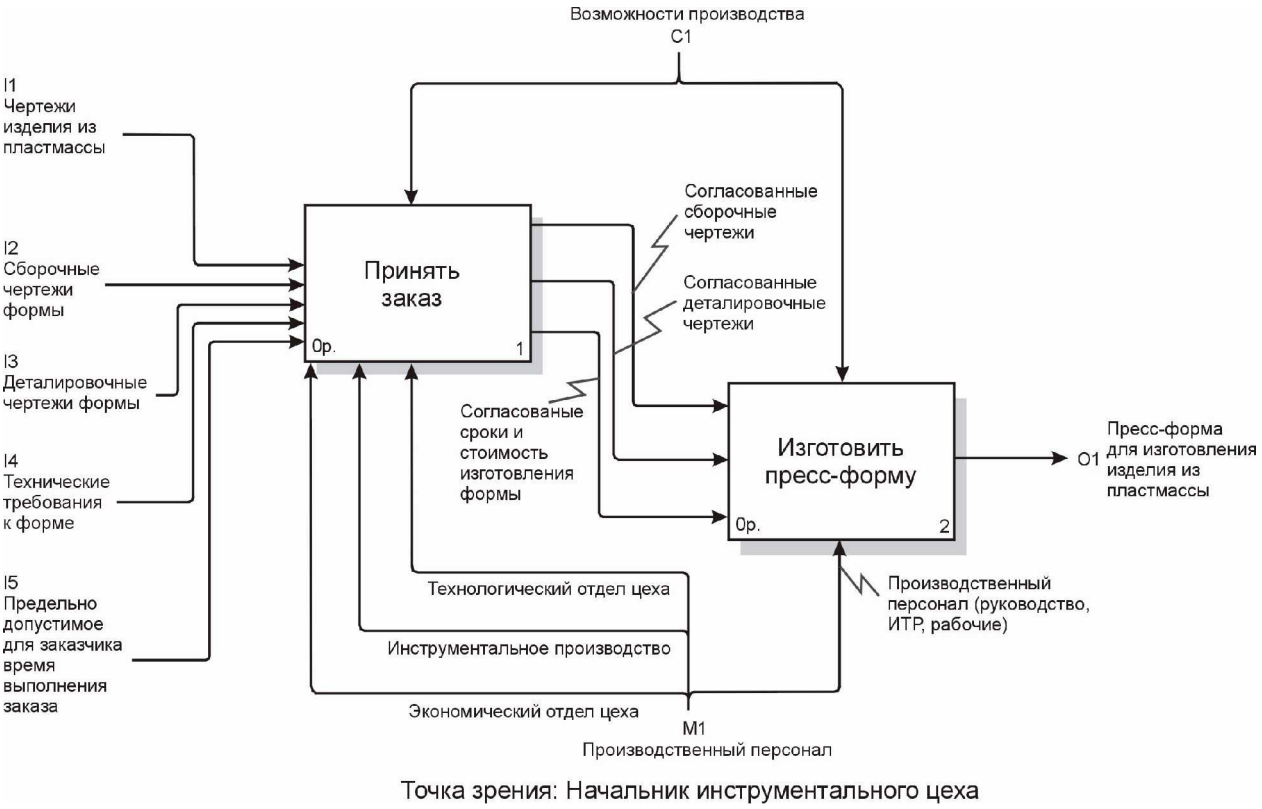


Рис. 17. Пример диаграммы IDEF0

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 взамосвязи 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 и глубину проработки, систематизировать информацию, уменьшить число ошибок, улучшить проектную документацию и т. д. Методология IDEF0 позволяет всем участникам проекта создания АСТПП (как сотрудникам 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.

3.2 Организация единого информационного пространства ТПП

Функционирование АСТПП как единой, целостной системы предполагает функционирование всех ее компонент 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.

Для создания ЕИП на основе объектно-ориентированного подхода будем использовать PDM-систему SmarTeam (см. п. 2.3). Опыт адаптации этой системы к условиям отечественных предприятий позволил получить результаты, которые будут полезны для специалистов, приступающих к выбору, внедрению или изучению PDM-систем.

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 данных целевым условиям ТПП предприятия, требует определенного “искусства” и хорошего понимания механизмов хранения и обработки данных, а также знания особенностей используемой PDM-системы.

Так, в PDM SmarTeam вся информация организована в виде проектов (см. п. 2.3). При этом категория “Проекты” представляет собой общее обозначение раздела, в котором размещаются создаваемые классы объектов. Однако, размещение всех классов объектов в разделе “Проекты” приводит к тому, что размер дерева классификации становится очень большим, вследствие чего затрудняется работа пользователя с данными. Для решения этой проблемы воспользуемся возможностью SmarTeam создавать другие информационные разделы, наряду с разделом “Проекты”.

В связи с этим, все классы объектов разделяются на две категории – категорию ведущих и категорию дополняющих классов (рис. 18). Ведущие классы объектов создает разработчик АСТПП, включая их в раздел (группу классов) "Проекты". В группу классов "Проекты" целесообразно включить изделия собственного производства предприятия и изделия, изготавливаемые по кооперации в соответствии с документацей проекта.

Дополняющие классы объектов также создает и объединяет в группы разработчик АСТПП, он же присваивает этим группам (новым разделам) имена. В качестве примеров групп дополняющих классов можно привести: "Материалы"; "Документы конструкторские"; "Документы технологические"; "Производственные планы” и др.

Классы объектов в пределах своих групп (например, в пределах группы "Проекты" или группы "Документы конструкторские") могут быть равноправными, то есть представлены в виде списка или могут находиться в иерархической связи между собой, то есть представлены в виде дерева классов данной группы.

Если классы находятся в иерархическом подчинении, то в действие вступает правило наследования характеристик объектов и всех действий над ними от вышестоящих к нижестоящим классам. Например, если данному пользователю даны права просмотра информации об объектах вышестоящего класса, то автоматически ему даются права просмотра информации об объектах нижестоящих классов, которые "подчинены" указанному вышестоящему классу.

Необходимо отличать деревья классов от деревьев объектов. *Деревья классов* показывают допустимые иерархии объектов и пути наследования общих характеристик от вышестоящего класса к нижестоящему в пределах группы. *Деревья объектов* описывают структуру конкретных объектов в соответствии с принятой системой классификации.

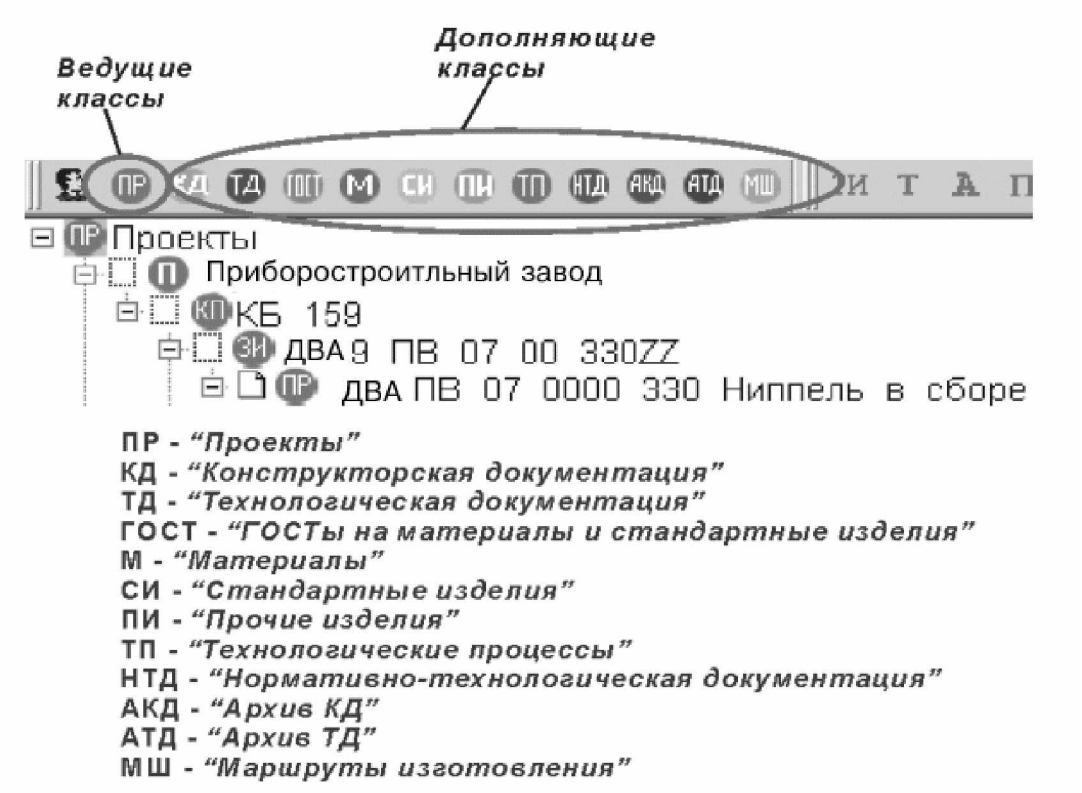


Рис. 18. Ведущие и дополняющие классы объектов

После разработки системы классификации, в PDM SmarTeam создается соответствующая модель данных и выполняется процесс настройки системы. Средство создания модели данных называется Data Model Designer. С его помощью можно создавать новые классы, объекты и отношения между ними, удалять или изменять элементы модели данных. Настройка с помощью редактора экранных форм позволяет получить желаемый вид учетных карточек объектов. Другим уровнем настройки системы является использование встроенного языка программирования Basic Script и функций программного интерфейса API (Application Programming Interface). Разработанные на Basic Script процедуры можно "привязывать" к определенным событиям или действиям (например, к нажатию клавиши или выбору объекта). Наличие API позволяет также создавать приложения на любых других языках программирования высокого уровня.

Размещение конкретных данных в ЕИП и их обработка осуществляются в процессе непосредственного функционирования подсистем 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 CAD-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. Более подробно о проектировании ТП в среде PDM SmarTeam будет сказано в п. 4.1.

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. 19).

Внутрисистемный контур представляет собой программное обеспечение SmarTeam 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) разработанных с помощью языка программирования Basic Script и средств программного интерфейса API PDM SmarTeam. 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. Рассматриваемая в п. 4.1 система автоматизированного проектирования ТП также относится к программам технологического контура.



Рис. 19. Программные контуры и единая база данных о продукте

Проектный контур представляет собой множество 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. Для CAD-систем, которые интегрированы со SmarTeam, эта функция является единой, и идентификационные данные документа достаточно ввести либо в PDM-системе, либо в CAD-системе.

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

Внешний контур – это потребителями 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 SmarTeam или другими системами. Для этих систем должен существовать интерфейс с PDM SmarTeam. Так, специальный модуль SmartGateway обеспечивает интеграцию с ERP-системами, в частности, с известной системой управления производством SAP R/3.

Таким образом, единое информационное пространство, построенное на базе PDM SmarTeam, создает основу для успешного комплексного 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 и 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.

3.3 Управление информацией и технологии Workflow

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 результате 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 – технологии Workflow.

По определению, технологии Workflow – это методы и средства автоматизации управления потоками производственных заданий на предприятии. Более широко технологии Workflow 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.

Рассмотрим решение задачи управления потоками производственных заданий с применением специального пакета SmartFlow – одного из компонентов PDM SmarTeam. Система SmartFlow позволяет описывать потоки заданий в виде графиков заданий (рис. 20), инициировать и контролировать их выполнение, уведомлять пользователей о ходе работ.

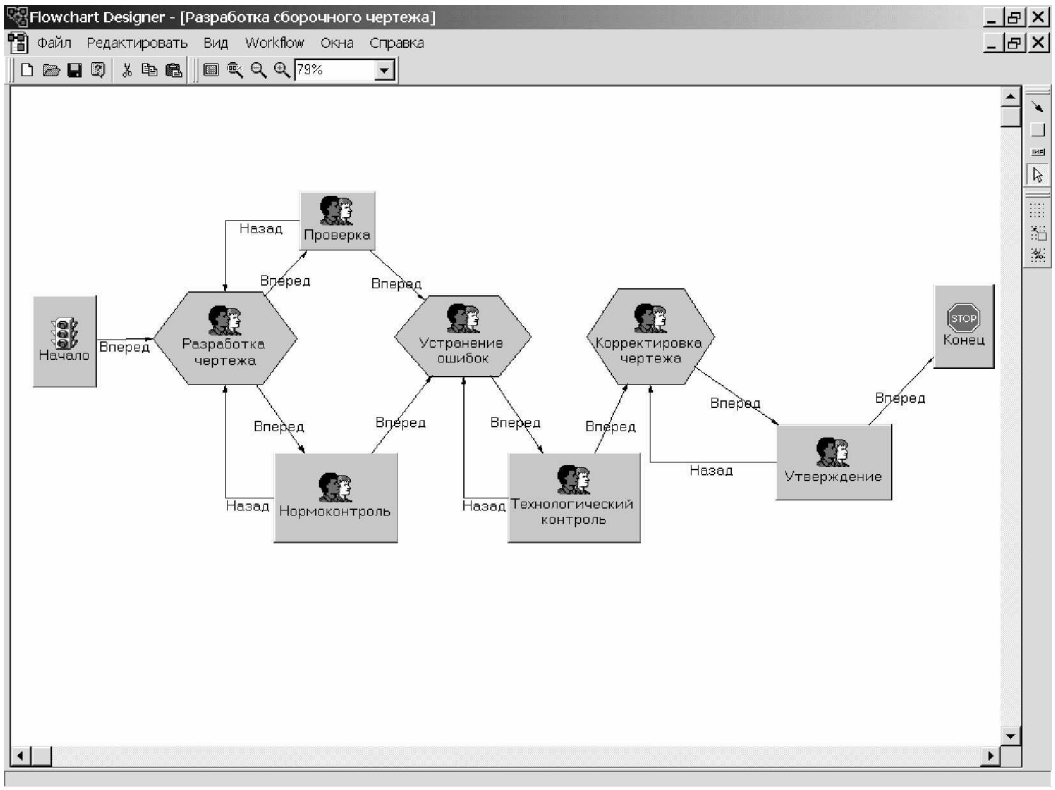


Рис. 20. Пример графика заданий в подсистеме SmartFlow

Графики заданий (диаграммы Workflow) в системе SmartFlow представляют собой совокупность узлов и соединителей, по которым информация перемещается от одного узла или состояния к другому. Узел определяет производственное задание и его характеристики. При составлении производственного задания для каждого узла указываются такие свойства, как пользователь, действия которого в рабочем процессе соответствует этому узлу графика заданий, и задание, которое он должен выполнить, а также сроки или другие условия выполнения задания. В принципе можно создавать такие узлы, задания в которых будут выполняться не пользователем, а самой системой SmarTeam (например, передача данных или выдача сообщений). Задания бывают трех типов:

- *Ручное задание*. Пользователь просто выполняет то, что ему предписано в этом узле, и отсылает результаты дальше.

- *Операция*. Пользователь должен совершить какое-либо стандартное действие, поддерживаемое системой, например, “Взять на изменение”, “Утвердить” и т. д.
- *Скрипт*. В этом случае пользователь узла должен запустить составленную ранее программу (скрипт), котрая выполнит необходимые действия.

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 безотносительно 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” к конкретной сборочной единице).

Сам процесс выполнения происходит следующим образом. После инициирования процесса в стартовом узле графика, инициируются 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.

Графики заданий создаются с помощью специального компонента SmartFlow – программы Flow Chart Designer с графическим интерфейсом. Программа позволяет создавать узлы разной формы, с разными рисунками (можно поместить в качестве рисунка фотографию пользователя узла), перетаскивать узлы и соединители по экрану, задавать направление передачи информации от одного узла к другому и т. д. Специальное окно позволяет наблюдать за статусом любого задания в реальном масштабе времени. Пользователи также могут просматривать отчеты по различной информации, возникающей в процессе выполнения производственных заданий. В систему включены шаблоны типовых графиков заданий (например, процесса инженерных изменений). Эти шаблоны упрощают построение графиков и могут быть изменены для целей конкретного предприятия.

Для отправки и получения уведомлений о необходимости выполнения заданий используется встроенная в SmartFlow почтовая система уведомлений SmartBox (рис. 21). Пользователи могут настроить ее на периодическую проверку поступления новых сообщений. Системы электронной почты не требуется, однако, SmartFlow может быть присоединен к электронной почте, чтобы иметь возможность дополнительного уведомления и информирования пользователей.

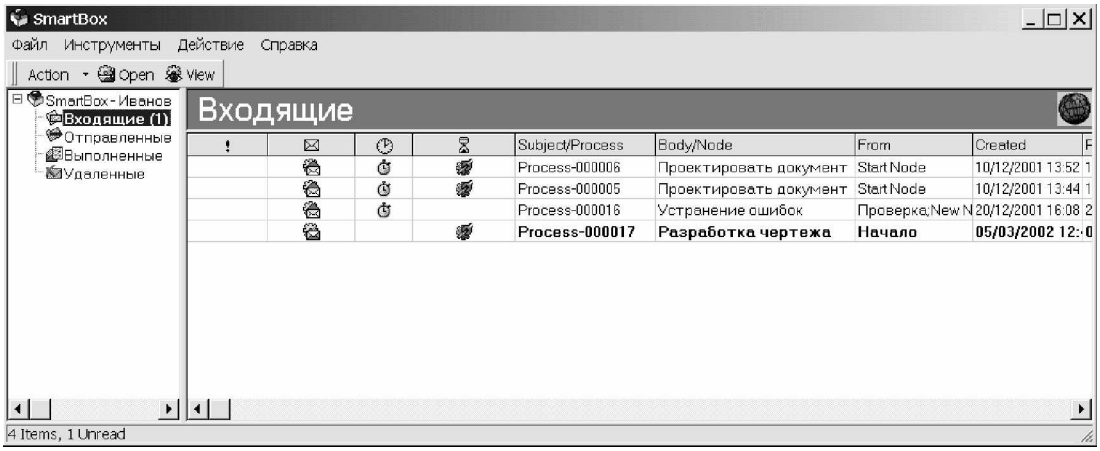


Рис. 21. Почтовая система уведомлений SmartBox

Инструкции, файлы и данные, которые должны быть задействованы, присоединяются к посылаемым 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 Workflow 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 технологий Workflow.

4. Компьютерное проектирование в АСТПП

4.1 Проектирование технологических процессов

В предыдущих главах мы упоминали различные виды технологических процессов (ТП). 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 механообработки.

Напомним, что ТП механообработки состоит из маршрута и операций. Маршрут состоит из последовательности операций по обработке данной детали, например: “Заготовительная” à “Токарная” à “Фрезерная” à “Термообработка”. Операция может включать в себя последовательность переходов, например: “Установить заготовку” à “Точить поверхность” à “Точить канавку” à “Нарезать резьбу” à “Отрезать деталь”. Для каждой операции в ТП указываются необходимое оборудование, инструмент и оснастка. В переходах задаются технологические режимы обработки, например, величина подачи и частота вращения шпинделя. Таким образом, структура ТП носит иерархический характер и может быть представлена в виде дерева.

Комплект технологических документов на ТП механообработки 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 механообработки 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 ТП) 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” à “Деталь-аналог” à “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 ТП 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 основном 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, правил или фреймов. 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).

В соответствии с принципами построения ЕИП, рассмотренными в п. 3.2, примем следующие решения:

1. Создадим класс “Технологические процессы” в группе дополняющих классов системы классификации. В этом классе будут размещаться индивидуальные и типовые ТП, а также списки наименований технологических операций и переходов.
2. Создадим класс “Технологическая документация” в группе дополняющих классов системы классификации. В этом классе будут размещаться комплекты технологических документов (маршрутная карта, операционные карты, ведомость оснастки и др.) для тех ТП, которые прошли стадию утверждения.
3. Создадим класс “Средства технологического оснащения” в группе основных классов системы классификации. Здесь будет содержаться

информация об имеющемся на предприятии технологическом оборудовании, приспособлениях, режущем, вспомогательном и мерительном инструменте.

Заполнение базы данных (сведениями по оборудованию, оснастке, инструменту, наименованиям операций и переходов) может осуществляться двумя способами:

- непосредственным занесением информации пользователем (в интерактивном режиме) в соответствующие разделы базы данных;
- автоматическим занесением информации в базу данных, в процессе разработки индивидуальных ТП.

Второй метод применяется тогда, когда технолог при проектировании ТП не нашел в базе данных необходимой информации, и вынужден ввести ее в ТП вручную. В этом случае он может дать команду на запись введенной информации в базу данных. Такое занесение избавляет пользователей от необходимости повторного ввода данных в интерактивном режиме и способствует постепенному автоматическому формированию базы данных.

Проектирование ТП (как проектирование “с нуля”, так и проектирование на основе ТП-аналога) выполняется *как стандартный процесс построения дерева проекта* (рис. 22). 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, режущего инструмента для перехода “Точить поверхность”, технолог просматривает списки имеющихся резцов 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 токарной операции предлагается только список токарных станков (но не фрезерных или электроэрозионных), при выборе очередного перехода в токарной 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.

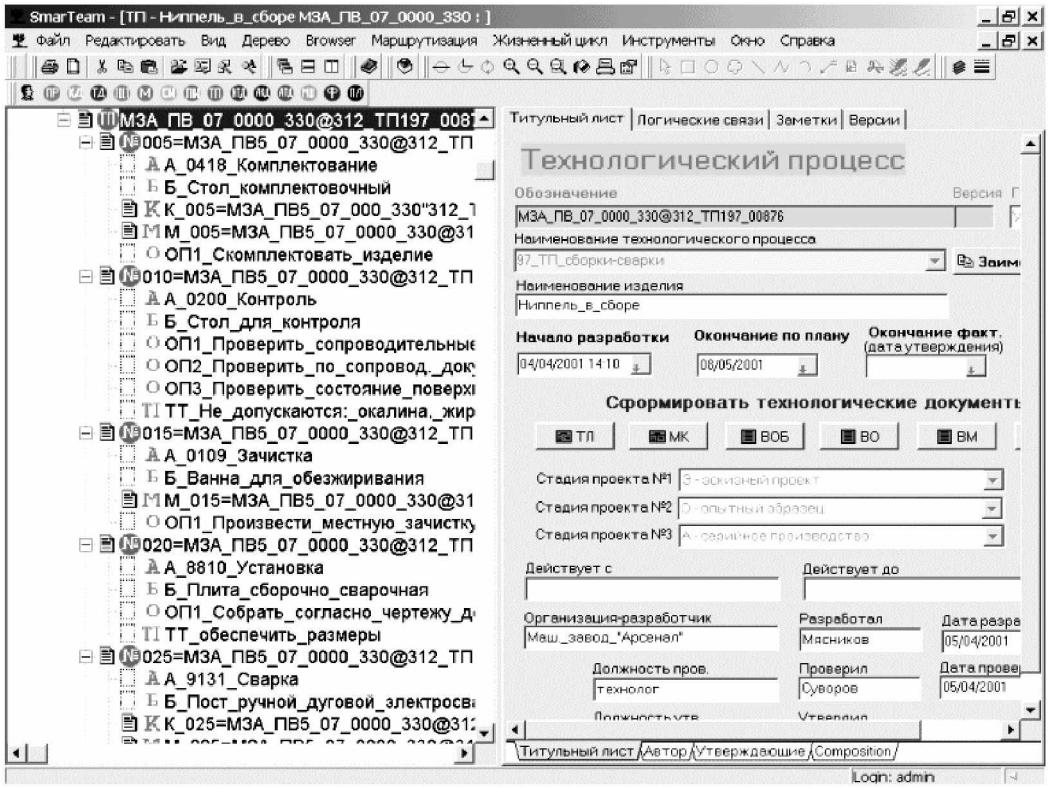


Рис. 22. Проектирование ТП в PDM SmarTeam

Выше отмечалось, что проектируемый ТП формируется в виде некоторой информационной модели. Благодаря реализованному в PDM SmarTeam объектно-ориентированному подходу (см. п. 3.2), 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 режущем инструменте, нормативно-справочная информация и др.). Она содержит в себе только ссылки – специальные указатели на местоположение этих данных. Это позволяет не только 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 CAD-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 механообработки. 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. 23).

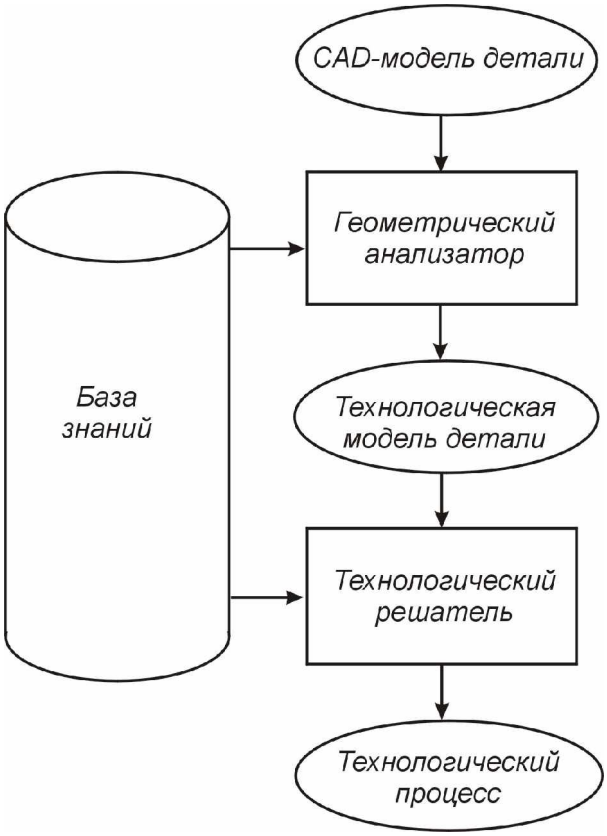


Рис. 23. Общая схема проектирования ТП на основе CAD-модели методом синтеза

После программы “Геометрического анализатор” 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.

4.2 Проектирование средств технологического оснащения

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

Автоматизация проектирования различных видов СТО на базе универсальных методов пространственного геометрического моделирования и инженерного анализа стала возможной только с появлением CAD/CAM- и CAE-систем. Возможности таких систем рассматривались в гл. 2.

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

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

Важным дополнительным средством автоматизации является использование предыдущих проектов (проектов-аналогов). Так, если конструктор уже разрабатывал “похожий” мерительный инструмент, он может решить задачу проектирования нового мерительного инструмента путем компьютерного редактирования предыдущего проекта. При этом общее время проектирования может быть сокращено в несколько, или даже в десятки, раз.

При интегрированном решении задач проектирования и технологической подготовки производства, источником геометрической информации для конструктора СТО становится модель изделия, для

которого разрабатываются данные СТО. При этом могут использоваться как отдельные размеры изделия (например, при проектировании зажимного приспособления), так и геометрия его поверхностей (при проектировании штампов и пресс-форм). Общая схема проектирования СТО в CAD-системе приведена на рис. 24.

Рассмотрим более подробно решение задач проектирования формообразующей оснастки и инструмента с применением CAD/CAM Cimatron (см. п. 2.1). При решении этих задач используются как универсальные средства системы, так и ее специализированные приложения.

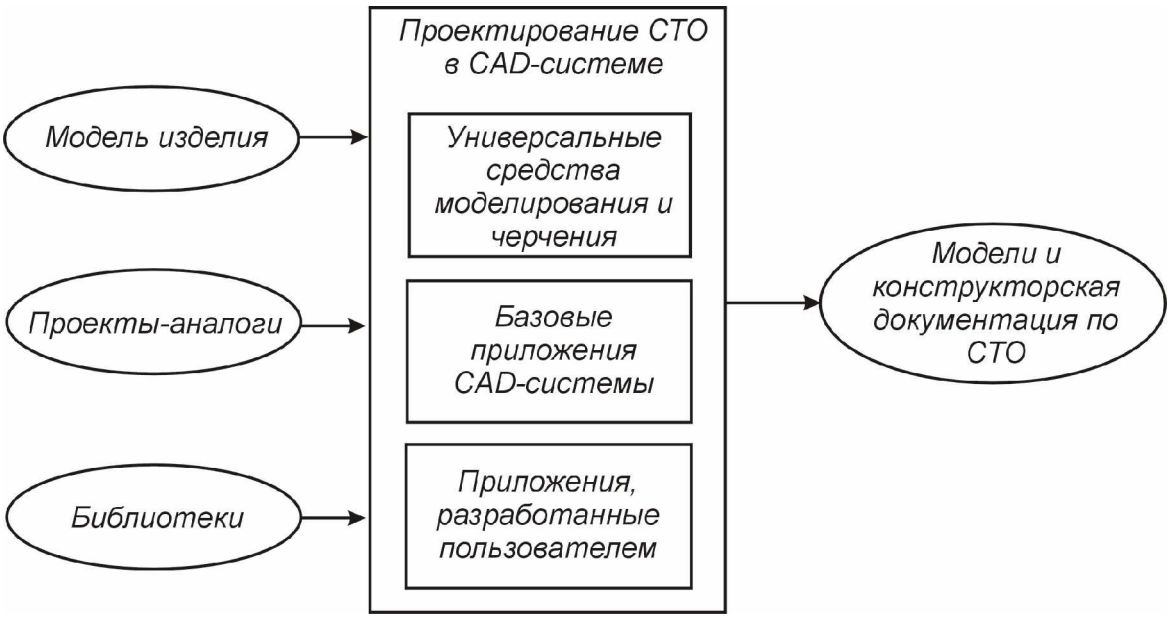


Рис. 24. Схема проектирования СТО в CAD-системе

Исходные данные для проектирования поступают в виде 3D-моделей изделий (деталей). Если модель была создана в другой CAD-системе, то она принимается через один из имеющихся интерфейсов. При работе с импортированными данными нет необходимости выполнять операции по затяжке возможных щелей между поверхностями модели. Их наличие не влияет ни на качество проектируемых объектов, ни на скорость проектирования, что является одним из преимуществ Cimatron.

Затем обычно производятся операции по отработке конструкции на технологичность. В большинстве случаев, при этом может понадобиться выполнение операций по геометрическому моделированию. Уже отмечалось, что для этого Cimatron предлагает полностью гибридную рабочую среду, единую для работы с каркасными элементами, поверхностями, твердотельными объектами. При этом пользователю предоставляются такие возможности, как создание сложных параметрических поверхностей

со скоростью твердотельной технологии, выполнение булевых операций над открытыми и замкнутыми объектами, создание уклонов, добавление галтелей, скругление углов и др.

На рис. 25 представлена модель пластмассового корпуса изделия, имеющего достаточно сложную геометрическую конфигурацию. Эту модель и работа ней будет рассматриваться здесь в качестве примера.

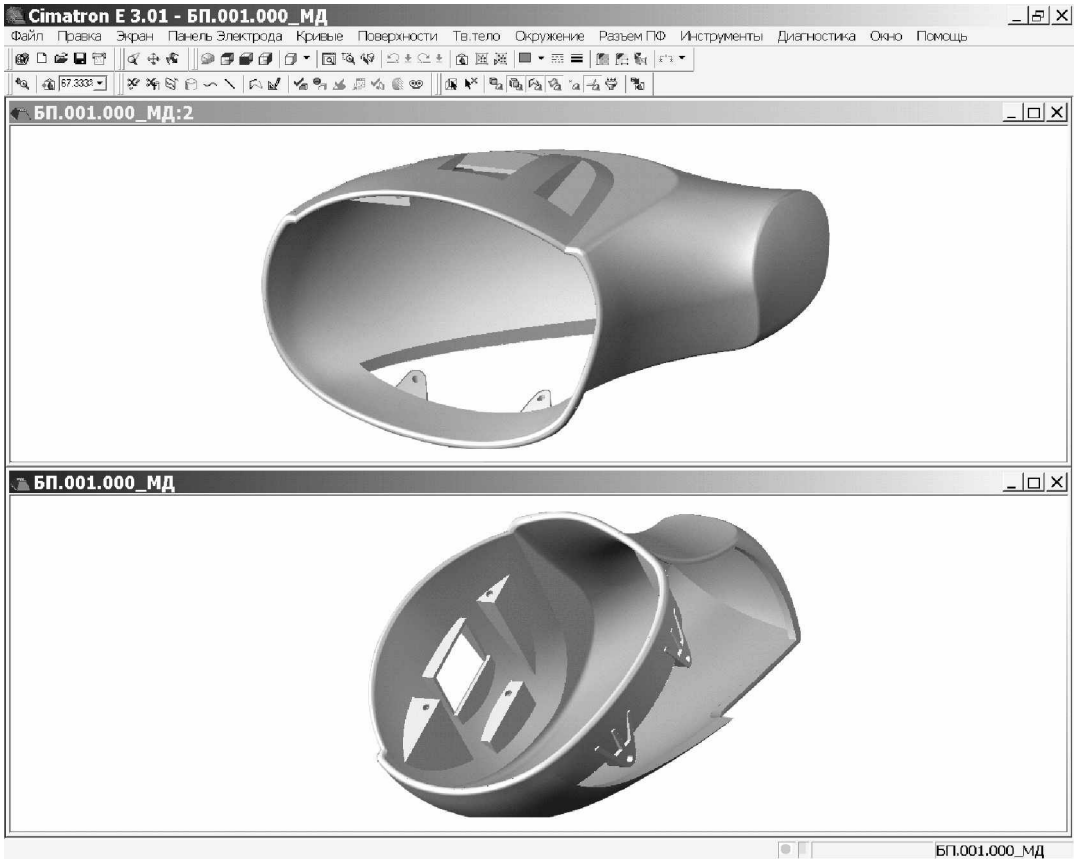


Рис. 25. Модель корпуса изделия сложной формы

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

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

Направления разъема задаются различными способами: касательно к линии, по нормали к линии или плоскости, вдоль прямой или оси

произвольной системы координат, по углу к заданной плоскости, по двум точкам или вдоль оси цилиндра или конуса. При этом определяется, к какому формообразующему набору, соответствующему главному направлению разъема (пуансону или матрице), должны относиться вертикальные поверхности. При необходимости, поверхности переносятся из одного набора в другой: указывается поверхность, а затем – набор, к которому ее нужно перенести. Перенос поверхностей может понадобиться, например, если все вертикальные поверхности должны относиться к матрице, но вертикальные поверхности какого-либо выреза на модели, с точки зрения технологичности изготовления, должны быть размещены на пуансоне. После разделения модели, с помощью специального “движка” на экране, производится динамическая визуализация перемещения наборов формообразующих поверхностей вдоль заданных направлений разъема.

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

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

Далее определяется заготовка формообразующего блока и выполняется ее разделение по формообразующим поверхностям. При этом создаются соответствующие объекты – формообразующие детали (рис. 26).

Следующим этапом является проектирование конструкции пресс-формы (рис. 27). Эту задачу можно решать двумя способами: стандартными средствами моделирования деталей и сборочных единиц, или с использованием специализированного приложения Mold Design.

Работая в Mold Design, конструктор оснастки может использовать не только стандартные каталоги деталей пресс-форм (такие как DME, EOC, FUTABA, HASCO и др.), но также создавать, вести и использовать свои собственные нормали. Система обеспечивает проектирование многоместной и шиберной оснастки, поддерживает не только 3D-модели стандартных деталей и сборок, но и ведет по ним всю совокупность информации: чертежи, спецификации и управляющие программы. Пользователю предлагаются как средства для создания 3D-модели пресс-формы, так и

специальные средства для проектирования ее подсистем – впрыска, выталкивания, охлаждения и нагрева. В системе имеются также средства анализа проектируемой оснастки, которые позволяют:

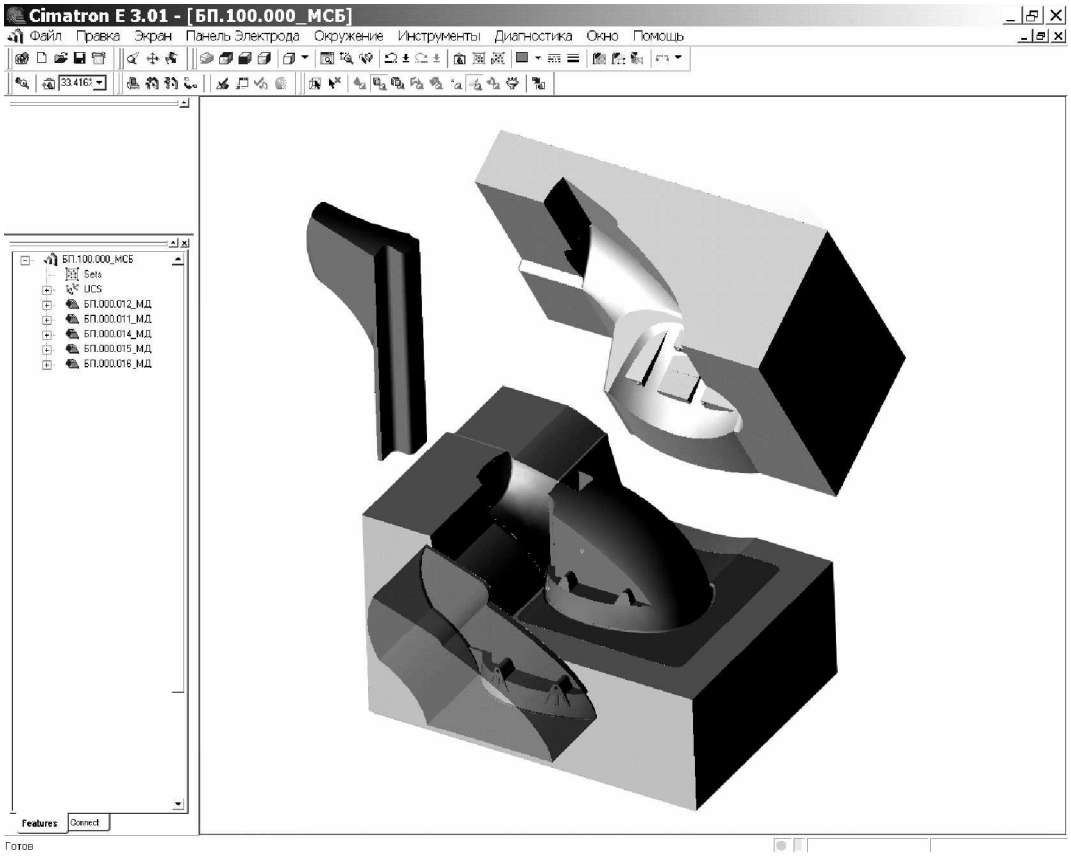


Рис. 26. Модели формообразующих деталей оснастки

- анализировать “наложения” деталей и их столкновения;
- выполнять контроль минимальных толщин стенок (расстояний до каналов системы охлаждения) деталей пресс-формы;
- определять эффективность системы охлаждения;
- выполнять реалистичную визуализацию работы пресс-формы;
- передавать данные в CAE-систему для проведения анализа процесса литья изделия (см. п. 2.2).

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

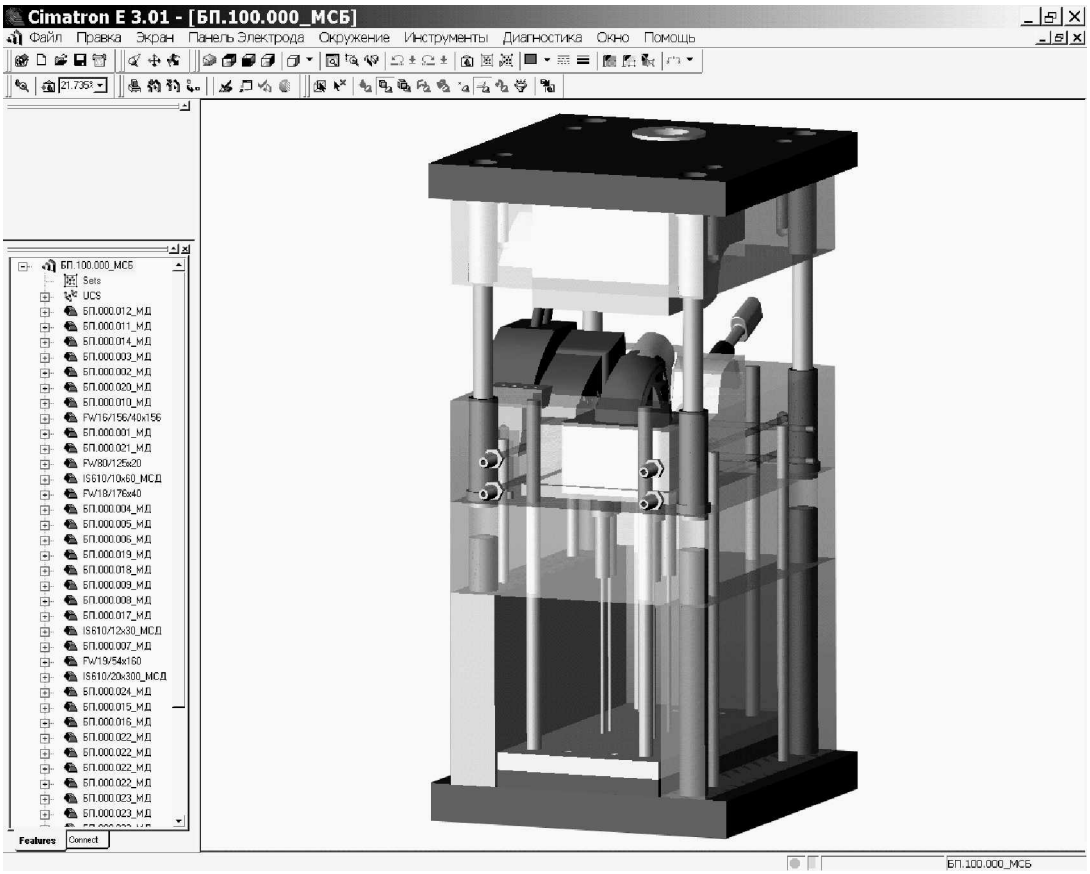


Рис. 27. Модель пресс-формы

При изготовлении формообразующих элементов оснастки часто используется электроэрозионная обработка прожигом. Для этого необходимо предварительно спроектировать и изготовить специальные электроды, которые своей рабочей частью “прожигают” заданные участки формообразующих поверхностей. Геометрия рабочей части каждого электрода идентична геометрии прожигаемого электродом участка. Электроды изготавливаются из хорошо проводящих ток материалов – меди или графита. При контакте электрода с заготовкой, материал заготовки в местах контакта подвергается эрозии под воздействием тока и вымывается жидким диэлектриком. Контакт продолжается до тех пор, пока прожигаемый участок заготовки не примет форму рабочей части электрода. Электрод классифицируется как формообразующий инструмент, который в силу его применения для изготовления оснастки (а не деталей основного производства), называют “инструментом второго порядка”.

Прожиг применяется там, где обработка фрезерованием затруднена (например, глубокий паз на поверхности) или где обработка прожигом, по тем или иным причинам, является предпочтительной по сравнению с фрезерованием. В частности, при решении альтернативы “прожиг или фрезерование” в пользу прожига, важную роль играет наличие на

предприятии современного электроэрозионного оборудования и такой уровень его текущей загрузки, который позволяет выполнить работу в плановый срок.

Проектирование электродов в Cimatron выполняется с помощью приложения QuickElectrode. Сначала пользователь определяет профиль электрода в плане (прямоугольный или круглый) и зону прожига. Одним из вариантов задания зоны прожига является указание поверхностей модели, которые надо обработать. После этого система может совместить геометрические центры зоны прожига и электрода, показать минимальные возможные размеры электрода. Другим вариантом определения зоны прожига является задание габаритов электрода, после чего при динамическом перемещении полученного контура по модели детали система подсвечивает поверхности, которые могут быть таким электродом обработаны. Этот вариант особенно удобен, когда известны размеры заготовок электродов, находящихся на складе, на заготовительном участке или закупаемых у стороннего производителя, и они внесены в базу данных. После выполнения этих действий создаются контуры, определяющие габариты заготовки электрода, и формообразующие поверхности электрода.

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

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

После создания моделей электродов можно выполнить команду полностью автоматического создания необходимых чертежей. При этом в чертеже создаются не отдельные проекционные виды, а сразу все необходимые виды с размерами, оформленной и заполненной основной

надписью чертежа, таблицами заданных при проектировании параметров. Для каждого электрода автоматически создается и карта наладки станка (рис. 28).

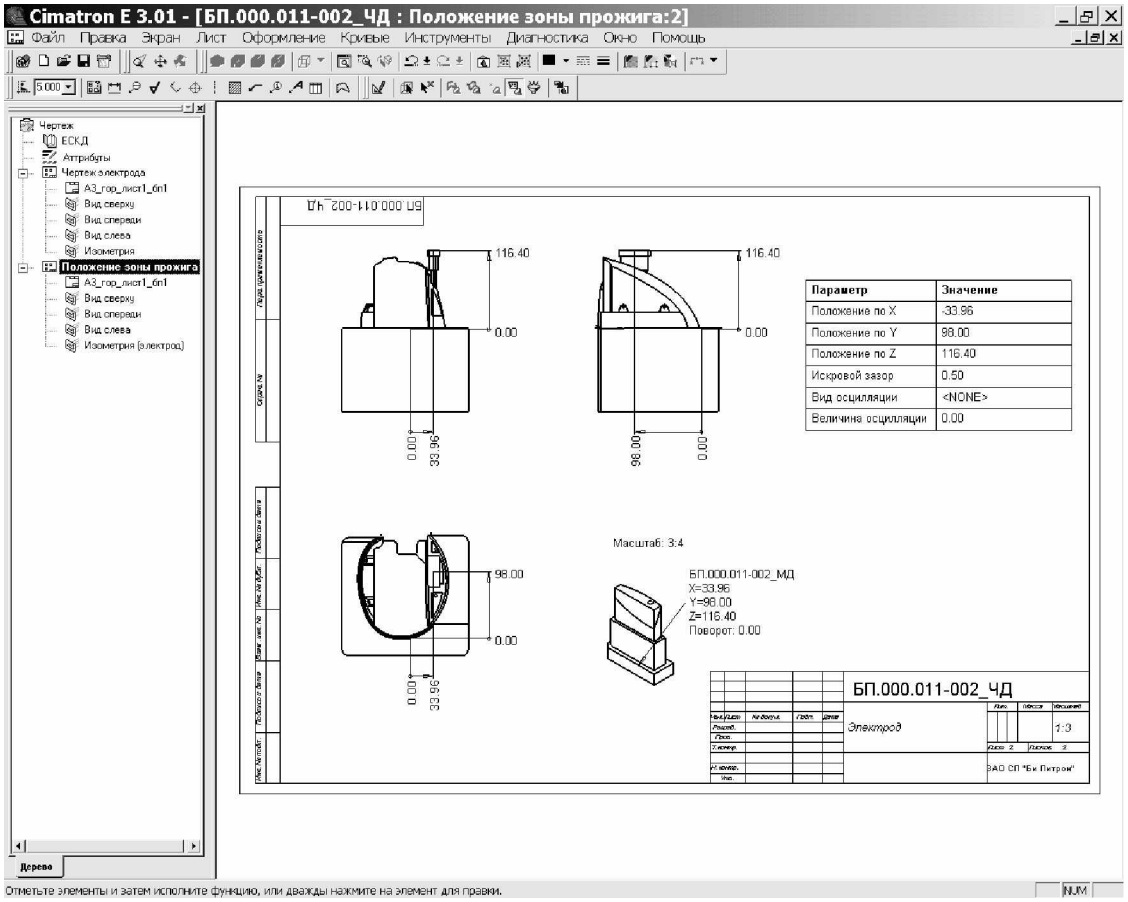


Рис. 28. Карта наладки электроэрозионного станка

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 и инструмента) в системе Cimatron 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 – система Cimatron автоматически проводит соответствующие изменения по всем этапам процесса проектирования.

4.3 Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ

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

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

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

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

- Выбор схем фрезерования (стратегий обработки) и задание параметров выбранных стратегий;
- Задание и выбор режущего инструмента;
- Выбор обрабатываемых и ограничивающих поверхностей на модели изделия (детали);
- Задание технологических режимов обработки;
- Формирование траектории движения инструмента с учетом стратегий обработки, выбранных поверхностей, режущего инструмента, автоматического контроля зарезаний и оптимизации траектории инструмента с учетом текущего состояния заготовки (рис. 29);
- 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;

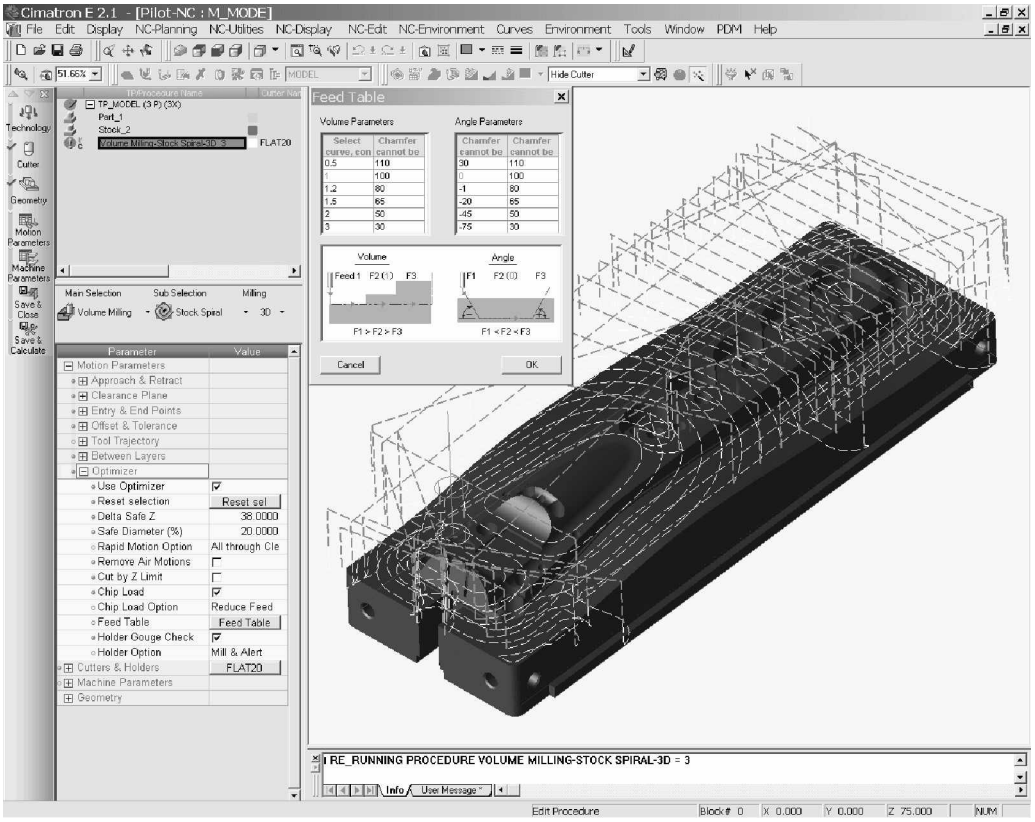


Рис. 29. Формирование траектории движения инструмента в системе Cimatron

- Поддержку алгоритмов высокоскоростной резки (HSC);
- Реалистичную визуализацию процесса обработки изделия (детали) на станке;
- Автоматическое сравнение модели обработанной детали с конструкторской моделью и контроль результатов обработки путем “раскрашивания” поверхности детали различными цветами, в зависимости от величины оставшегося припуска или величины зарезания;
- Реалистичную визуализацию перемещений исполнительных органов станка при обработке детали, с одновременным контролем столкновений инструмента и державки с приспособлениями и узлами станка;
- Формирование управляющей программы для конкретного станка с ЧПУ с помощью соответствующего постпроцессора;

- Автоматизированную разработку постпроцессоров для любых моделей станков с ЧПУ с применением генератора постпроцессоров IMSpost.

Сначала, при создании траектории движения инструмента, пользователь должен установить тип траектории, который определяет число используемых координат станка (2.5-, 3-, 4- или 5-координатная обработка). Далее устанавливается последовательность *стратегий обработки* – например, сначала послойная черновая обработка, потом получистовая обработка поверхности, потом чистовое фрезерование контура.

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

Стратегии фрезерования *Таблица*

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

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

Существует три разновидности данной стратегии – Pocketing, Waterline и Zcut. Стратегия Pocketing – это наиболее простая 2D-обработка плоских колодцев с островами. В качестве исходной геометрии для обработки достаточно задания соответствующих плоских контуров.

При технологии Waterline (3D-обработка) на уровне каждого слоя строятся так называемые ватерлинии, представляющие собой линии пересечения обрабатываемых поверхностей с плоскостью слоя. Эти линии всегда замкнуты (открытые области замыкаются внешним контуром) и фрезерование слоя ведется внутри этих замкнутых контуров. Образуемые поверхностями колодцы можно либо обрабатывать послойно целиком, переходя от одного колодца к другому, либо выполнять обработку для всех колодцев на данном слое и только потом переходить на следующий слой. Возможно дополнительное фрезерование материала, оставшегося между слоями.

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

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

Стратегия Contour Milling (Контурное фрезерование) применяется для обработки 2D- или 3D-контуров. Дополнительный выбор Pocket позволяет выполнять чистовую обработку по границам плоских или поверхностных колодцев, а выбор Profile – выполнять фрезерование произвольных профилей (контуров) за один или несколько проходов.

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

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

При высокоскоростной резке к траектории инструмента предъявляются дополнительные требования – постоянство припуска и гладкость траектории (отсутствие резких изменений направления перемещений инструмента). Система Cimatron обеспечивает выполнение этих требований. В частности, при чистовой обработке параллельными проходами, прямоугольные соединения между проходами заменяются на гладкие в виде петель (рис. 30).

Еще одна опция стратегии Поверхностного фрезерования – By Layers – обеспечивает выполнение чистового прохода вдоль границ слоев при послойной обработке. И наконец, опции Horiz Area и Vert Area дают возможность автоматически определять поверхности, близкие к горизонтальным или вертикальным (критерием близости является величина угла) и выполнять чистовую доработку только этих поверхностей. (При совместной обработке совокупности поверхностей, эти поверхности иногда оказываются “в невыгодном положении” с точки зрения полученной точности и их нужно дорабатывать отдельно.)

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

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

Стратегия Plunge Milling (Черновая обработка врезанием) является новой эффективной технологией и требует использования такого

оборудования с ЧПУ, которое обеспечивает необходимые усилия и режимы резания по оси Z. Необходим также специальный инструмент с быстрорежущими пластинами на торце фрезы. Фрезерование при данной технологии выполняется не горизонтальными перемещениями, как при послойной черновой обработке, а движениями инструмента сверху вниз, напоминая технологию сверления.

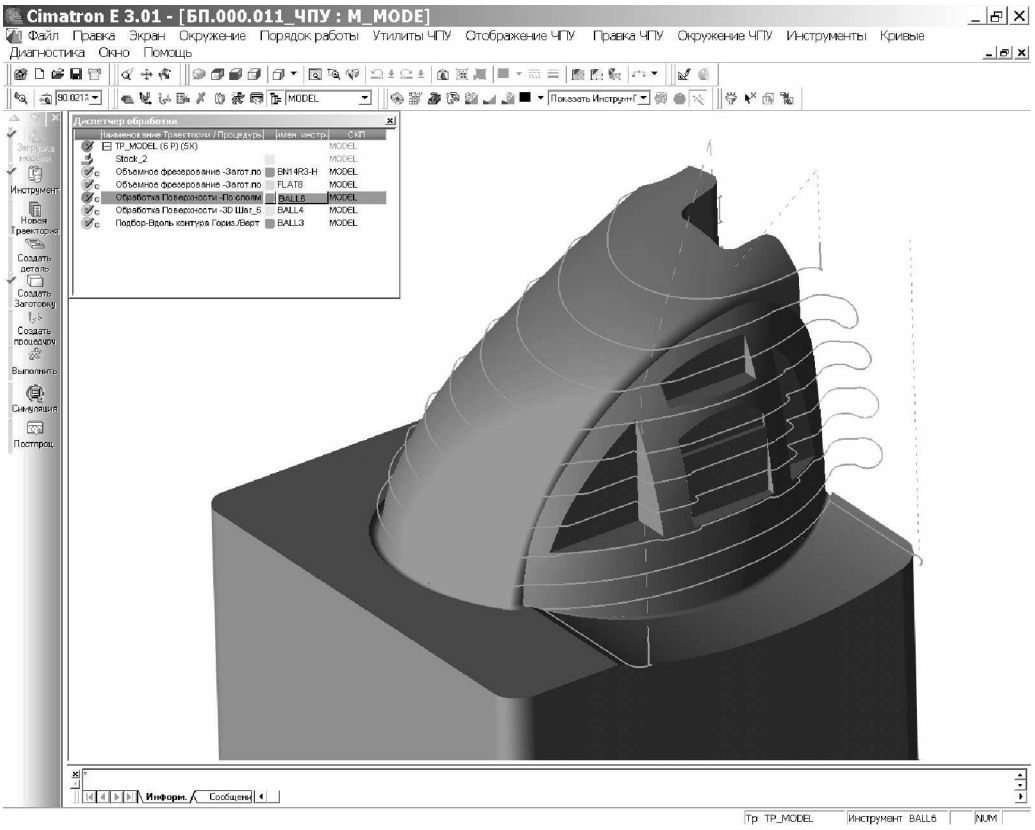


Рис. 30. Один из используемых видов петлеобразных соединений между проходами при высокоскоростной резке

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

Стратегия Pencil (Карандаш) является, как и Cleanup, одной из разновидностей доработки. Она обеспечивает выполнение одного или

нескольких чистовых проходов инструмента вдоль внутренних углов (стыков смежных поверхностей) детали.

Перечисленный набор стратегий дает в руки технологу ЧПУ эффективный набор средств для выполнения самых различных видов обработки, обеспечивает реализацию современных технологий при построении траектории движения инструмента. В результате снижается общее время обработки, улучшается ее качество, повышается эффективность эксплуатации оборудования с ЧПУ и инструмента.

В качестве примера, на рис. 31 изображена деталь формы для выдува пластиковой бутылки (геометрия детали соответствует геометрии донышка бутылки), изготовленная с применением ряда описанных выше стратегий и методов высокоскоростной резки. (Этот пример не относится к области приборостроения, но он хорошо иллюстрирует возможности высокоскоростной резки при обработке деталей сложных геометрических форм.)

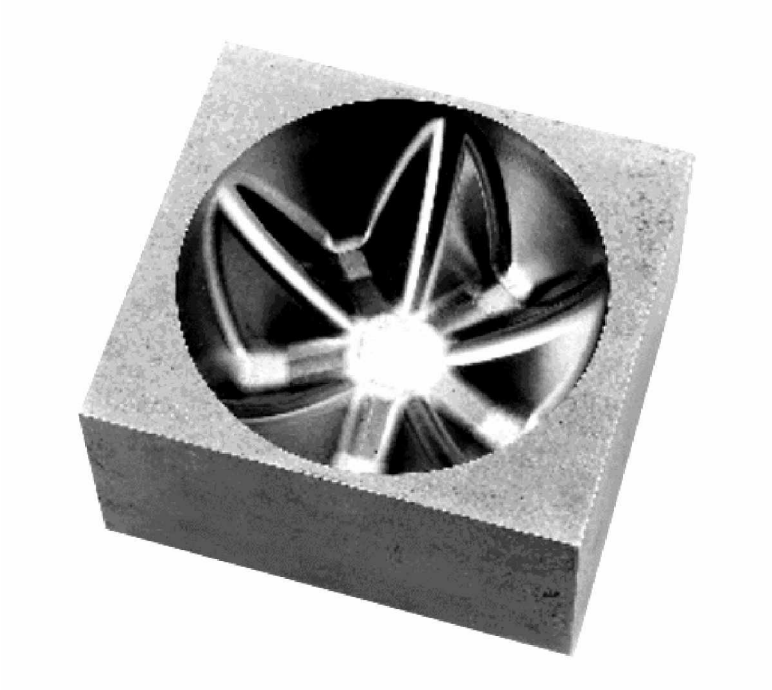


Рис. 31. Деталь формы для пластиковой бутылки, изготовленная с применением методов высокоскоростной резки

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

Затронем еще один вопрос – о методах разработки постпроцессоров для станков с ЧПУ. Постпроцессор представляет собой программу, которая транслирует рассчитанную CAD/CAM-системой траекторию инструмента в управляющую программу для конкретной модели оборудования с ЧПУ (например, для станка МАНО 800 с УЧПУ TNC 415). Как было отмечено

выше, разработка постпроцессоров выполняется с помощью генератора IMSpost.

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

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

- Действия постпроцессора по преобразованию траектории инструмента в управляющую программу описываются на специальном языке высокого уровня, в котором имеется возможность оперировать параметрами траектории инструмента и управляющей программы, как понятиями языка. Этим достигается максимальная гибкость проектирования при одновременной простоте и компактности программы действий постпроцессора;
- Параметры, определяющие формат кадра, начала и конца УП, подготовительные и вспомогательные функции и другие характеристики управляющей программы, задаются в специальных настроечных таблицах (диалоговых окнах), что дополнительно упрощает проектирование и модификацию (редактирование) постпроцессора. Во многих случаях для разработки нового постпроцессора достаточно выполнить изменения в диалоговых окнах постпроцессора, взятого в качестве аналога;
- С помощью специальных таблиц можно описать геометрию и взаимное расположение исполнительных органов и узлов станка с ЧПУ. Это обеспечивает автоматический расчет значений линейных и поворотных координат станка для каждого текущего положения инструмента, чем облегчается разработка постпроцессоров для многокоординатного оборудования с ЧПУ. Описание станка можно просматривать и редактировать в реалистичном графическом режиме. Этот режим позволяет также выполнять имитацию перемещений исполнительных органов станка при отработке УП;
- Наиболее сложные алгоритмы постпроцессирования встроены в ядро IMSpost, что избавляет разработчика от необходимости решать такие задачи, как проблема нелинейности при многокоординатной обработке, “сборка” дуги окружности путем аппросксимации серии точек и др.

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

5. Виртуальные предприятия и АСТПП

5.1 Виртуализация современного производства

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 CAE-систем, приводились примеры компьютерного моделирования процессов горячей штамповки, литья из пластмасс и др. При рассмотрении программирования обработки на оборудовании с ЧПУ, говорилось о реалистичной имитации (моделировании) процессов обработки деталей, моделировании 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, рассмотренные в п. 3.3.

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 “виртуаль-

ное 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.*

В чем же основное отличие виртуального предприятия от обычного? Говоря упрощенно, 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 компьютерного 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.

5.2 Этапы и принципы построения виртуального предприятия

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 п. 3.1 было рассмотрено их использование для формализации существующих процессов. 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 функций, 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 (см. п. 3.3) 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 (см. п. 5.1) 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. 32). При этом число партнеров в информационно-управляющей среде может быть намного больше, чем в активной сети, что приводит к новым конфигурациям деятельности специалистов предприятий.

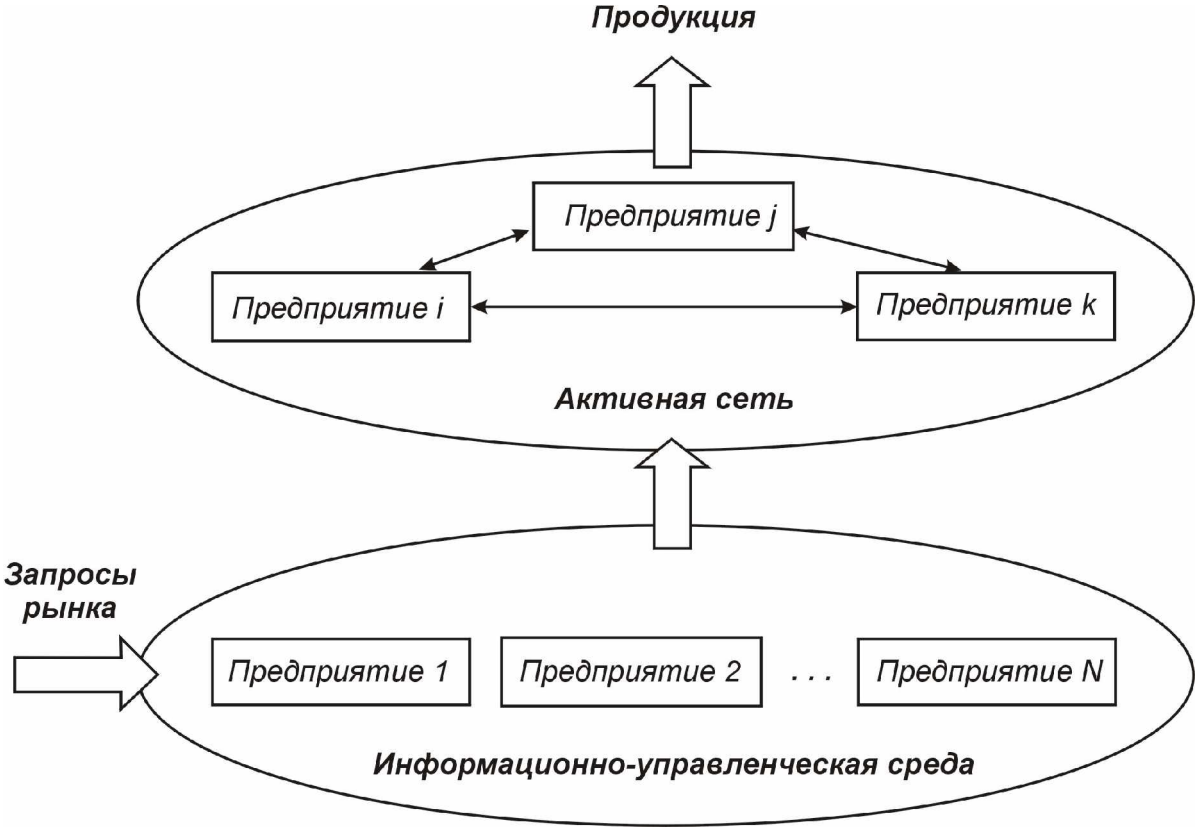


Рис. 32. Объединение в активные сети при создании виртуальных предприятий

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.

5.3 Пример подготовки производства в виртуальном предприятии

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 баночки и бутылки для пищевых продуктов, косметики, моющих средств и др.);
- детские пластмассовые игрушки (автомобили, оружие, мебель и др.);
- пластмассовые изделия спортинвентаря 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. 33.

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 CAD-систем приводит к тому, что все большая часть заказов поступает в виде 3D-моделей изделий. В таких случаях для приема и оценки заказа используется специальная система QuickConcept.

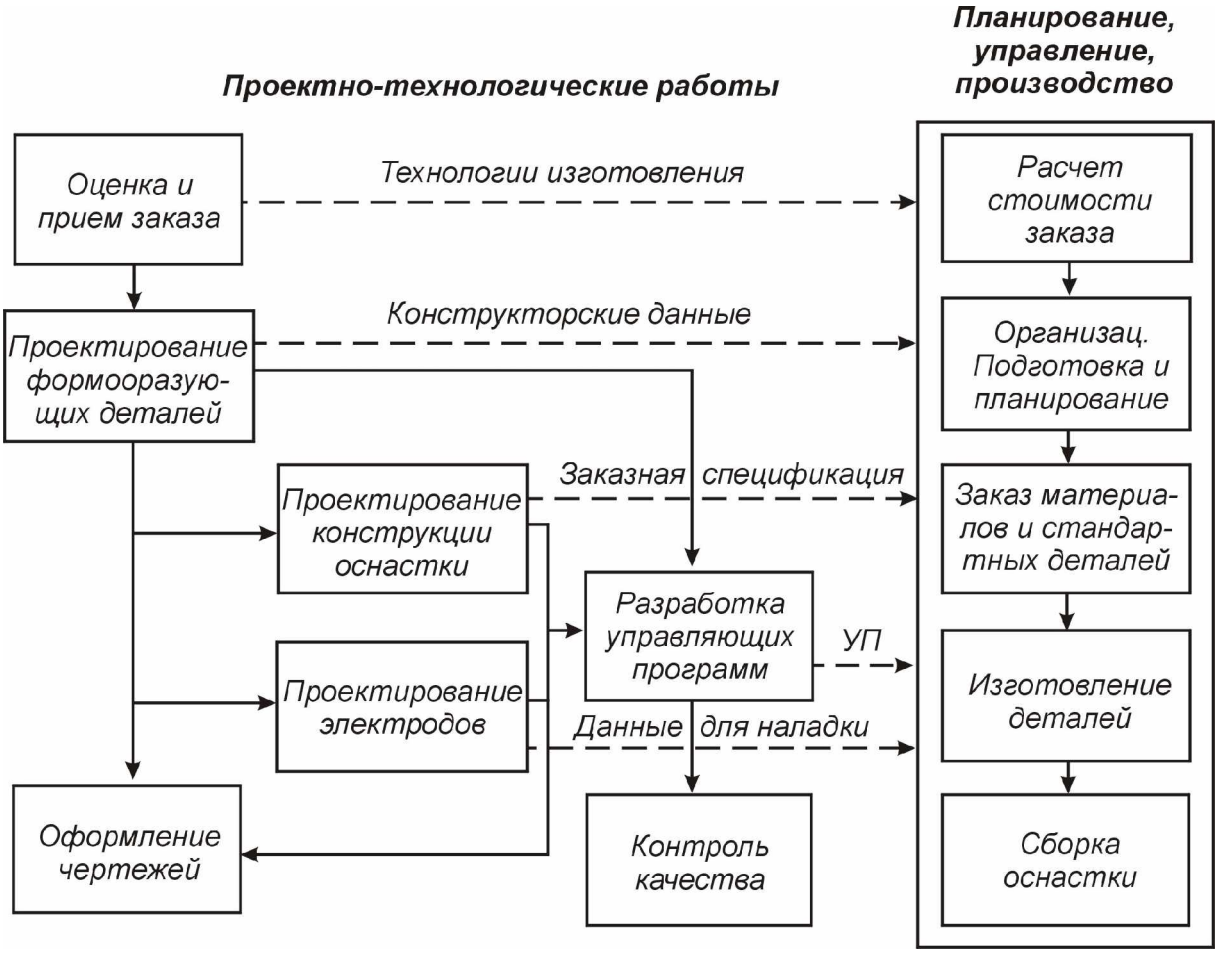


Рис. 33. Проектно-технологические задачи ТПП и их связь с производством

Система QuickConcept широко используется 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 (рис. 34), 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.

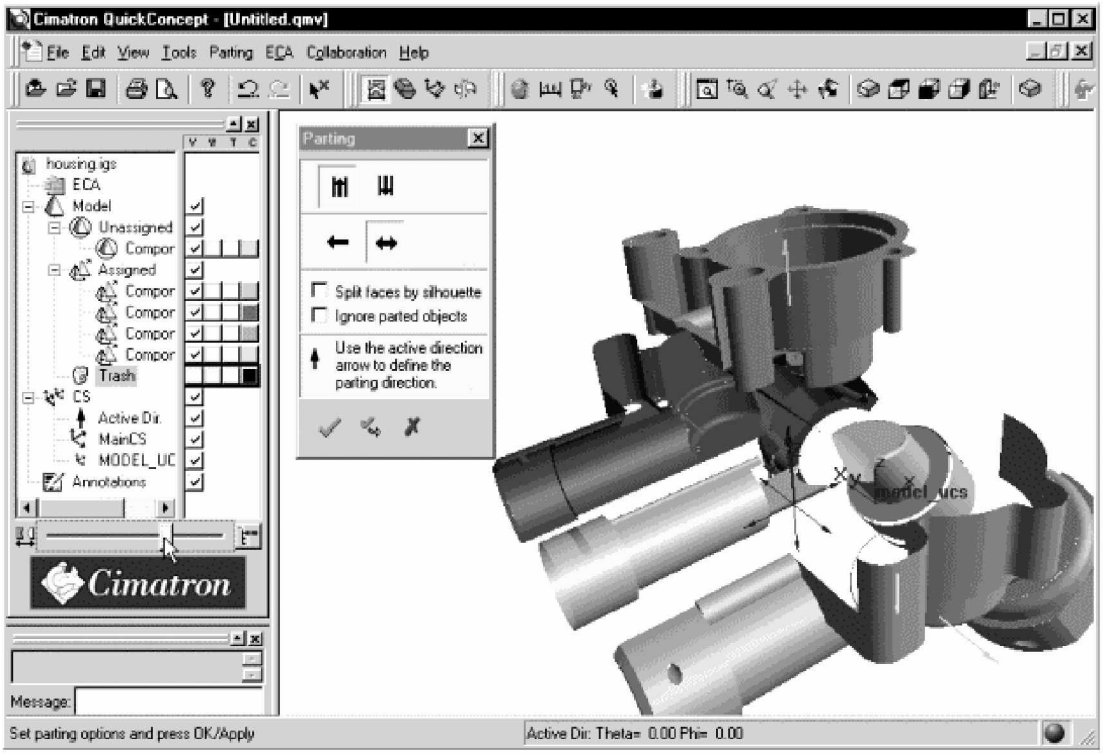


Рис. 34. Предварительный анализ оснастки в системе QuickConcept

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 (Reverse Engineering).

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

лазерным способом обмера (рис. 35). Востановление модели изделия по результатам обмера может быть выполнено с помощью специального приложения ReEnge, имеющегося в CAD/CAM Cimatron.



Рис. 35. Координатно-измерительная машина Hawk-222

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 SmarTeam. 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.

Библиографический список

1. Аверченков В.И., Каштальян И.А., Пархутин А.П. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. Мн.: Высшая школа, 1993 – 288 с.
2. Зильбербург Л.И., Марьяновский С.М., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Cimatron it – компьютерное проектирование и производство. / Под общ. ред. С.М. Марьяновского. С.-Петербург: КПЦ “Мир”, 1998 – 166 с.
3. Марка Д., Мак-Гоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования: Пер. с англ. – М.: “Метатехнология”, 1993 – 240 с.
4. Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н., Падун Б.С. Технологическая подготовка гибких производственных систем / Под общ. ред. С.П. Митрофанова. Л: Машиностроение, 1987 – 352 с.
5. Молочник В.И. Cimatron E – обработка с ЧПУ в комплексе задач предприятия. // САПР и Графика, № 10, 2001, с. 52-55.
6. Пелипенко А.Б., Яблочников Е.И. Современные тенденции в развитии CAD/CAM-технологий: ориентация на процессы. // САПР и Графика, № 9, 2001, с. 82-85.
7. Солдаткин А.Н. Программа MSC.SuperForge как один из элементов системы виртуального производства и управления качеством изделия. // САПР и Графика, № 7, 2000, с. 49-53.
8. Энгельке У.Д. Как интегрировать САПР и АСТПП: Управление и технология. /Пер. с англ.; Под ред. Д.А. Корягина.-М: Машиностроение, 1990 – 320 с.
9. Яблочников Е.И. Организация единого информационного пространства технической подготовки производства с использованием PDM SmarTeam. // Информационные технологии в проектировании и производстве, № 3, 2001, с. 22-29.
10. G. Schuh, K. Millarg, A. Goransson. Virtuelle Fabrik: neue Marktchansen durch dynamische Netzwerke. Munchen, Wien: Carl Hanser Verlag, 1998 – 160 s.
11. John MacKrell. Supporting Collaborative Product Definition via Scaleable, Web-Based PDM.-Prepared by CIMdata,Inc., 2000 – 16 p.

Оглавление

1. Технологическая подготовка производства в приборостроении 3
1.1 Промышленные изделия приборостроения и этапы их создания ... 3
1.2 Функции и проблемы технологической подготовки производства . 5
1.3 Принципы построения АСТПП 10
2. Базовые системы автоматизации проектирования и управления в ТПП 15
2.1 CAD/CAM-системы в ТПП 15
2.2 CAE-системы и моделирование технологических процессов 23
2.3 PDM-системы для управления ТПП 29
3. Методы системного синтеза АСТПП 38
3.1 Предпроектный анализ предприятия и построение моделей ТПП 38
3.2 Организация единого информационного пространства ТПП 42
3.3 Управление информацией и технологии Workflow 48
4. Компьютерное проектирование в АСТПП 53
4.1 Проектирование технологических процессов 53
4.2 Проектирование средств технологического оснащения 60
4.3 Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ 68
5. Виртуальные предприятия и АСТПП 77
5.1 Виртуализация современного производства 77
5.2 Этапы и принципы построения виртуального предприятия 80
5.3 Пример подготовки производства в виртуальном предприятии ... 83
Библиографический список 89

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, Заслуженным изобретателем СССР Юрием Григорьевичем Шнейдером разрабатаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям "Технология приборостроения" (инженер-технолог, инженер-технолог-менеджер, инженер-технолог по искусственному интеллекту в приборостроени) и "Системы автоматизированного проектирования" (инженер-системотехник). На кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров и аспирантов по названным специализациям силами семи профессоров и девяти доцентов.

Основными научными направлениями кафедры являются: научные основы организации группового производства (руководители: С.П. Митрофанов, Д.Д. Куликов, Б.С. Падун); автоматизация технологической подготовки производства (руководители: Д.Д. Куликов, Б.С. Падун, Е.И. Яблочников); регуляризация микрорельефа поверхностей деталей машин и приборов (руководители: Н.Д. Фролов, Ю.П. Кузьмин); управление функциональными свойствами поверхностного слоя деталей (руководитель: В.А. Валетов).

Кафедра имеет тесные научные и учебные связи с Университетами Германии, Франции, Китая. Наиболее способные студенты и аспиранты проходят стажировку по интересующим их проблемам в Техническом университете г. Ильменау (Германия).

Евгений Иванович Яблочников

Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении

Учебное пособие

В авторской редакции
Дизайн обложки А.Б. Грушин
Зав. Редакционно-издательским отделом Н.Ф. Гусарова
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99
Подписано к печати 20.04.2002-04-08
Отпечатано на ризографе Тираж 100 Заказ №