

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(национальный исследовательский университет)»

Н.Д. Проничев

**Современное состояние и направления совершенствования
технологической подготовки производства (ТПП) на
предприятиях двигателестроительной отрасли**

Электронный курс лекций

САМАРА

2010

Автор: ПРОНИЧЕВ Николай Дмитриевич

Курс лекций предназначен для студентов, обучающихся по специальности: 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», изучающих курсы: «Технология производства АД и ЭУ», «Технология машиностроения», «Технологические методы обеспечения надежности деталей ГТД», «Информационные технологии», и в рамках магистерской программы «Интегрированные информационные технологии в авиадвигателестроении» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов».

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

Тема 1. Перспективы внедрения инновационных технологий на предприятиях и структура основных этапов ТПП

На новом этапе развития производства в нашей стране остро обозначилась проблема его технического перевооружения, организационного преобразования и управления производством как бизнес системой. Эти три направления преобразований оказались глубоко интегрированными, а их успешное решение базируется на единой методологической основе. Такой основой является системное понятие предметной области - современного инновационного производства, а также его информационное моделирование. Важным фактором, сдерживающим внедрение инновационных технологий, является дефицит квалифицированных кадров.

Сегодня предприятиям нужны специалисты нового поколения, а также центры инновационного развития, в которых сконцентрированы новые знания, новое оборудование, новые научные и производственные возможности.

Таким образом, важным фактором, сдерживающим внедрение инновационных технологий, является дефицит квалифицированных кадров.

В стране, где раньше был явный переизбыток инженеров, сейчас исчезает даже само это понятие. Резко уменьшилось число специалистов-профессионалов, которые могут самостоятельно разрабатывать технологические процессы. Как правило, это люди пенсионного возраста. Из ежегодного выпуска молодых специалистов технических вузов на предприятия попадают единицы, остальные находят работу не по профилю. Наблюдается отток специалистов с предприятий. В итоге рушится самое важное в инновационной деятельности – стабильность и преемственность поколений.

Становится уже очевидной необходимость скорейшего вовлечения в процессы управления современным производством нового поколения специалистов, владеющих системными знаниями по сквозному использованию CAE/CAD/CAM/PDM технологий в подготовке производства. Такие специалисты должны быть способны работать в едином информационном пространстве предприятия, создавать 3D модели деталей и сборок с выпуском необходимой технической документации. Инновационность создаваемой образовательной системы заключается в обеспечении принципиально нового качества образования за счет системной интеграции теории, эксперимента, опыта и знаний в смежных предметных областях на основе моделирования и использования возможностей современных информационных технологий для совершенствования существующих образовательных программ и создания новой методологии обучения конструкторов.

Модернизация учебного производства осуществляется по следующим направлениям.

Совершенствование методологии подготовки специалистов на основе сквозного использования современных информационных технологий:

- разработка методического обеспечения для организации учебного процесса и проведения научных исследований на основе сквозного использования современных информационных технологий;
- создание базы данных параметрических моделей элементов и типовых деталей (АД, ЖРД и ДВС);
- развитие проектных работ по созданию основных модулей и систем двигателей в PDM-системе с привлечением на занятия ведущих специалистов КБ;
- расчеты рабочего процесса камеры ракетного двигателя с использованием современных газодинамических программных комплексов Ansys Fluent Ansys CFX;

- Использование автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов для проведения испытаний газотурбинных двигателей, лопаточных машин и ракетных двигателей малой тяги;
- проектирование 3D – моделей элементов проточной части ДЛА, выполнение поверочных газодинамических расчетов с помощью CFD- комплексов, их реализация в физические модели посредством технологии быстрого прототипирования и испытания на автоматизированных экспериментальных стендах.

Интеграция современных информационных технологий для численного моделирования процессов и модернизированного экспериментального оборудования в области динамики и прочности двигателей (сочетание современных методов экспериментальных исследований с возможностями численного моделирования процессов):

- разработка комплекса лабораторных работ по динамике и прочности двигателей с совместным использованием расчетных моделей высокого уровня (ANSYS) и экспериментального исследования натуральных элементов двигателей, с введением многовариантности исследования.

Реализация концепции новой методологии обучения студентов и переподготовки инженеров путем интеграции в учебном процессе современных информационных технологий и изучения конструкции аэрокосмических двигателей с использованием их натуральных макетов, используя лучшие традиции подготовки отечественных специалистов:

- формирование современного учебного класса на базе ЦИАД для сохранения мирового лидерства в области подготовки инженерных кадров для аэрокосмического двигателестроения.

Освоение автоматизированного проектирования оптимальных технологических маршрутов с необходимыми расчетами режимов обработки и нормированием, автоматизированного формирования и выпуска технологической документации, использования средств инженерного анализа формообразования заготовок, средств автоматизированного раскроя, моделирования работы современного оборудования с ЧПУ, разработки и верификации управляющих программ и постпроцессоров, контроля геометрии детали по 3D модели и пр. Они должны быть способны также изменять организацию производства с учетом возможностей оборудования и персонала, создавать организационно-экономические модели современного производства и осуществлять постоянный анализ затрат по всем составляющим технологической себестоимости на основе их четкого планирования и учета.

Для подготовки именно таких специалистов были созданы институт производственных инновационных технологий и институт акустики машин, а так же научные центры по передовым научным направлениям: Центр газодинамических исследований; Научно-образовательный центр лазерных систем и технологий; Межкафедральный учебно-научный центр CAE/CAD/CAM/PDM – технологий; Учебно-научный и производственный центр «Вибрационная прочность и надежность аэрокосмических изделий».

Эти центры позволяют решать проблемы развития двигателестроения на следующих основных принципах:

- Инновационное развитие специальностей, поддерживающих сквозное проектирование с использованием современных компьютерных технологий CAD/CAE/CAM/PDM/ERP систем в производстве, измерительного и обрабатывающего оборудования с ЧПУ.

- Удовлетворение потребности промышленных предприятий в квалифицированных кадрах, способных работать на современном технологическом оборудовании и выполнять его обслуживание.

- Обучение и повышение квалификации специалистов и рабочих, а также подготовка и переподготовка научно-педагогических кадров и специализация студентов.
- Обеспечение ввода в действие, сопровождение и развитие новых технологий в производстве, науке и образовании.
- Технологический аудит производства и внедрение передовых технологий для промышленных предприятий региона.
- Развитие инновационной деятельности при производстве наукоемкой продукции.

В научных центрах университета установлено современное металлорежущее оборудование и средства контроля, электроэрозионное оборудование и установка быстрого прототипирования, стенды по исследованию гидродинамических, акустических и вибрационных процессов.

Научно-производственная работа является базовой в структуре деятельности центров. Это основа, на которой держатся и формируются все остальные направления деятельности. Действительно, ежедневная научно-производственная деятельность центров дает информационную среду для разработки научных подходов и нестандартных технических решений, а также определяет направления учебной и методической работы.

В настоящее время институт производственных инновационных технологий стал важным звеном в региональной системе развития инновационного производства, а его сотрудники с участием студентов выполняют производственные заказы различных предприятий, при этом в ходе выполнения этих работ формируется и аккумулируется необходимый производственный опыт.

Институт активно взаимодействует с различными предприятиями по следующим направлениям: технологический аудит и выбор моделей закупаемого оборудования; повышение квалификации специалистов по CAE/CAD/CAM технологиям; автоматизация документооборота на основе PDM систем; разработка организационно экономических моделей с использованием MRPII/ERP систем; отработка технологии контроля и контроль сложнопрофильных деталей по 3D моделям; обратный инжиниринг; изготовление прототипов изделий; разработка инновационных технологий и изготовление опытных партий деталей; разработка управляющих программ и постпроцессоров для обрабатывающих центров с ЧПУ; подготовка операторов станков с ЧПУ.

Постоянно ведутся работы по созданию научно-технического задела для решения проблем подготовки производства и разработки технологических процессов изготовления уникальных деталей. Основными направлениями научных исследований позволяющие повысить эффективность производства:

- изучение физических основ процесса резания специальных материалов в условиях высокоскоростной обработки, создание моделей высокого уровня и компьютерных баз оптимальных технологий изготовления маложестких деталей ГТД;
- повышение ресурса высоконагруженных деталей технологическими методами при реализации инновационных технологий их изготовления;
- разработка научных основ создания оптимальных технологий контроля геометрии сложнопрофильных высокоточных элементов деталей ГТД по их объемным моделям;
- разработка научных основ создания виртуального инновационного производства и обеспечении его высокой эффективности на этапе моделирования всех элементов производственной бизнес-системы.

Самарский государственный аэрокосмический университет становится центром компетенции в области некоторых этапов проектирования аэрокосмических двигателей: Проектирование 3D моделей проточной части ДЛА, формирование конструктивной схемы, проектирование важнейших элементов и систем двигателей. Сквозное использование компьютерных технологий в подготовке производства, создание современных инновационных технологий, разработка моделей виртуального двигателя и виртуального производства.

Этап технологической подготовки производства (ТПП) занимает важнейшее место при реализации жизненного цикла изделий в авиадвигателестроении. Комплексное моделирование этого этапа позволит существенно сократить продолжительность освоения серийного выпуска, повысить уровень отработки технологических процессов на основе обобщения знаний и опыта, накопленных предприятиями отрасли, существенно повысить производительность труда на производстве.

При разработке алгоритма моделирования ТПП необходимо использовать методы системно-структурного анализа и рассмотреть следующие базовые модели:

- технологические модели изделия, описывающие конструктивно-технологические особенности деталей и сборочных единиц, их связь с возможностями современного оборудования (выявленные особенности должны являться исходными данными для подсистемы технологического проектирования);
- модели технологической среды, включающие описание операций, переходов, технологического оснащения, оборудования, режущего инструмента и др., а также связей между ними, алгоритмов и правил выбора и оценки технологических решений;
- модели технологических процессов, описывающие взаимодействие элементов технологической системы, включающие групповые технологии, управляющие программы, операционный и окончательный контроль и т.д.

Технологические модели изделия разрабатываются на основе конструкторских моделей с использованием классификатора конструкторско-технологических решений, а также базовых принципов оценки технологичности с учётом особенностей применяемых методов обработки и технологического оборудования.

Основными компонентами модели технологической среды являются:

- иллюстрированные классификаторы деталей и сборочных единиц;
- сортаменты основных и вспомогательных материалов и полуфабрикатов;
- нормалы на крепёжные элементы, клеевые, паяные и сварные соединения;
- каталоги оборудования, инструмента, оснастки;
- библиотека словарей технологических операций изготовления и сборки;
- библиотека нормативно-технической документации;
- типовые технологические процессы изготовления деталей различных классов и сборочных единиц;
- каталоги нормализованных и типовых элементов и узлов технологической оснастки.

Проектирование на основе типовых конструктивно-технологических решений (КТР) является наиболее распространённым методом автоматизации технологического проектирования. Поэтому построение классификаторов и библиотек КТР – одно из главных направлений создания моделей технологической среды (МТС). Методика анализа и классификации элементов технологической среды достаточно хорошо отработана, а созданные ранее классификаторы деталей, сборочных единиц, технологических процессов и оснастки до сих пор используются на производстве.

Тема 2. Модели ТПП, реализуемые на производстве. Основные принципы структурирования информации для эффективной автоматизации ТПП

Для того, чтобы библиотеки КТР были доступны для широкого круга пользователей, необходимо, чтобы их структура и средства разработки были регламентированы.

Создание МТС является приоритетным направлением разработок, поскольку речь идёт о сохранении и развитии национальной интеллектуальной собственности – технологической среды аэрокосмической отрасли.

Такая модель должна включать базы данных по различным направлениям подготовки производства, которые обобщают опыт по направлениям ТПП, являются доступными для различных пользователей и позволяют автоматизировать все базовые этапы подготовки производства изделий.

При этом обеспечивается хранение в цифровом формате нормативно-технологической документации с учётом CALS-стандартов и эффективного функционирования CAD/CAM/CAE систем.

Можно выделить два уровня таких моделей – отраслевой и заводской. Отраслевой уровень должен интегрировать компоненты информационного обеспечения общие для предприятий отрасли.

Модели предприятия объединяют специфические компоненты информационного обеспечения каждого предприятия.

Модели технологической среды разрабатываются на этапе технологической подготовки производства, но могут использоваться и на других этапах ЖЦ:

- при разработке изделия – для отработки технологичности вариантов конструкции и оценки технологической составляющей в общей стоимости проекта;
- при постановке изделия на производство – для разработки план-графиков, расчётов объёма выпуска, материальных потоков, объёмов информационных и финансовых ресурсов;
- при производстве изделий – для управления и логистической поддержки производственных процессов.

Чтобы обеспечить доступ специалистов разного профиля (конструкторов, плановиков, управленцев, снабженцев и т.д.) к информации, содержащейся в технологических процессах, необходимо, чтобы модели технологических процессов хранились в стандартной форме и входили в состав единой интегрированной информационной модели изделия (PDM-модели).

Речь идёт не о стандарте на форму технологических документов (карт, ведомостей, и т.д.), а о стандарте на внутренне представление технологических процессов. Модель технологического процесса, созданного в соответствии со стандартом, может использоваться:

- для формирования комплекта технологической документации или для получения дополнительных документов по запросам;
- для организации параллельной работы различных подразделений предприятия в режиме совместного использования данных;
- для передачи технологии на заводы-смежники в рамках функционирования виртуального предприятия.

МТС должна включать:

- идентификационную часть (наименование, обозначение и код по классификатору, ссылку на изделие, фамилии разработчиков, даты разработки и утверждения и т.д.)
- структурную часть в виде совокупности ссылок на базовые таблицы, описывающих:
 - характер воздействия (ссылки на операции и переходы),
 - объект воздействия (ссылки на изделие или его элемент),
 - условия воздействия (характеристики операций и переходов),
 - средства воздействия (ссылки на оборудование, инструмент, оснастку);
- параметрическую часть, включающую:
 - параметры изделия (до и после воздействия),
 - параметры технологических режимов,
 - технико-экономические параметры (трудоемкость, цикл и т.д.).

Поскольку элементы структурной части могут иметь как лингвистическое описание (словари операций, переходов, оборудования и т.д.), так и геометрические образы (электронные макеты), то технологические процессы могут получаться в виде текстовых документов и в виде цифровых моделей.

При проектировании рабочей технологии на основе типовых технологических процессов производится корректировка ссылок на объект воздействия, при этом элементы типового изделия заменяются на элементы реального изделия. Если типовой технологически процесс в базе данных отсутствует, то формирование модели рабочего технологического процесс может осуществляться напрямую по базовым таблицам модели технологической среды.

Модель технологической подготовки производства может быть реализована на основе специального программно-методического комплекса (ПМК ПП), который предназначается для решения в режиме параллельного проектирования следующих задач конструкторской и технологической подготовки производства изделий авиационной техники:

- Формирование и ведение базы данных основной конструкторской документации (спецификаций, электронных макетов, чертежей и т.д.);
- Проектирование технологических процессов заготовительных производств;
- Проектирование маршрутных и операционных технологических процессов механообрабатывающего производства;
- Проектирование технологических процессов сборки;
- Проектирование и изготовление технологической оснастки, управляющих программ для современного технологического оборудования.

ПМК ПП позволит:

- Разработать информационную среду конструкторской и технологической подготовки производства на основе отечественной нормативно-технической и справочной документации;
- Создать и отработать систему электронного документооборота предприятия;
- Организовать совместную работу конструкторов и технологов в режиме параллельного проектирования;
- Создать современное высокоэффективное производство.

ПМК ПП должен обеспечить:

- Значительное сокращение ошибок в документах. Атрибуты или параметры, однажды определённые в каком-либо документе, передаются в другие документы автоматически в соответствии со схемой информационных взаимосвязей;
- Подготовку исходных данных для технологического проектирования. Формирование технологических моделей деталей и сборочных единиц (описание элементов, свойств, параметров, присвоение конструктивно-технологических кодов и т.д.) осуществляется с использованием встроенных иллюстрированных классификаторов, электронных справочников и каталогов;
- Пространственную отработку технологических процессов. Операции технологического процесса (перемещение, установка, съём, выполнение соединений и т.д.) моделируются в пространстве как взаимодействие электронных макетов изделия, оборудования, инструмента, оснастки;
- Создание информационной среды предприятия. Осуществляется за счёт адаптации отраслевых баз данных и формирования классификаторов, каталогов, справочников, типовых технологических решений (процессов, оснастки и т.д.) с учётом специфики предприятия.

При моделировании технологической подготовки производства (ТПП) необходимо создать комплекс взаимосвязанных моделей (рисунок 1).

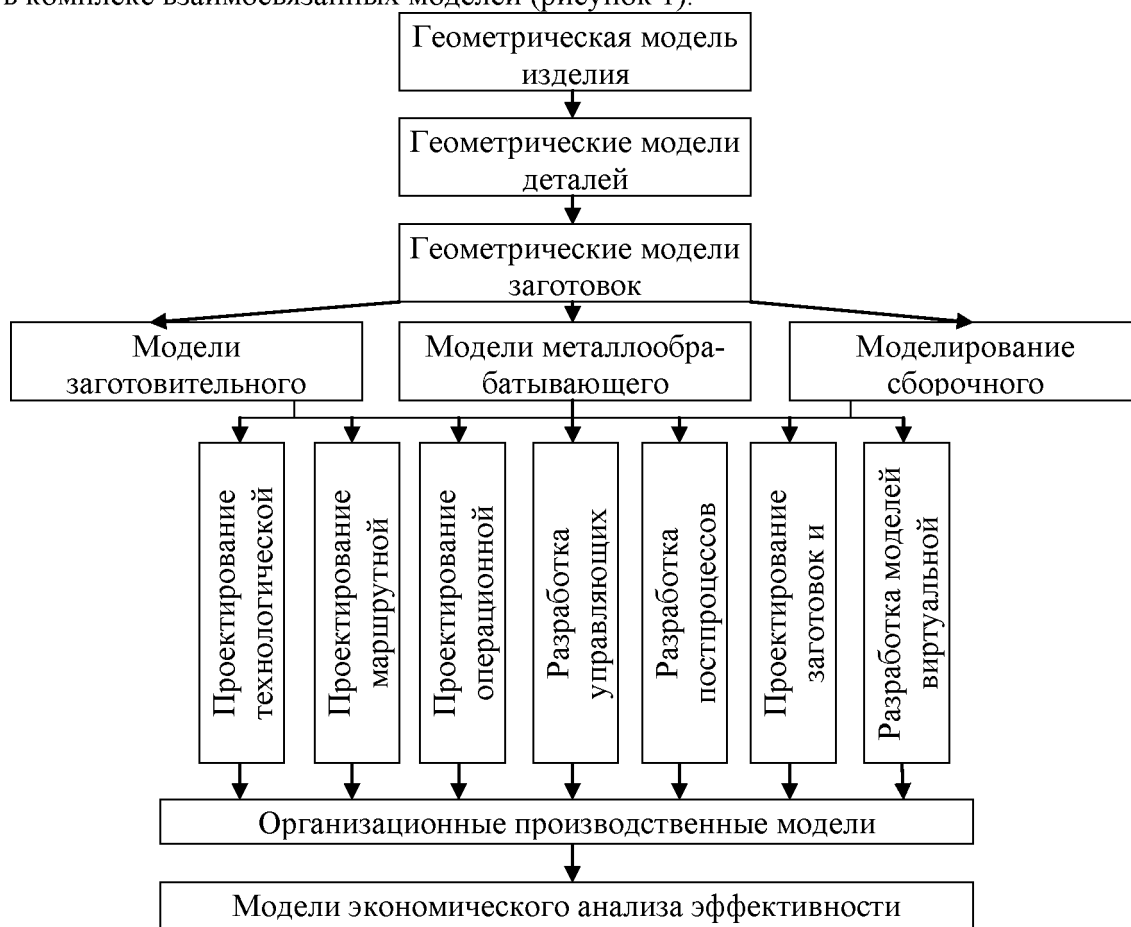


Рисунок 1 -Геометрическое моделирование изделий позволит решать следующие задачи:

- обеспечить формирование и ведение баз данных основной конструкторской документации (спецификаций, электронных макетов, 2D и 3D-моделей и др.);
- разработать информационную среду конструкторской и технологической подготовки производства на основе отечественной нормативной и справочной документации;
- создать и отработать систему электронного документооборота;
- организовать совместную работу конструкторов и технологов в режиме параллельного проектирования;

При моделировании заготовительного производства решаются следующие задачи:

- создаются 3D-модели заготовок путём преобразования моделей деталей с учётом закономерностей формообразования для выбранного метода обработки;
- разрабатывается заготовительная технологическая оснастка на основе компьютерного преобразования модели заготовки;
- моделируется процесс формообразования и проводится оптимизация режимов реализуемых в технологическом процессе;
- разрабатывается технологический процесс получения заготовки, а также технологический процесс изготовления оснастки, создаются управляющие программы для станков с ЧПУ по компьютерным моделям деталей оснастки;

Автоматизация ТПП в металлообрабатывающем производстве должна основываться на компьютерном моделировании этапов создания и реализации оптимальных техпроцессов.

При создании многономенклатурного производства необходимо обеспечить технологические и организационные условия реализации групповой обработки. В процессе создания современного «умного» металлообрабатывающего производства необходимо решать следующие задачи:

- формировать оптимальный маршрут с указанием оборудования и оснастки;
- формировать операционную технологию с минимальным набором операций с определением состава переходов и их последовательности;
- определить оптимальные параметры переходов, в том числе:
 - метод обработки,
 - режущий, измерительный и контрольный инструмент,
 - точность и шероховатость обработки на всех этапах ТП,
 - межоперационные исполняемые размеры, рассчитанные припуски на механическую обработку;
- формировать операционные эскизы;
- формировать карты технологической документации в соответствии с ЕСТД.

Структура такой системы представлена на рисунке 2. Система открыта для расширения по решаемым функциям и повышения уровня автоматизации проектных решений.

Исходной информацией для проектирования технологических процессов являются:

- паспортные характеристики детали, включающие код группы, к которой относится деталь, №№ цеха и участка, материал, шифр детали и др.
- конструктивные особенности, уточняющие конкретные параметры детали (по запросу системы);
- размерные характеристики по чертежу (номинал, допуски или качество).

Технологическая база знаний включает:

- библиотеку комплексных маршрутов;
- библиотеку комплексных операций;
- библиотеку параметрического описания переходов;
- графическую библиотеку операционных эскизов с параметрически заданными размерами;
- нормативно-справочную информацию (таблицы припусков, допусков и посадок, оборудования и др.)
- библиотеку конструктивно-технологических признаков, определяющих правила выбора операций и переходов.

При формировании технологической базы знаний для каждой предварительно определённой группы деталей разрабатывается:

- модель комплексной детали;
- комплексный технологический процесс, включающий:
 - комплексный маршрут,
 - комплексные операции,
 - параметрическое описание переходов,
 - комплект операционных эскизов с указанием обозначений размеров (без числовых значений).

Комплексный технологический процесс заносится в соответствующие библиотеки системы заданной структуры с использованием нормативно-справочной информации из базы данных системы, оформленной в виде меню; определяются конструктивные признаки в рассматриваемой группе деталей, предопределяющие конкретные варианты операций и переходов в комплексном технологическом процессе, и заносятся в соответствующую библиотеку



Рисунок 2

Одним из важнейших этапов ТПП является выбор или проектирование технологической оснастки. При создании групповых технологий требования к оснастке существенно возрастают, так как необходимо обеспечить быструю переналадку при запуске в производство различных деталей. Автоматизированная система должна обеспечить оптимальное проектирование оснастки.

В качестве основного метода проектирования используется компоновка конструкции оснастки с использованием параметризованных типовых и нормализованных элементов. Источниками разработки информационного обеспечения системы автоматизированного проектирования являются авиационные нормали на типовые элементы.

Для разработки параметрических моделей элементов конструкции оснастки используются возможности языков графического моделирования. Создаваемые трёхмерные модели изделия, детали и приспособления позволяют производить совместную отработку и увязку параметров изделия и оснастки.

В системе выделено два уровня: схемное и рабочее проектирование. На уровне схемного проектирования решается задача компоновки приспособления из функциональных конструктивных элементов. Расположение элементов приспособления в пространстве осуществляется путём совмещения базовых поверхностей и осей с соответствующими элементами детали. В интерактивном режиме возможно конструирование уникальных конструкций приспособлений. После завершения и дополнительной корректировки взаимного пространственного расположения производится оформление чертежа технологической оснастки.

Разработанные модели приспособления и его элементов могут передаваться в подсистемы проектирования технологии изготовления оснастки (в том числе на оборудовании с ЧПУ).

Основными компонентами систем автоматизированного проектирования технологической оснастки являются:

- базы данных конструктивных схем приспособлений, их нормализованных элементов, а также технологических процессов;
- программно-алгоритмическая среда, поддерживающая выполнение процедур по синтезу, компоновке и расчёту приспособлений;
- САЕ-модели для силового и геометрического моделирования;
- Компьютерные модели анализа точностных параметров.

Окончательно качество приспособлений формируется в процессе их окончательной сборки, при этом важнейшим требованием является обеспечение высокой точности назначенных конструктором сборочных параметров.

Наиболее сложной задачей автоматизации ТПП является обеспечение автоматизации этапа сборки изделия. Созданы системы автоматизированного проектирования технологических процессов сборки изделия и отдельных сборочных единиц, которые позволяют выполнить следующие процедуры:

- ввод паспортной и организационно-технической информации на сборочную единицу (СЕ);
- формирование технологической модели СЕ
- формирование схемы и маршрутно-технологического процесса сборки;
- проектирование операционной технологии;
- автоматизация выпуска маршрутных и операционных карт;

- архивирование технологической сборочной документации.

В модель технологической среды сборочных работ входят: классификаторы деталей, сборочных единиц, изделий, словари маршрутов, операций и переходов, электронные каталоги оборудования, инструмента и оснастки, база данных по видам соединений, электронные справочники для расчёта технологических режимов и нормирования технологических процессов, база данных типовых маршрутов сборки.

Проектирование нового технологического процесса возможно как на базе типового маршрута, так и индивидуально. Выделено два этапа: проектирование маршрутной технологии и проектирование операционной технологии. Исходными данными для проектирования являются:

- электронный макет, чертежи и технические условия на сборку;
- электронная конструкторская спецификация;
- электронная спецификация соединений.

Основными внешними информационными компонентами автоматизированных систем проектирования технологической оснастки являются:

- директивные технологические материалы;
- технологическая модель сборочной единицы;
- модель технологического процесса сборки.

Директивные технологические материалы включают в себя схему конструктивно-технологического членения, схему сборки и схему базирования изделия, сборочных единиц и деталей при сборке.

Технологическая модель СЕ формируется из базы данных «Изделие» и содержит: базовые оси изделия и поверхности под базирование и фиксацию конструктивных элементов СЕ, частичные геометрические модели (электронные макеты) деталей и элементов конструкции. Вспомогательные элементы СЕ моделируются схематично. Соединения задаются только в том случае, если по ним происходит базирование или они выполняются в сборочном приспособлении (СП) с использованием встраиваемого оборудования.

Модель технологического процесса сборки формируется из БД «Технологические процессы» и содержит состав и последовательность операций по установке и снятию элементов изделия в процессе сборки, по выполнению соединений в рабочей зоне СП учётом перемещений деталей и рабочих элементов приспособления в процессе сборки и выемки готового изделия.

Взаимодействие трёх моделей: СЕ, СП и ТП сборки позволяет выполнить пространственную компоновку и динамическую отработку процесса сборки изделий.

Основой для объединения различных информационных моделей и формирования интегрированных электронных спецификаций изделия является База данных проекта, куда в качестве одного из разделов заносится электронная документация на спроектированную технологию. Для обеспечения возможности навигации по электронным спецификациям в Базе данных проекта должны быть описаны ассоциативные связи между элементами моделей (деталь СЕ – элемент СП – операция ТП и т.д.), что позволит формировать единое информационное пространство технологического проектирования.