

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Введение в системы трехмерного проектирования</b> .....	<b>5</b>
1.1. Современные концепции проектирования изделий.....	5
1.2. Этапы проектирования изделий и работа с данными в 3D-САПР .....	11
1.3. Подходы к проектированию. Обзор САПР Solid Edge .....	15
<b>Глава 2. Практическая работа в САПР Solid Edge</b> .....	<b>27</b>
2.1. Начало работы с САПР Solid Edge. Интерфейс, основные команды управления.....	27
2.2. 2D-эскизы в синхронной среде .....	34
2.3. Построение и редактирование геометрических 3D-элементов.....	57
2.4. Создание процедурных элементов .....	88
2.5. Размножение элементов.....	96
2.6. Библиотеки конструктивных элементов .....	104
2.7. Создание сборочных единиц .....	105
2.8. Работа с большими сборками.....	149
2.9. Разработка конструкторской документации .....	165
2.10. Работа с внешними данными.....	201
2.11. Организация совместной работы над механической и электронной частями изделия.....	216
2.12. Создание проводных, кабельных и жгутовых соединений .....	235
2.13. Установка, настройка и администрирование САПР Solid Edge .....	261
<b>Заключение</b> .....	<b>269</b>
<b>Литература</b> .....	<b>270</b>

# Предисловие

Проектирование современных изделий приборостроения трудно представить без участия САПР, реализующих 3D-моделирование создаваемых объектов. В рамках передовых концепций поддержки жизненного цикла изделия 3D-моделирование остается центральной составляющей всего процесса работы с изделием, с помощью которой инженер-конструктор создает 3D-модели деталей и сборочных единиц, а также комплект конструкторской документации. В условиях активного внедрения в конструкторскую практику современных САПР, перехода предприятий на электронный документооборот, появления государственного стандарта на электронную модель изделия становится очевидной важность подготовки молодых специалистов в области САПР в учебных заведениях высшего образования РФ. Решению этой задачи посвящено данное учебное пособие, нацеленное на получение студентом необходимых теоретических сведений и практических навыков 3D-проектирования с рассмотрением задач, характерных для предприятий приборостроительной отрасли.

Пособие состоит из двух частей. В первой части, теоретической, представлен обзор современных концепций проектирования изделий с применением САПР, описана концепция поддержки жизненного цикла изделия (PLM), принципы функционирования и входящие в ее состав подсистемы, организация электронного документооборота. Здесь приведена краткая история развития САПР, описана классификация систем автоматизированного проектирования по различным критериям.

Во второй части пособия, посвященной практическим аспектам, создание изделий рассматривается на основе одной из самых популярных в производстве и динамично развивающихся, в том числе и в России, САПР среднего уровня – Solid Edge®, разрабатываемой и поддерживаемой компанией Siemens PLM Software. В книге приводится сравнение современных подходов к моделированию – параметрического (с деревом построения) и прямого (работающего непосредственно с геометрией модели). Практический материал в учебном пособии ориентирован на использование реализованной в САПР Solid Edge и NX передовой синхронной технологии, объединяющей в себе достоинства параметрического и прямого подхода.

Студенты, применяющие в рамках своего обучения данное пособие, получают не только традиционные навыки создания деталей, сборочных единиц и выполнения конструкторской документации, но также овладеют механизмами решения следующих важных конструкторских задач:

- анализа собираемости изделия;
- проектирования сборки сверху вниз (концепция нисходящего проектирования) с использованием виртуальной структуры создаваемой сборки;
- работа с большими сборками, содержащими тысячи и десятки тысяч деталей и подборок;
- работы с данными, полученными из других САПР, импорта/экспорта данных, восстановления импортированной геометрии модели, создания 3D-модели по 2D-чертежам.

Отдельно следует отметить рассмотрение вопросов, особенно важных для конструктора электронной аппаратуры и приборных устройств, среди которых:

- автоматизация проектирования электрических соединений в составе сборки (проводов, кабелей, жгутов), с возможностью обмена данными с электротехническими САПР;
- организация совместной работы конструкторов над электронной и механической частью проектируемого изделия с рассмотрением вопроса обмена данными между ECAD- и MCAD-системами.

Книга состоит из 16 разделов и снабжена более чем 350 иллюстрациями, подробно освещающими процесс проектирования. Примеры для закрепления навыков и самостоятельной проработки материала пособия доступны для скачивания на веб-сайте [www.siemens.com/plm/ru/solid-edge-book](http://www.siemens.com/plm/ru/solid-edge-book).

Коллектив авторов пособия – преподаватели кафедры ИУ-4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н. Э. Баумана, обладающие большим опытом преподавания профильных дисциплин проектирования изделий электроники, в том числе и отраслевых САПР. Данное учебное пособие ориентировано на применение в новом курсе «Конструкторско-технологическая информатика» в рамках подготовки магистров.

Авторы выражают свою благодарность всем специалистам российского офиса компании Siemens PLM Software за техническое консультирование и неоценимую помощь в организации работы над проектом и подготовке пособия к изданию.

# 1. Введение в системы трехмерного проектирования

## 1.1. Современные концепции проектирования изделий

История и тенденции развития современных САПР. Поддержка жизненного цикла изделия (PLM). Управление проектными данными (PDM). Классификация современных САПР по областям применения, функциональным возможностям, решаемым задачам. Объединение функций CAD/CAM/CAE в современных САПР

### Краткая история развития САПР

Автоматизированное проектирование изделий машино- и приборостроения насчитывает длительную историю. Первые системы автоматизации проектно-конструкторских работ появились в 70-е гг. XX в., а их основное развитие началось примерно со второй половины 80–90-х гг., когда произошла миграция САПР с громоздких и дорогих компьютерных платформ с разделением ресурсов на обычные персональные компьютеры. Исторически первыми появились чертежно-ориентированные системы автоматизации конструкторского проектирования, затем их дополнили отдельные программные пакеты инженерных расчетов и технологической подготовки производства. Здесь же произошло размежевание САПР по отраслевому применению, в частности из группы САПР общего назначения выделилось и стало развиваться самостоятельно большое семейство САПР электронных изделий (ECAD).

Следующим этапом развития стала разработка систем, ориентированных на трехмерную электронную модель в рамках концепции полного электронного описания объекта (EPD, ElectronicProductDefinition). Такое описание стало предпосылкой для интеграции автономных до этого момента конструкторских, технологических САПР и систем инженерного анализа в комплексные системы, автоматизирующие весь цикл проектирования и производства изделия и переносящие тяжесть выбора вариантов, доводки и испытаний с реальных прототипов на цифровые модели изделия.

Следствием интеграции функций различных подразделений разработчика и производителя в единую САПР стала необходимость упорядочивания, согласования и единого представления данных на всех этапах работы с изделием. В результате появились системы, создающие единое информационное пространство изделия, управляющие инженерными данными и осуществляющие электронный документооборот, – системы PDM.

Дальнейшее развитие САПР шло одновременно по нескольким направлениям – расширялись функциональные возможности систем, происходило деление по уровню сложности решаемых задач, обеспечивалась интеграция систем PDM с автоматизированными системами управления ресурсами предприятия (ERP). В направлении конструкторских САПР выделялись направления параметрического (с деревом построения) и прямого моделирования, а также развивались концепции их интеграции.

Рост автоматизации всех подразделений, связанных с проектированием, производством, эксплуатацией и обслуживанием изделия, рассредоточение подразделений и компаний-подрядчиков по всему миру, а также использование в них различных САПР и форматов данных привели к тому, что управление работой над достаточно сложными проектами более не отвечало требованиям рынка в части быстрого запуска в производство и вывода на рынок новых изделий, сокращения затрат и повышения качества выпускаемой продукции.

### Концепция поддержки жизненного цикла изделия (PLM)

В ответ на эти и другие требования рынка сформировалась концепция PLM (Product Lifecycle Management – Управление жизненным циклом изделия) – единая информационная стратегия, управляющая всем комплексом требований, данных и процессов цикла разработки, производства и эксплуатации изделия, начиная от выявления потребностей общества в создании изделия до его утилизации после окончания срока службы.

Концепция PLM прошла длительный путь развития. Изначально под этим термином подразумевали простую автоматизацию проектных, конструкторских работ, инженерных расчетов и подготовки производства. Впоследствии круг решаемых задач был расширен, включив в себя обеспечение электронного документооборота. Предтечей PLM в ее

современном понимании явилась разработанная в 80-е гг. XX в. военно-промышленным комплексом США концепция CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывный сбор данных и поддержка в течение всего жизненного цикла [изделия]). В то время перед оборонно-промышленным комплексом США встала задача унификации и стандартизации проектной, технологической, производственной, деловой, логистической и прочей информации у различных промышленных предприятий, а также методов разработки, управления, обмена и использования такой информации. Развитие этой концепции привело к оформлению в первое десятилетие XXI в. информационной среды, описывающей жизненный цикл изделия в рамках триады «Изделие – Процессы – Ресурсы» и взаимосвязи между компонентами этой среды. С точки зрения достигаемых преимуществ, применение подобной концепции позволяет:

- существенно сократить сроки разработки и вывода изделия на рынок;
- значительно облегчить процедуру принятия, согласования и утверждения проектных решений;
- обеспечить согласованную работу над проектом большого коллектива специалистов из различных компаний, работающих с разнообразными САПР;
- сократить количество ошибок проектирования, внедрив единую ассоциативную модель изделия в цифровом формате и обеспечив целостность проектных данных;
- уменьшить затраты на доводку, отладку и испытания опытных образцов, проводя ряд процедур над цифровыми макетами изделия вместо реальных физических прототипов;
- гибко управлять вариантами исполнения, конфигурациями аппаратной и программной частей изделия, документацией;
- быстро модифицировать изделие, интегрировать накопленные конструктивные и технологические решения в новые разработки.

Современный подход предусматривает следующие основные этапы жизненного цикла изделия:

- маркетинг и изучение рынка;
- составление технического задания на проектирование;
- проектирование изделия;
- разработка техпроцессов;
- закупки;
- планирование;
- производство, контроль;
- упаковка и хранение;
- реализация, поставка;
- инсталляция и ввод в эксплуатацию;
- эксплуатация и послепродажная деятельность;
- техническая поддержка, обслуживание, ремонт;
- вывод из эксплуатации, утилизация и переработка по окончании срока службы.

Каждому этапу цикла соответствует одна или несколько систем автоматизации деятельности на данном этапе. Ниже приведено краткое описание основных из этих систем, а на рис. 1.1.1 – схема их взаимодействия:

- CAD (ComputerAidedDesign)/CAE (ComputerAidedEngineering)/CAM (ComputerAidedManufacturing) – соответственно системы автоматизированного конструкторского проектирования, инженерного анализа и подготовки производства – на этапе проектирования и производства изделия;
- PDM (ProductDataManagement) – система управления проектными данными, обеспечивающая отслеживание, учет, организацию доступа, совместную работу, контроль изменений и преобразование данных в рамках единой информационной среды на всех этапах жизненного цикла изделия. В информационном плане система связывает между собой проектные, производственные и бизнес-подразделения. Ядро системы PDM – нормативно-справочная база, наполнение которой отражает структуру и специфику работы конкретного предприятия;
- ERP (EnterpriseResourcePlanning) – система автоматизированного планирования производства и управления материально-техническими, временными, финансовыми и людскими ресурсами предприятия-изготовителя изделия;
- MES (ManufacturingExecutionSystem) – система управления производственными процессами на уровне цеха, участка. Система в режиме реального времени инициирует, отслеживает, оптимизирует и документирует производственные процессы от начала выполнения заказа до выпуска готовой продукции, являясь связующим звеном между ERP-системой и оперативно-производственной деятельностью на уровне цеха или участка;
- SCM (SupplyChainManagement) – система управления цепочками поставок, управляющая снабжением предприятия на этапах закупки, производства и реализации готовой продукции;

- CRM (CustomerRelationshipManagement) – система управления взаимоотношениями с заказчиками, обеспечивающая поддержку продаж. Система собирает из различных источников и анализирует информацию о заказчиках с целью улучшения эффективности маркетинга и повышения продаж изделий/услуг. На основании обобщенной информации о рыночных предпочтениях и поведении заказчиков строится обоснованная производственная и маркетинговая стратегия.

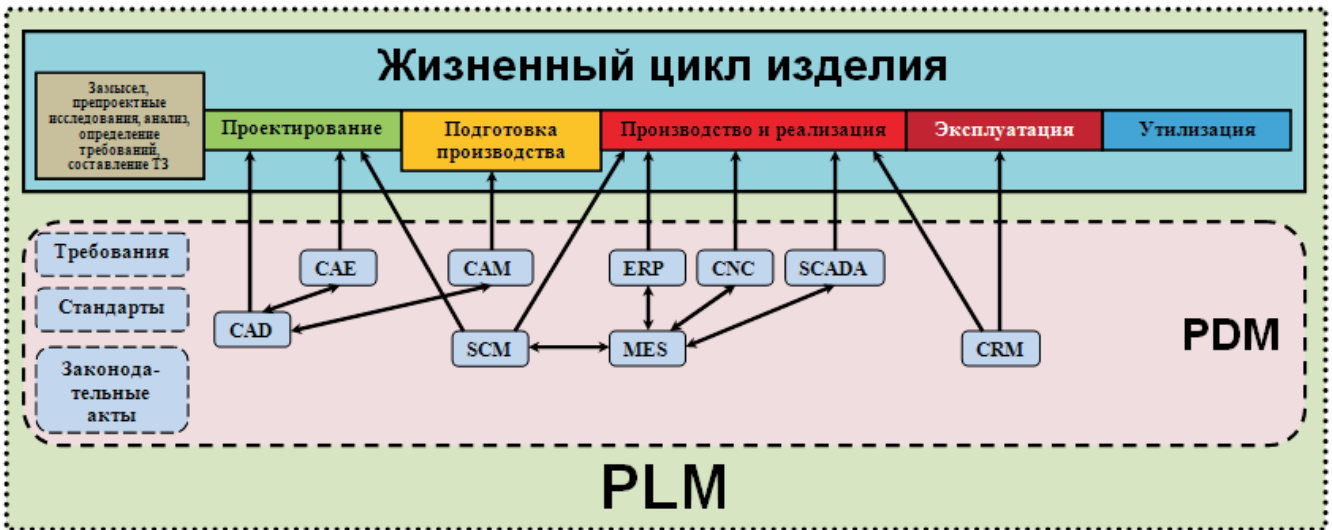


Рис. 1.1.1. Взаимодействие систем автоматизации на различных этапах жизненного цикла изделия

В ходе эволюции PLM сложилась ситуация, когда крупнейшие разработчики САПР CAD/CAM/CAE предлагают свои комплексные решения, реализующие концепцию PLM. Например, компания Siemens в качестве такого решения предлагает продукт Teamcenter, который одновременно объединяет в себе функции PDM на более высоком уровне PLM-системы. Основные функции системы Teamcenter схематично представлены на рис. 1.1.2, а основные решаемые ею задачи кратко рассмотрены ниже.

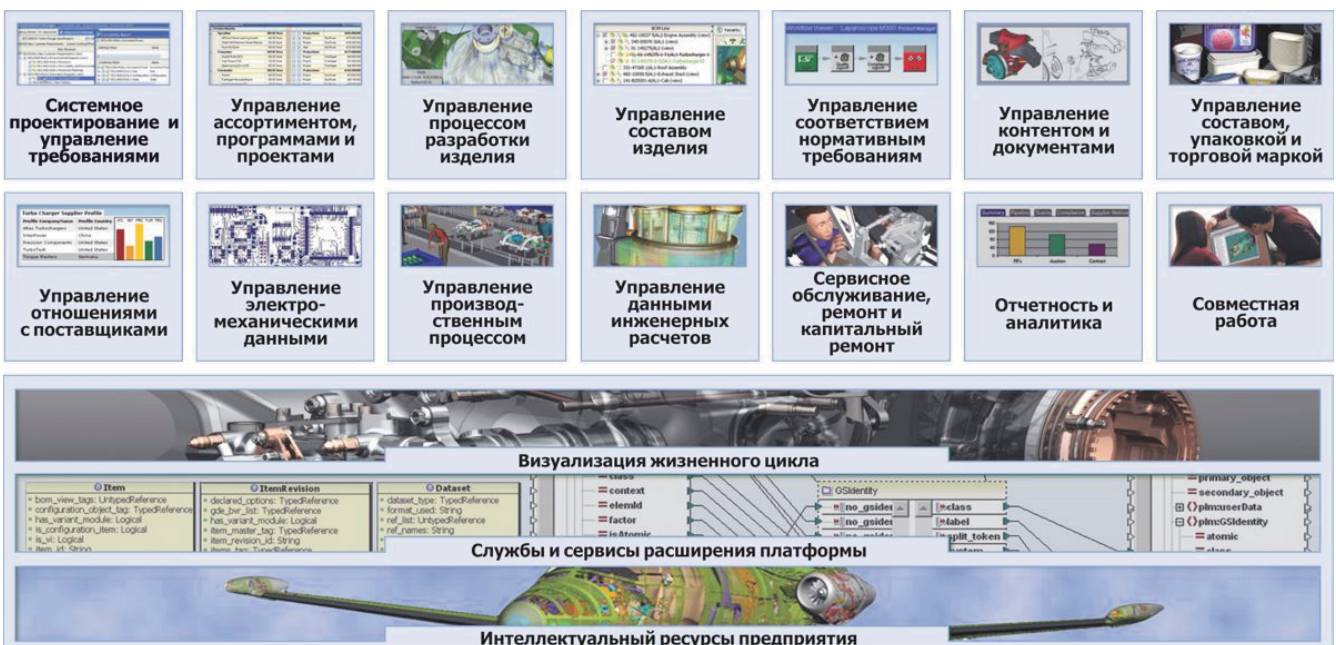


Рис. 1.1.2. Основные функции PLM-системы Teamcenter

**1. Системное проектирование и управление требованиями:**

- определяет требования к разрабатываемому изделию со стороны стандартов, заказчика и рынка и формализует их в виде бизнес-объектов со своим набором атрибутов;
- анализирует взаимосвязи между требованиями;
- структурирует требования и связывает их с элементами конструкции изделия и последующими этапами его жизненного цикла;
- отслеживает требования в части их уточнения, пересмотра и расширения;
- обеспечивает интеграцию в PLM-среду приложений анализа, моделирования и оптимизации.

**2. Управление процессом разработки изделия:**

- создает и поддерживает единую базу проектных данных;
- управляет проектными данными, полученными от различных САПР, включая другие CAD-системы, а также специализированные CAE/CAM/ECAD-системы;
- обеспечивает обмен данными и совместную работу над проектом специалистов из различных регионов и с различным оснащением рабочих мест;
- управляет инженерными изменениями в проект, проводит верификацию и утверждение изменений;
- облегчает проверку правильности проектных решений.

**3. Управление составом изделия:**

- управляет комплектацией изделия и ее представлением в различных форматах;
- управляет вариантами исполнения изделия, версиями и конфигурациями и отслеживает изменения.

**4. Управление соответствием нормативным требованиям:**

- документирует и фиксирует нормативные требования к изделию на ранних стадиях проектирования;
- обеспечивает для изделия соблюдение требований международных законодательных актов, включая Директиву RoHS (ограничение содержания вредных веществ), Регламент REACH (регистрация, оценка, санкционирование и ограничение химических веществ), WEEE (утилизация электрического и электронного оборудования) и прочее.

**5. Управление контентом и документами:**

- автоматизирует разработку различной документации по изделию, включая руководства, инструкции, описания, каталоги и прочее.

**6. Управление электромеханическими данными:**

- обеспечивает совместную работу специалистов различных направлений над созданием мехатронного изделия, состоящего из механических, электронных, электрических и программных компонентов;
- объединяет все данные о разнородных составляющих изделия в интегрированную среду;
- анализирует связи, взаимодействия и зависимости между отдельными компонентами изделия;
- управляет процессами внесения изменений и утверждения.

**7. Управление производственным процессом (совместно с системами NX и Tecnomatix):**

- устанавливает связи между составом изделия и структурой техпроцесса;
- интегрирует в PLM-среду данные из систем предприятия: CAM, ERP, MES, обеспечивает двунаправленный обмен данными с ERP-системами;
- подготавливает производство изделий, агрегатную и окончательную сборку;
- обеспечивает виртуализацию, моделирование, анализ и оптимизацию планировок производственных подразделений и потоков материалов.

**8. Управление данными инженерных расчетов:**

- управляет расчетными данными, моделями и изменениями;
- связывает конструкторские и расчетные данные между собой;
- обеспечивает работу со встроенными модулями CAE (NXAdvancedSimulation, Femap) и сторонними САПР инженерного анализа.

**9. Отчетность и аналитика:**

- преобразует данные из систем предприятия в аналитические отчеты для принятия бизнес-решений;
- группирует данные из различных приложений в информационную систему предприятия.

## Классификация САПР

Прежде чем переходить к изучению САПР на практике, необходимо провести их классификацию и ранжирование. САПР классифицируются по множеству различных критериев, основными из которых являются функциональные задачи, отраслевое применение и уровень сложности решаемых задач.

### Классификация САПР по функциональным задачам

Для автоматизации выполнения каждого из этапов проектирования изделия существует свой класс САПР. Традиционно САПР по критерию функциональности делят на системы CAD, CAE и CAM – соответственно системы автоматизированного конструкторского проектирования, инженерного анализа и подготовки производства (рис. 1.1.3). CAD-системы решают задачи разработки моделей деталей и сборок и оформления конструкторской документации – чертежей, спецификаций, ведомостей и прочего. В задачи CAE-систем входят проведение инженерных расчетов конструкций, например на механические и тепловые воздействия, моделирование протекающих в изделиях физических процессов, анализ и оптимизация конструкций. Сюда же следует отнести программы моделирования на базе математических пакетов. На системы CAM (Автоматизированные системы технологической подготовки производства, АСТПП) возложены задачи автоматизации составления маршрутных и операционных техпроцессов, выбора оборудования и выбора/разработки технологического оснащения, составления управляющих программ для оборудования с ЧПУ, расчета норм времени, планировки технологических линий, участков и цехов.

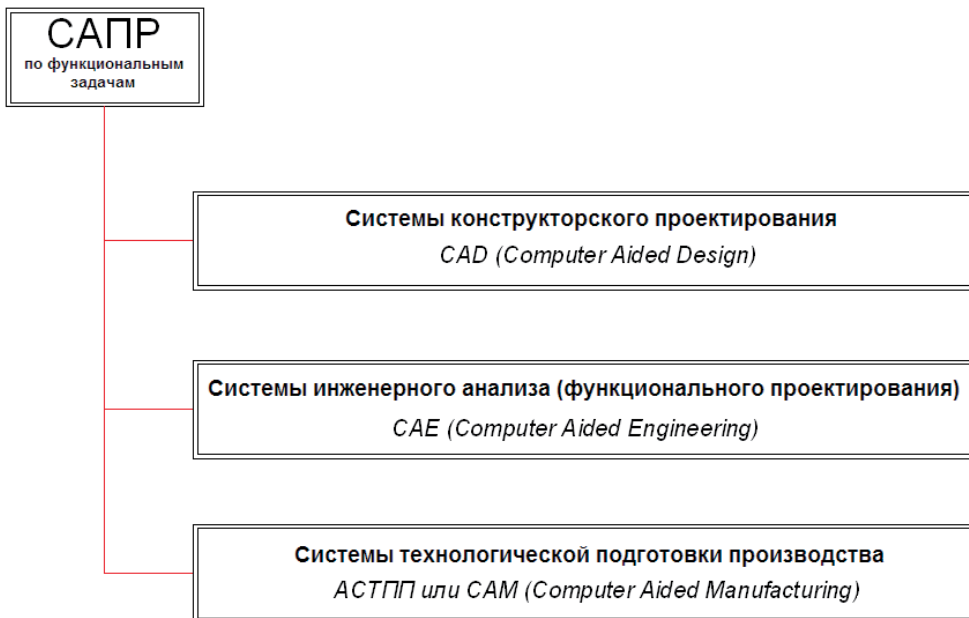


Рис. 1.1.3. Классификация САПР по функциональным возможностям

Одна из основных тенденций в развитии современных САПР – интеграция функций CAD/CAE/CAM в рамках единой системы проектирования, анализа/оптимизации конструкции и подготовки производства. Подобный подход реализуется уже не только в САПР верхнего уровня сложности, но и находит свое применение в САПР «среднего» уровня. Основное преимущество заключается в работе на различных этапах проектирования с одной и той же моделью, без необходимости ее дополнительного преобразования, а также в отсутствии необходимости приобретения дополнительных специализированных решений, например по инженерному анализу конструкций и т. д. В результате в рамках единой САПР и одной модели изделия можно реализовать весь цикл проектирования и подготовки производства.

### Классификация САПР по отраслевому применению

Прежде всего в данной классификации (рис. 1.1.4) выделяют системы, которые чаще всего понимаются под общим термином САПР – системы MCAD (MechanicalCAD), или САПР конструкторского проектирования. В эту группу входят универсальные САПР машино-, авиа-, судо-, приборо-, автомобилестроения и т. д., ориентированные на широкий класс выпускаемых изделий. С их помощью разрабатываются трехмерные модели деталей и сборочных единиц механи-



ческих конструкций, проводится моделирование поверхностей, оформляется конструкторская документация и т. д. С помощью встроенных либо подключаемых модулей можно реализовать специфику конкретного класса изделий – например, дополнить механическую конструкцию блока электропроводкой.

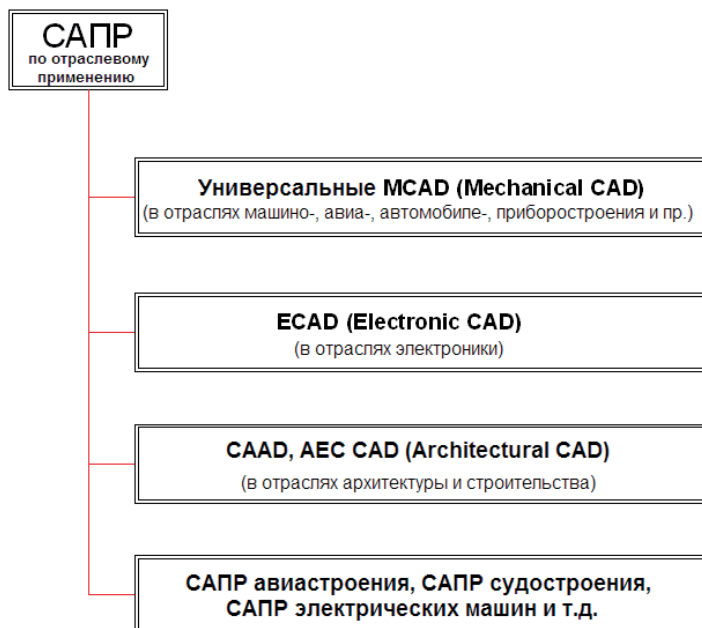


Рис. 1.1.4. Классификация САПР по отраслевому применению

Большая группа САПР, обозначаемых ECAD, относится к электронной промышленности и решает задачи проектирования полупроводниковых кристаллов, микросхем в корпусах, печатных плат, электронных модулей. Такие САПР обладают функциями составления электрических схем, компоновки изделия, трассировки проводящего рисунка, создания переходных отверстий в многослойных структурах, разработки контактных площадок, размещения электронных компонентов и т. п.

Еще одна большая группа САПР относится к области архитектуры и строительства различных зданий и сооружений – это системы AEC CAD (Architecture, Engineering and Construction CAD) или CAAD (Computer – Aided Architectural Design).

Среди отраслевых САПР можно также провести деление на универсальные и специализированные. Универсальные САПР решают задачи проектирования без привязки к конкретным узлам, механизмам и элементам, в то время как специализированные САПР ориентированы на более узкий класс изделий или их составных частей – например, САПР электротехнических кабельных систем, САПР трубопроводов для промышленных объектов, САПР зубчатых передач и т. д.

### Классификация САПР по уровню сложности решаемых задач

По уровню сложности решаемых задач и проектируемых изделий САПР традиционно принято делить на три группы – так называемых «легких», «средних» и «тяжелых» САПР.

САПР первой группы решают задачи двумерного или простого трехмерного проектирования, черчения и оформления документации. Конструкторские 2D-САПР такого типа представляют из себя фактически электронный кульман. Исторически это первые разработанные САПР общего применения, и их распространение достаточно широко и по сей день, в особенности в нашей стране. Причин для этого несколько: это и накопленный архив документации в виде 2D-чертежей и бумажных оригиналов, и кооперация со смежными организациями, зачастую также не оснащенными средствами 3D-проектирования, и, конечно, относительно высокая стоимость решения по переходу на 3D. Очень важно и то, что переход от 2D- к 3D-проектированию предусматривает обязательное изменение традиционного подхода к работе конструкторско-технологических подразделений предприятия, смену идеологии работы с данными, организацию эффективной совместной работы над проектом и управления электронным документооборотом. Поэтому зачастую, к сожалению, сдерживающим фактором оказываются инерционность мышления ответственных за принятие решений, недоверие и боязнь серьезных перемен в работе предприятия.



Системы «среднего» класса появились позже представителей остальных двух категорий, заняв промежуточное положение между 2D-САПР и сложными параметрическими САПР. Большую роль в их широком распространении и доступности на ПК типовых конфигураций стала разработка в начале 90-х гг. ядер моделирования ACIS и Parasolid, ставших основой многих САПР, в том числе активно использующихся и в настоящее время.

Обладая сходными с «тяжелыми» САПР возможностями по проектированию деталей и сборок, САПР этой группы не обладают таким же развитым инструментарием в области инженерного анализа и технологической подготовки производства, а также уступают старшим САПР в плане организации эффективной работы с очень большими по составу изделиями. Тем не менее многие из таких САПР в той или иной степени объединяют в себе функции CAD/CAM/CAE.

«Тяжелые» САПР являются мощными системами, практически не имеющими ограничений по уровню сложности разрабатываемых объектов. Их отличают:

- реализация полного цикла создания изделия – от замысла до производства;
- тесная интеграция с PLM- и ERP-системами, создание ассоциативной среды проектирования и производства для всех вовлеченных в проект специалистов, средства эффективного анализа изменений и управления ассоциативными связями в сборках;
- большой набор инструментов для организации эффективной работы с большими и сверхбольшими сборками (содержащими сотни тысяч компонентов);
- развитые возможности инженерного анализа (в частности, динамические анализы на механические воздействия, расчет тепловых полей с учетом всех механизмов теплообмена) и оптимизации конструкций на основе собственных решений и множества подключаемых специализированных модулей, наличие препроцессоров для передачи данных в специализированные решатели;
- множество инструментов обмена данными с другими САПР, в ряде случаев – двунаправленного, развитые механизмы работы с импортированной геометрией;
- трансляторы для подготовки управляющих программ практически для любого оборудования с ЧПУ.

В практической части данного учебного пособия будут рассмотрены возможности конструкторского проектирования в Solid Edge. Эта САПР проста в освоении и одновременно позволяет решить большинство задач, возникающих в конструкторских отделах приборостроительного предприятия.

## 1.2. Этапы проектирования изделий и работа с данными в 3D-САПР

**Этапы разработки изделий с применением средств трехмерного проектирования. Конструкторско-технологическая информация об изделии, ее состав и структура. Концепция мастер-модели. Форматы данных в САПР. Организация обмена данными, протоколы и стандарты обмена информацией между различными САПР**

### Этапы разработки изделий с применением средств трехмерного проектирования

Как упоминалось в предыдущем разделе (см. рис. 1.1.1), основной части работ, связанных с 3D-проектированием, предшествуют составление технического задания на проектирование изделия и стадия технического предложения, на которой, в частности, выполняются следующие работы:

- разработка предварительных вариантов конструкции изделия;
- проведение предварительных расчетов вариантов конструкции и сравнительная оценка вариантов по показателям качества, надежности, технологичности и т. д.;
- анализ конкурирующих решений, оценка конкурентоспособности вариантов;
- проверка на патентную чистоту;
- технико-экономическое обоснование целесообразности разработки.

Хотя в перечисленных работах собственно 3D-проектирование носит ограниченный характер или не применяется совсем, ряд функций систем CAD и CAE может и должен задействоваться и на этих этапах. В качестве характерных примеров можно привести задачи составления схем (структурных, функциональных и прочих), построения моделей компоновки изделия, проведения предварительных прочностных, тепловых и прочих видов анализов на электронной модели. Для этих целей с помощью 3D-моделирования могут быть построены электронные макеты, на которых отрабатывается концепция изделия и сравниваются различные предварительные варианты конструкции.

Эти же макеты в электронном виде могут быть переданы для оценки заказчику или потенциальным потребителям. Несмотря на раннюю стадию проектирования, функции САПР, используемые на данном этапе, могут быть достаточно сложны и включать в себя, например, работу со сложными поверхностями, конечно-элементный анализ конструкций.

На основе результатов этих работ в PLM-системе в рамках электронной модели изделия будет формироваться набор требований к изделию и его составным частям, служащий основой для проектирования, оптимизации и производства на последующих стадиях.

Далее выполняются этапы эскизного, технического и рабочего конструкторского проектирования с требуемым уровнем проработки на каждом из этапов. Здесь с помощью средств 3D-проектирования (CAD) и инженерного анализа (CAE) выполняются следующие задачи:

- определяются состав и структура изделия;
- разрабатываются 3D-модели деталей и сборочных единиц;
- проводятся расчеты конструкций на механические, тепловые и прочие воздействия;
- выполняется оптимизация конструкции по различным критериям (например, минимизация массы, напряжений, деформаций и т. д.);
- оформляется конструкторская документация в виде схем, чертежей деталей, общего вида, сборочных, электромонтажных, габаритных и прочих спецификаций, ведомостей и т. д.

На этапе технологического проектирования САМ-система совместно с системой PLM и дополнительными модулями решает следующие основные задачи технологической подготовки производства:

- разрабатываются технологические процессы изготовления деталей и сборки;
- выбирается/разрабатывается/изготавливается оборудование и технологическое оснащение;
- выпускаются управляющие программы для оборудования с ЧПУ;
- анализируются размерные цепи, качество собираемости изделия, выпускаются управляющие программы для контрольно-измерительного оборудования;
- проводятся имитационное моделирование, анализ и оптимизация процессов обработки и сборки с учетом выбранного оборудования, оснащения, материалов и инструмента;
- анализируются компоновка производственного участка, производительность, использование ресурсов, транспортные операции.

## Конструкторско-технологическая информация об изделии, ее состав и структура

В изучаемой в данном учебном пособии САПР Solid Edge вся информация об изделии построена на основе принципа мастер-модели. Этот принцип предусматривает принятие исходной модели, разработанной конструктором, в качестве базового источника всех данных об изделии. Вся дальнейшая конструкторская и технологическая работа над проектом изделия проводится на основе этой мастер-модели, вносить изменения в которую может только непосредственно автор-конструктор модели. Остальные разработчики, технологи, производственники используют не саму мастер-модель, а ее ассоциативные копии, внося в них необходимые изменения. Такой же подход на основе мастер-модели применяется и в PLM-системе Teamcenter. Благодаря этому становится возможным:

- устранить необходимость повторного моделирования, например одной и той же детали, в целях проведения инженерного анализа и подготовки производства;
- осуществлять параллельную работу САЕ- и САМ-систем над одним проектом и двусторонний обмен данными с САД-системой, поддерживая ассоциативные связи и управляя изменениями;
- обеспечивать управляемую работу над проектом группы специалистов различного профиля и местоположения;
- поддерживать целостность и непротиворечивость данных, управлять доступом к информации, осуществлять поиск среди больших объемов данных в рамках единой информационной среды предприятия.

ГОСТ 2.053–2006 «Электронная структура изделия. Общие положения» определяет электронную структуру изделия как конструкторский документ, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта, иерархические отношения (связи) между его составными частями и другие данные в зависимости от его назначения. При этом информационная модель изделия представляет собой совокупность данных и отношений между ними, которая описывает различные свойства реального изделия, интересующие разработчика модели и потенциального или реального пользователя.

Стандарт выделяет несколько разновидностей электронной структуры изделия: функциональную, конструктивную, производственно-технологическую, физическую, эксплуатационную и совмещенную (комплексную).

Конструкторская модель изделия в изучаемой САПР Solid Edge состоит из ассоциативно связанных между собой моделей деталей, сборочных единиц, конструкторской документации, инженерных анализов, технологических данных.

В состав детали входят следующие основные элементы:

- геометрические конструктивные элементы – 2D (эскизы) и 3D (тела, грани, поверхности), системы координат, включая базовые плоскости, оси и точки начала;
- геометрические связи – 2D (в эскизах) и 3D;
- атрибуты модели (материал, размеры, допуски, обозначения), в том числе технологические требования к изделию (Product Manufacturing Information, PMI) – шероховатости, допуски формы и расположения и т. д.;
- атрибуты документа (система единиц измерения, данные о предприятии, авторе, кто разработал, проверил, утвердил документ, статус документа и т. д.);
- физические параметры (масса, объем, площадь поверхности, центр массы, моменты инерции и т. д.);
- математические зависимости между параметрами модели.

Для модели сборочной единицы дополнительно определяются:

- структура сборки – иерархическое дерево компонентов сборочной единицы (деталей и подборок), в том числе виртуальные компоненты (при проектировании сверху вниз);
- сборочные связи между компонентами сборки;
- параметры отображения сборки (конфигурация отображения, разнесенные виды, закрашка, анимация механизмов);
- исходные данные и результаты анализа собираемости, кинематики, динамики сборки;
- дополнительные параметры – например, параметры кабельных и трубопроводных соединений в сборке.

Для элемента конструкторской документации в зависимости от типа документа определяются:

- виды, разрезы, сечения;
- дополнительные 2D-построения;
- размеры, обозначения;
- спецификации, ведомости, таблицы и т. д.;
- дополнительная информация – например, параметры монтажного стола, виды разъемов, таблицы проводников, контактов (в случае развертки электропроводки).

В модели для инженерного анализа (CAE) содержатся:

- данные по идеализации модели для подготовки ее к анализу;
- данные подготовленной расчетной модели (например, конечно-элементной);
- данные пре- и постпроцессинга (исходные данные анализов, результаты расчетов, параметры визуализации);
- переменные, критерии, ограничения и результаты оптимизации модели.

В САМ-системе с участием системы PLM формируется следующая основная технологическая информация:

- технологический состав и структура изделия;
- маршрутный и операционный техпроцесс изготовления деталей/сборки;
- технологические схемы сборки;
- оборудование и технологическое оснащение;
- управляющие программы для оборудования с ЧПУ.

Вся конструкторско-технологическая информация об изделии хранится в PLM-системе Teamcenter в виде структурированного набора объектов, ассоциативно связанных между собой, а управление этими данными также построено на концепции мастер-модели. Реализуется объектно-ориентированная модель данных об изделии, включающая в себя следующие объекты:

- «Изделие» со своим уникальным идентификатором;
- «Мастер-форма» для хранения атрибутов изделия;

- «Модификация изделия» для описания модификации изделия;
- «Мастер-форма модификации изделия» для хранения атрибутов модификации изделия.

Вся описывающая изделие информация, в частности 3D-модели, выполненные в различных CAD-системах, вспомогательные документы, выполненные в офисных приложениях, и т. п., хранится в модификации изделия в виде наборов данных. В рамках такого подхода легко реализуется вариантное проектирование, описывающее семейства деталей и сборок, а также различные исполнения одного и того же изделия.

## Форматы, организация и стандарты обмена данными

Эффективная работа в рамках системы PLM невозможна без достижения соглашения о формате представления проектных данных и обмена ими между всеми участниками жизненного цикла изделия. В настоящее время в САПР машиностроения используется несколько десятков стандартов представления данных, некоторые из них являются собственными форматами разработчиков САПР, прочие же представляют собой кросс-платформенные форматы, служащие для обмена информацией между различными САПР. Данные в формате конкретной САПР могут быть использованы в другой системе после преобразования с помощью специализированного конвертора или системы трансляции данных (если такие конверторы и алгоритмы преобразования существуют и поддерживаются), кросс-платформенные же форматы не имеют привязки к конкретной САПР и предусматривают универсальную поддержку экспорта/импорта информации в данном формате в различных системах.

Международная ассоциация ProSTEPiViP, ведущая многолетние работы в области стандартизации управления данными и создания виртуальной модели изделия, выделяет несколько основных критериев оценки форматов:

1. **Визуализация проектных данных и переносимость документов.** Важно для эффективного представления информации об изделии, прежде всего в 3D-виде, за пределами специализированных подразделений разработчика и производителя – например, в рамках презентации, на ПК заказчика, субподрядчика и т. д. без установленных САПР- и PLM-систем, применяемых для разработки изделия. В этом отношении от формата требуется независимость от исходной модели в САПР и развитые возможности по настройке отображения (скрытие, показ, фильтрация).
2. **Обмен данными.** Формат должен быть универсальным средством обмена данными в ситуациях, когда разработка изделия проводится в мультиплатформенной среде САПР, а также в случае, когда собственные форматы САПР заказчика и поставщика различаются. Необходима безошибочная передача геометрии и структуры изделия, атрибутов, технологических требований к изделию в различные САПР.
3. **Поддержка электронной модели изделия.** Информация в данном формате должна пониматься PLM-системами и легко интегрироваться в электронную модель изделия.
4. **Документирование и архивирование.** Здесь важны актуальность и длительное время жизни формата с точки зрения обеспечения долгосрочного хранения данных об изделии и обеспечения доступа к ним при вероятном развитии и изменении инфраструктуры обмена данными в будущем.

Среди распространенных кросс-платформенных форматов, согласно приведенным выше критериям, можно выделить следующие:

- STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data – стандарт обмена данных модели изделия) – широко распространенный в системах CAD/CAM/CAE стандарт обмена данными, ведущий свою историю с начала 80-х гг. XX в. и документированный в настоящее время в виде группы стандартов ISO 10303 (в РФ – ГОСТ Р ИСО 10303 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными»). На основе этой группы стандартов описывается электронная модель изделия в ГОСТ 2.052–2006, структура изделия в ГОСТ 2.053–2006). Поддерживается Международной ассоциацией ProSTEPiViP. Цель стандарта – обеспечить единое описание и интерпретацию данных об изделии на различных этапах жизненного цикла. Основан на языке моделирования Express.
- Облегченные форматы, основанные на языке XML и обеспечивающие мобильность передачи информации о жизненном цикле изделия между удаленными территориально группами пользователей. Такие форматы реализуют гибкие механизмы передачи больших объемов данных через Интернет в компактном и удобном для представления в других приложениях виде. В качестве примеров можно привести развивающийся в настоящее время формат PLMXML (Siemens PLM Software) на базе стандартных схем W3C XML, а также формат 3D XML на основе спецификаций P-XVL.
- 3D PDF – формат описания 3D-моделей документирован в стандарте по техническим документам PDF для проектирования PDF/E (ISO 24517). Формат обеспечивает реалистичную 3D-визуализацию модели с возможностью настройки отображения, поддерживает структуру, атрибуты и технологические требования к изделию.

- DWF, 3DDWF (DesignWebFormat) – формат обмена проектными 2D- и 3D-данными в территориально распределенном коллективе, независимо от используемой САПР. Отличается большим числом типов используемых данных.
- eDrawings – формат обмена данными по электронной почте в виде компактных исполняемых файлов. Работает с 2D- и 3D-моделями и чертежами, созданными в различных САПР.
- JT – открытый формат описания 2D- и 3D-данных, разработка компании Siemens PLM Software. Формат ориентирован на использование в PLM-системе Teamcenter. Хранит в сжатом и компактном виде геометрию, атрибуты, технологическую информацию об изделии, данные инженерного анализа и обеспечивает доступ к этой информации на всех этапах жизненного цикла. Содержит развитые механизмы интерактивного отображения больших сборок. Файл JT создается на основе данных, экспортированных из различных САПР, а также информации об изделии, которая создается в самой PLM-системе. Благодаря этому формату в PLM-системе облегчается представление данных электронной модели изделия, разрабатываемой с использованием различных САПР в различных подразделениях.

Кросс-платформенный формат IDF, служащий для обмена данными между САПР электронной и механической частей изделия, будет подробно рассмотрен в разделе 2.11.

### 1.3. Подходы к проектированию. Обзор САПР Solid Edge

**Подходы к 3D-проектированию: параметрическое (с деревом модели) и прямое (работа с геометрией). Проектирование с использованием синхронной технологии и ее реализация в САПР Solid Edge. Место Solid Edge в ряду современных САПР, возможности, решаемые задачи, состав и структура модулей. Особенности применения САПР Solid Edge для решения задач проектирования электронной аппаратуры**

#### Современные подходы к 3D-проектированию

С переходом от простых конструкторских 2D-САПР, представлявших собой аналог «электронного кульмана», к разработке трехмерных твердотельных моделей изделий первым реализованным принципом стало проектирование моделей на основе конструктивных элементов (features), смоделированных на основе граничных представлений (B-rep). Этот подход возник в результате стремления совместить конструирование изделия и технологическую подготовку его производства – каждый тип конструктивных элементов (элементы выдавливания, отверстия, фаски и т. д.) в этом случае представлялся образом технологической операции формообразования (точения, фрезерования, сверления и т. д.) и снабжался набором методов для создания, удаления и редактирования. При этом геометрия конструктивного элемента, его связи и взаимоотношения с другими элементами модели описывались системой параметров, задаваемых непосредственно в виде численных значений, геометрических связей, ограничений и математических зависимостей (уравнений и их систем). Такой подход, пионером которого на рубеже 80-х – 90-х гг. XX в. выступила компания Parametric Technology Corporation (PTC) со своей САПР Pro/Engineer, получил название параметрического (parametric) проектирования и на долгие годы стал де-факто стандартом для САПР изделий машиностроения. Среди примеров подобных САПР можно отметить такие продукты, как Solid Works, CATIA, Inventor, T-FLEXCAD и прочие.

В ходе развития параметрических САПР преобладающим подходом к параметрическому проектированию стало проектирование на основе истории модели (history-based), называемое также проектирование с деревом построения (tree). Когда говорят о параметрическом проектировании, как правило, речь идет именно о проектировании с деревом построения.

В рамках проектирования на основе истории реализуется прямая и однозначная зависимость между параметрами, задающими новые геометрические элементы, и построенными ранее элементами модели. Модель иерархически организуется в виде линейного дерева (рис. 1.3.1), отражающего последовательность ее построения и связи вида «родитель–потомок». Изменение параметров или расположения какого-либо конструктивного элемента внутри дерева вызывает рекурсивный пересчет всех элементов-потомков изменяемого элемента и адаптацию их к внесенным изменениям.

Среди несомненных достоинств такого подхода можно выделить:

- четкую и однозначную реализацию замысла, заложенного конструктором изделия, в конструктивных элементах и их иерархии;
- эффективное и предсказуемое обновление (регенерацию) параметрической модели при внесении изменений;
- высокую степень автоматизации проектирования;
- точный контроль размеров.

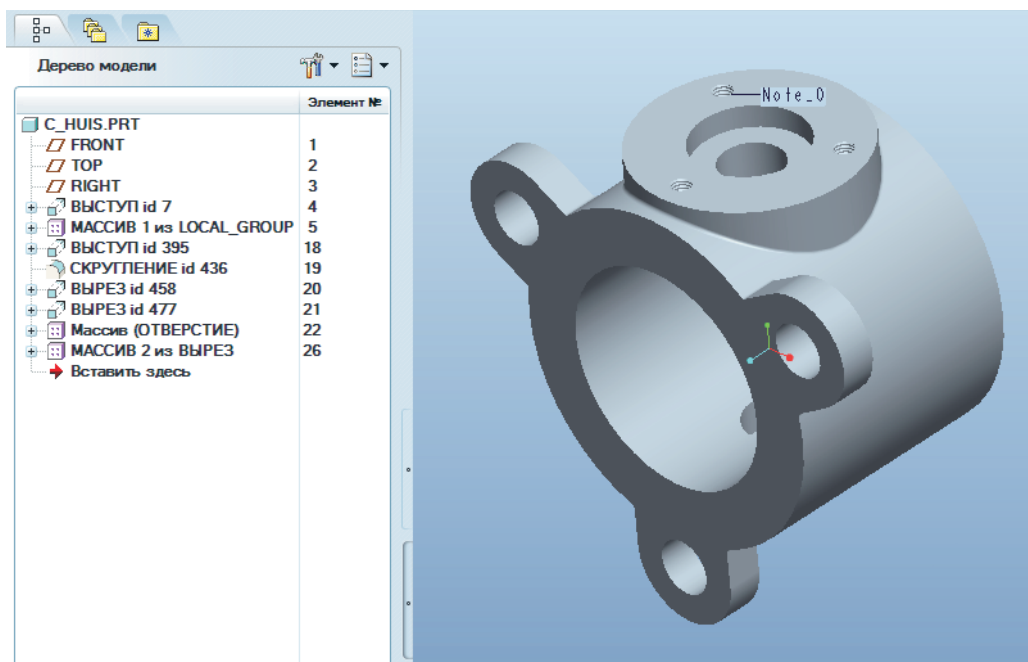


Рис. 1.3.1. Пример создания модели с деревом построения

Тем не менее в современных условиях роста сложности создаваемых изделий, при возникновении ряда специфических задач проектирования, появлении необходимости эффективного обмена данными между САПР различных производителей и редактирования «чужой» геометрии, выявился и ряд недостатков параметрического проектирования, среди которых можно выделить следующие:

- понимание поведения модели требует детального изучения дерева ее построения, зачастую полным знанием о модели обладает только ее непосредственный разработчик;
- изменение конструкторского замысла в процессе проектирования сопряжено со значительными изменениями дерева модели, а в ряде случаев оказывается принципиально невозможным и ведет к необходимости полного перепроектирования модели;
- значительное время затрачивается на поиск и локализацию необходимого конструктивного элемента в дереве построения;
- желание изменить геометрию конструктивного элемента, как правило, влечет за собой необходимость проводить изменения на уровне эскиза;
- даже незначительные изменения геометрии сложных сборок могут приводить к непредсказуемым последствиям для геометрии и возникновению ряда трудно поддающихся исследованию и разрешению ошибок (коллизий);
- большие затраты времени на цикл обновления модели после внесения изменений;
- возможная несовместимость внесенных изменений с параметрами элементов-потомков вызывает необходимость зачастую сложного и затратного по времени исследования и исправления модели, что особенно вероятно для больших сборок с развитым деревом построения и сложными параметрическими зависимостями;
- невозможность организации циклических зависимостей между параметрами;
- потеря истории построения при переносе файла модели между различными САПР; причем полностью восстановить ее автоматизированными методами, как правило, невозможно.

Параллельно с параметрическим проектированием развивался и второй подход – без дерева построения, или *прямое* моделирование. Такие системы не используют конструктивных элементов и практически не поддерживают управления моделью при помощи размеров и геометрических взаимосвязей. Редактирование в них выполняется за счет непосредственно перемещения граничных элементов (граней модели).

Несмотря на очевидные достоинства систем прямого моделирования, заключающиеся прежде всего в высокой гибкости проектирования и быстром внесении изменений в геометрию, широкое распространение данного подхода сдерживалось рядом не менее очевидных недостатков, среди которых можно отметить:

- трудности с построением сложной геометрии;



- трудность обеспечения контроля размеров;
- значительность изменения модели в результате операции редактирования, зачастую приводящую к искажению конструкторского замысла;
- невозможность ограничить внесение изменений, нарушающих структурную целостность модели.

В связи с указанными недостатками обоих подходов наметилась необходимость поиска альтернативных решений, способных объединить достоинства описанных выше подходов и по возможности исключить недостатки. Одним из кандидатов на такое решение стало так называемое *вариационное* моделирование, в рамках которого конструктивный элемент задается пространственными отношениями между граничными элементами, определяющими его конструктивную форму, то есть геометрическими ограничениями (касательность, параллельность, перпендикулярность, концентричность и т. д.). Эту систему ограничений необходимо динамически поддерживать в процессе изменения геометрии модели. До определенного времени подобные решения применялись исключительно для двумерного эскизирования и построения связей «сверху вниз» для сборок, не охватывая трехмерного моделирования. Ситуация изменилась с появлением синхронной технологии, которая смогла распространить вариационный подход к моделированию на всю цепочку проектирования изделия.

## Синхронная технология

Термин «синхронная технология» был введен в обращение в 2008 г. разработчиком – компанией Siemens PLM Software – в качестве наименования предлагаемого решения, позволяющего совместить строгое управление процессом проектирования с деревом моделей и его воспроизводимость с той свободой и гибкостью для проектировщика, которую предоставляют системы свободного моделирования. То есть фактически синхронная технология позволяет применять функционал прямого моделирования в параметрической среде (рис. 1.3.2). Для ее реализации система Solid Edge® от Siemens PLM Software использует возможности геометрического ядра Parasolid® с надстройкой в виде 2D/3D-решателя геометрических связей D-CUBED™.



Рис. 1.3.2. Синхронная технология как принцип, объединяющий подход к проектированию на основе истории и системы прямого моделирования

Рассмотрим основные принципы, лежащие в основе синхронной технологии.

### 1. Управляющие 3D-размеры

При традиционном подходе создание/редактирование простого 3D-элемента выполняется при помощи поэтапного задания/изменения геометрии его 2D-эскиза и параметров построения. Синхронная технология реализует принципиально иной подход – построение 2D-эскиза происходит непосредственно в среде 3D-моделирования, то есть эскиз строится в 3D-пространстве модели, и здесь же накладываются геометрические ограничения. Построенная на базе такого эскиза 3D-геометрия как бы «поглощает» эскиз, а заданные в нем размеры мигрируют в 3D-модель и становятся так называемыми *управляющими* 3D-размерами, с помощью которых можно непосредственно и динамически управлять геометрией 3D-модели, не обращаясь к более не нужному 2D-эскизу (рис. 1.3.3). Данный эскиз помещается в специальную коллекцию «Использованные эскизы», откуда может быть удален или взят для повторного использования. Эскиз, таким образом, больше не управляет построенным конструктивным элементом. Управляющие 3D-размеры подразделяются на фиксированные (выделены красным цветом) и свободные (выделены синим цветом). Обе эти группы размеров допускают редактирование пользователем, но первые не



могут изменяться в результате внешнего управления, например вследствие перемещения граней. Сочетание применения размеров этих двух видов позволяет гибко управлять геометрией и вместе с тем поддерживать конструкторский замысел, оставляя фиксированными контролируемые размеры (рис. 1.3.4). При этом не имеют значения история построения модели и место создаваемого/изменяемого конструктивного элемента в ней, то есть порядок добавления размеров и связей остается исключительно на усмотрение конструктора. Значения размеров могут задаваться непосредственно на модели, а также браться из уравнений и внешних таблиц.

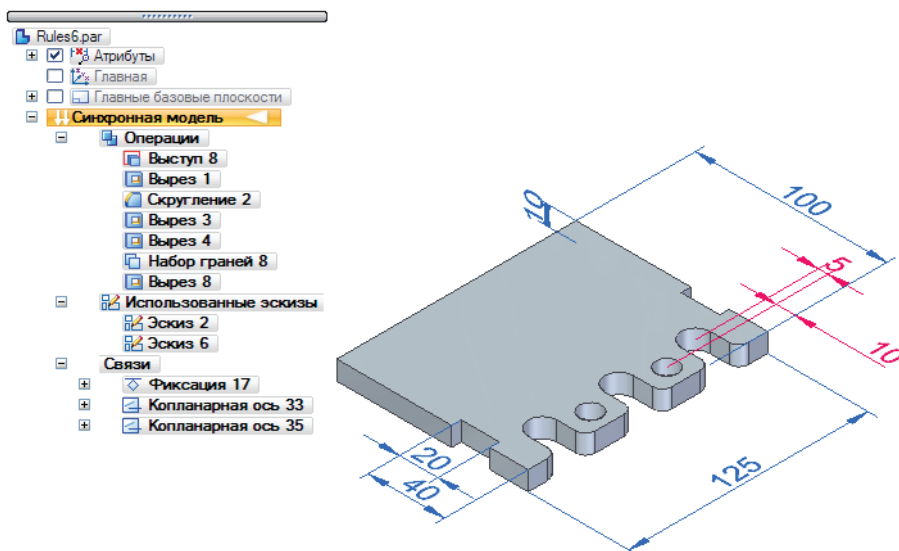


Рис. 1.3.3. Пример создания конструктивного элемента в среде синхронной технологии

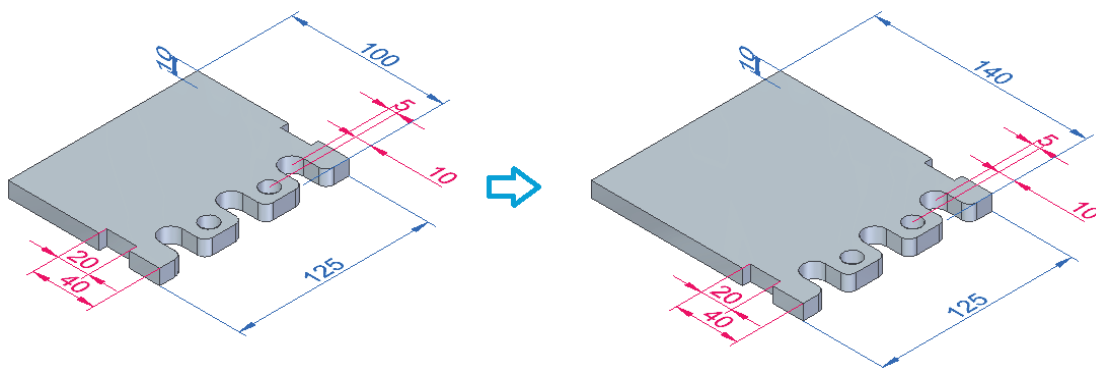


Рис. 1.3.4. Пример редактирования управляющих 3D-размеров

## 2. 3D-связи

На конструкцию модели, в том числе и на импортированную геометрию, можно накладывать 3D-связи, полностью аналогичные 2D (симметрия, копланарность и т. д.). Группа этих связей помещается в специальную коллекцию «Связи» синхронной модели. Благодаря таким связям осуществляется параметризация любой геометрии в необходимом объеме, без накладывания лишних ограничений (рис. 1.3.5).

## 3. Развитые механизмы работы с импортированной геометрией

Разнообразие решаемых задач и направлений проектирования изделий, а также существующих на рынке и применяемых на различных предприятиях САПР и, соответственно, форматов данных часто ставит перед проектировщиками задачу, подразумевающую импорт в свою САПР модели изделия в стороннем формате – то есть в формате заказчика или, например, аутсорсинговой компании. Работа с данными такого стороннего формата в САПР разработчика, как правило, невозможна – требуется процедура конвертации данных в «родной» формат, при котором неизбежно полностью или частично теряется информация о конструктивных элементах и дереве построения. Синхронная технология позволяет импортировать стороннюю геометрию из различных форматов и работать с ней, адаптируя под необходимые требования, так же легко, как и с геометрией, созданной в «родной» системе.

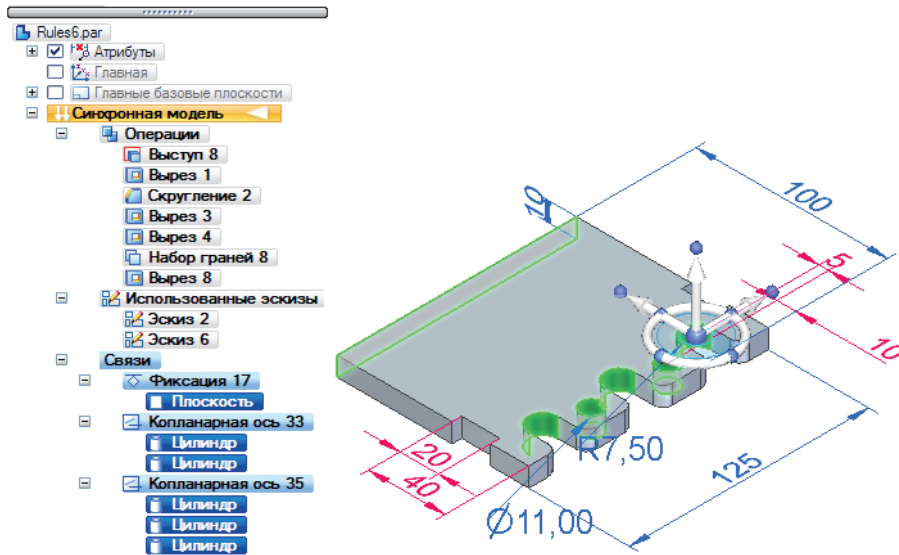


Рис. 1.3.5. Пример наложения необходимого и достаточного для реализации конструкторского замысла числа 3D-связей на геометрию модели

Поскольку отсутствуют жесткие ограничения на поддержание дерева модели и иерархии конструктивных элементов, импортируемая геометрия рассматривается системой как собственная, с небольшими ограничениями.

4. *Технология автоматического нахождения и поддержания связей в 3D-модели – «Текущие правила»*

Данная технология является одной из основ синхронного моделирования. Пользователю не нужно задавать геометрические связи вручную – система сама выполнит их поиск и будет отслеживать при изменении 3D-геометрии модели. Это позволяет автоматически поддерживать конструкторский замысел, повышает гибкость редактирования и избавляет пользователя от необходимости самому накладывать очевидные геометрические ограничения на модель (например, копланарность граней при перемещении одной из них на рис. 1.3.6). По умолчанию поддерживаются поиск и отслеживание таких связей, как горизонтальность/вертикальность, копланарность, касательность, концентричность, симметрия. При необходимости набор связей может быть расширен (добавлены параллельность, перпендикулярность, равенство радиусов и прочее). Важно, что этот принцип работает и с импортированными данными (рис. 1.3.7). Автоматическое распознавание связей значительно облегчает, в частности, редактирование геометрии групп элементов – выполнение действия над одним из элементов группы автоматически применяет его и к остальным.

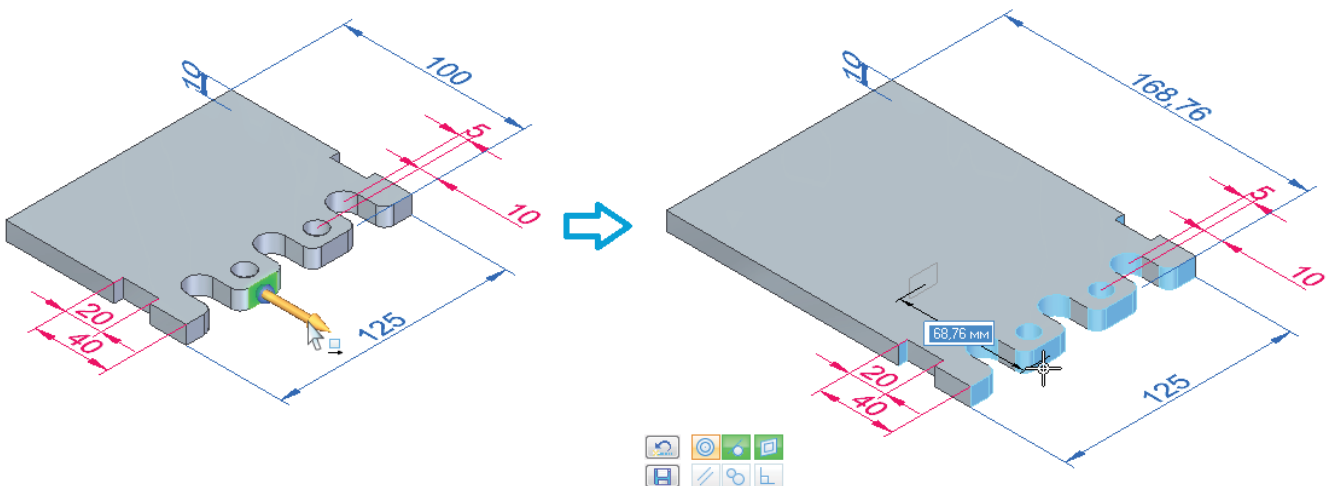


Рис. 1.3.6. Пример автоматического поддержания конструкторского замысла при изменении геометрии моделей за счет отслеживания 3D-связей

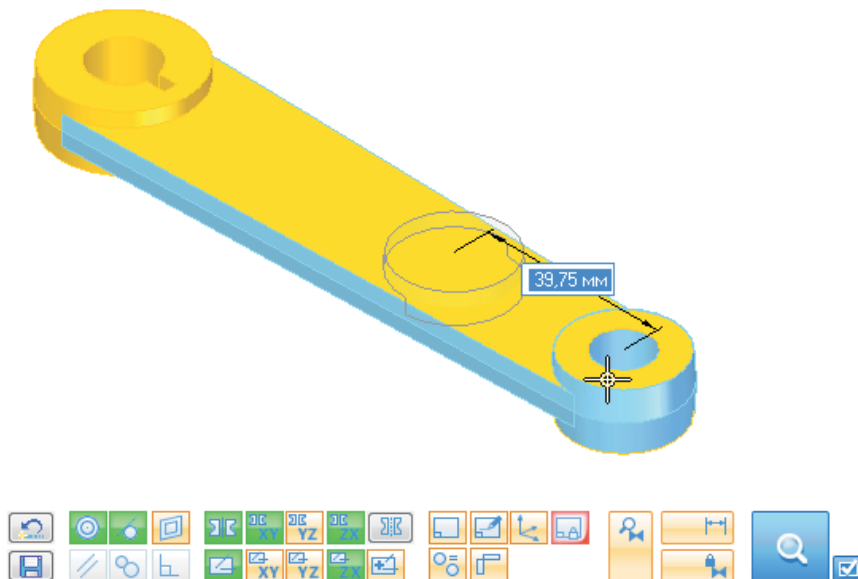


Рис. 1.3.7. Пример распознавания «чужой» геометрии и автоматического наложения 3D-связей

5. *Хранение конструктивных элементов в коллекции*

Синхронная технология предусматривает хранение конструктивных элементов, представляющих собой набор граней, не в дереве модели, а в коллекции (рис. 1.3.8). Отсюда следует еще одна важная особенность синхронной технологии – возможность локальной перестройки модели (изменения порядка, перетаскивания граней, изменения значения 3D-размера) только там, где это необходимо, без полного пересчета модели. Это дает проектировщику возможность сосредоточиться на конструкторском замысле, а не на поиске наиболее эффективного способа модификации модели. То, что при пересчете модели во внимание принимаются не все присутствующие в ней ограничения и связи, а только те из них, которые непосредственно задействованы в изменяемых конструктивных элементах, существенно сокращает время обновления модели.

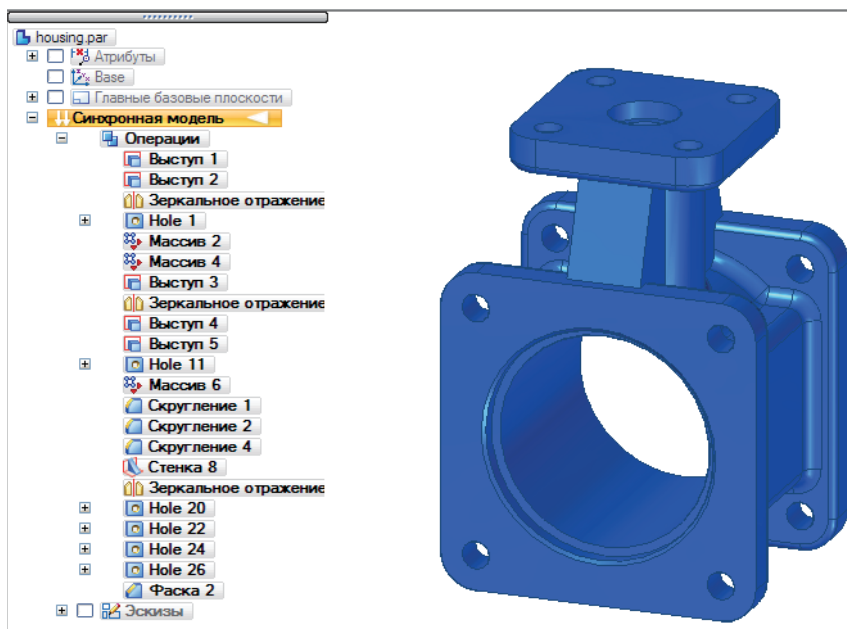


Рис. 1.3.8. Коллекция конструктивных элементов

## 6. Процедурные конструктивные элементы

Для построения сложных конструктивных элементов, требующих определенного уровня параметризации, в рамках синхронной технологии присутствует механизм процедурных элементов. К таким элементам относятся, в частности, отверстия, тонкостенные оболочки, массивы, фаски/скругления и прочее. Построение подобных элементов ведется с помощью диалогового процесса задания параметров, а не прямого моделирования (рис. 1.3.9). Например, для отверстия задаются его тип, размер и расположение, для оболочки – толщина, для скругления – радиус и т. д. Полученные элементы, однако, не связываются друг с другом отношениями «родитель–потомок», поэтому их редактирование не ведет к перестройке всей модели, и она может обновляться локально.

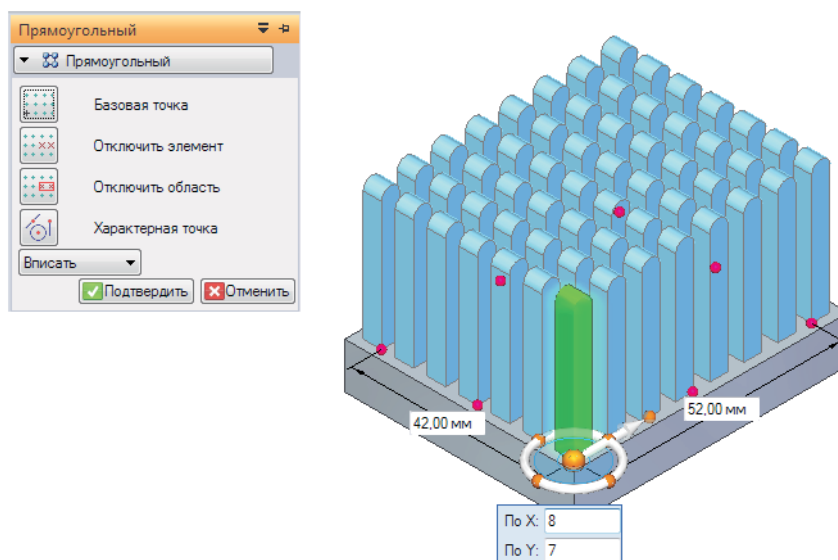


Рис. 1.3.9. Пример построения сложного процедурного элемента – массива

Подводя итог, можно заключить, что синхронная технология позволяет реализовать более естественный подход к проектированию, чем традиционное параметрическое проектирование. Она дает возможность вносить в конструкцию ограничения и накладывать геометрические и размерные связи по мере построения модели, оставляя не нужные на данном этапе связи и размеры неопределенными. Проектировщику нет необходимости обладать законченным конструкторским замыслом на начальном этапе проектирования – этот замысел может реализовываться постепенно, подвергаться изменениям и гибко трансформироваться в широких пределах непосредственно во время проектирования.

Свое воплощение синхронная технология нашла в широком спектре решений компании Siemens PLM Software, одним из которых является рассматриваемая в данном учебном пособии САПР Solid Edge. При этом важно отметить, что данная система объединяет синхронным и параметрическим подходом в рамках одной модели. Пользователь может строить относительно простые конструктивные элементы в синхронном режиме, а для реализации сложной геометрии переключаться в параметрический режим, используя геометрию синхронной части модели для добавления параметрических конструктивных элементов. Возможно перемещение элементов из обычной части модели в синхронную с конвертацией их «на лету». Также возможна и работа с полностью параметрической моделью, если в ней отсутствует синхронная часть. Таким образом, гарантируется совместимость синхронной технологии с проектами, разработанными ранее в полностью параметрической среде (рис. 1.3.10).

## Место Solid Edge в ряду современных САПР. Возможности, решаемые задачи, состав и структура модулей

Solid Edge – система автоматизированного проектирования от Siemens PLM Software, предназначенная для проектирования изделий в таких областях, как машиностроение, приборостроение, энергетика, электроника, проектирование технологических линий, производство технологической оснастки, потребительских товаров и др.

Solid Edge состоит из нескольких модулей – так называемых *сред*, каждая из которых отвечает за один из аспектов или этапов автоматизированного проектирования изделий. Кратко рассмотрим состав сред системы Solid Edge.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)