

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. И. Пунько

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 6-05-0812-01 «Техническое обеспечение
производства сельскохозяйственной продукции»*

Минск
БГАТУ
2024

УДК 658.512(07)
ББК 31.27-05я7
П88

Рецензенты:

кафедра технического сервиса и общетехнических дисциплин
УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»
(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *В. И. Коцуба*);
кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник
лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации
сельского хозяйства» *А. С. Воробей*

Пуцько, А. И.

П88 Системы автоматизированного проектирования : пособие /
А. И. Пуцько. – Минск : БГАТУ, 2024. – 104 с.
ISBN 978-985-25-0272-6.

Рассмотрены вопросы проектирования с применением современных комплексов КОМПАС-3D, AutoCAD, SolidWorks и др. В пособии представлены основополагающие принципы САПР, их классификация, методы процесса проектирования и конструирования, способы использования информационных технологий для автоматизации проектных, конструкторских и технологических задач.

Для студентов специальности 6-05-0812-01 «Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции».

УДК 658.512(07)
ББК 31.27-05я7

ISBN 978-985-25-0272-6

© БГАТУ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР И ИХ МЕСТЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
1.1. Основные понятия и определения	7
1.2. Структура САПР конструкторско-технологического назначения.....	8
1.3. Структура и стадии процесса проектирования.....	9
1.4. Виды обеспечений САПР	10
1.5. CAD/CAM/CAE системы.....	12
1.6. Возможности современных САПР	12
1.7. САПР среднего уровня. САПР верхнего уровня.....	15
1.8. Методика создания 3D-моделей в САПР.....	17
1.9. Принцип системного подхода	18
2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОК НА ОСНОВЕ ИХ 3D-МОДЕЛЕЙ	
2.1. Ассоциативная связь между моделями и конструкторской документацией.....	19
2.2. Автоматизированное формирование ассоциативных 2D-изображений на основе их 3D-моделей	19
2.3. Оформление чертежа	21
2.4. Формирование спецификации в различных режимах.....	23
3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ 3D-СБОРОК	
3.1. Методики создания 3D сборок в САПР	27
3.2. Использование соударений и сопряжений при сборке. Редактирование модели сборки	29
3.3. Создание и редактирование модели детали в сборке «по месту».....	31
3.4. Применение библиотек 3D стандартных изделий при создании сборки	31
3.5. Определение свойств моделей детали и сборки.....	33
3.6. Создание разнесенной сборки.....	35

4. МЕТОДЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В САПР	
4.1. Назначение параметризации. Непараметрические и параметрические модели геометрических объектов в САПР	38
4.2. Методы параметризации 2D и 3D моделей в САПР	39
4.3. Ограничения в системах параметризации: размерные, топологические, функциональные, логические.....	44
4.4. Параметризация геометрических объектов. Степени свободы	46
5. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА	
5.1. Проектирование металлоконструкций при помощи прикладных библиотек	50
5.2. Создание трехмерных эскизов и каркасов	50
5.3. Построение подсечек, ребер жесткости и групп отверстий ...	52
5.4. Формирование КД на металлоконструкции.....	54
5.5. Методика создания изделий из листового сортамента	54
5.6. Создание конструктивных элементов листовых тел.....	56
5.7. Создание разверток	59
5.8. Методика формирования КД на изделия из листового сортамента.....	60
6. ПРИКЛАДНЫЕ БИБЛИОТЕКИ САПР	
6.1. Прикладные библиотеки (модули, приложения) САПР	62
6.2. Моделирование механических передач, пружин и других деталей с использованием прикладных библиотек (приложений) САПР	64
6.3. Назначение и особенности работы с прикладной библиотекой «Универсальный механизм Express»	66
6.4. Создание фотореалистичных изображений и анимации	68
7. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САЕ)	
7.1. САЕ-системы функционального проектирования, назначение, возможности и особенности применения	72
7.2. Программное обеспечение инженерного анализа	74

7.3. Анализ прочности по методу конечных элементов (МКЭ), статический, динамический, тепловой, кинематический и другие виды анализа	77
7.4. Возможности выполнения инженерного анализа с использованием прикладных библиотек	78
8. ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В САПР	
8.1. Обзор аддитивных технологий производства деталей	83
8.2. Методика создания физического объекта на базе цифровой 3D-модели	84
8.3. Решетчатые структуры для аддитивного производства	86
8.4. Программное обеспечение для реализации аддитивных технологий. Программы-слайсеры	88
9. ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ. PDM, ERP, PLM СИСТЕМЫ	
9.1. Понятие о жизненном цикле изделия	93
9.2. CALS-технологии	95
9.3. Системы управления производственной информацией	96
9.4. Планирование ресурсов предприятия.....	98
9.5. PLM-технологии	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	102

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем современного машиностроения является вопрос оперативного перехода производства на новые виды продукции. Сокращение длительности конструкторской и технологической подготовки производства как этапов жизненного цикла изделия способствует радикальному снижению непроизводительных затрат. Наиболее распространенный путь решения данной проблемы – использование различных систем автоматизации инженерной деятельности.

К настоящему времени создано большое число программно-методических комплексов для САПР с различными степенью специализации и прикладной ориентацией. В результате автоматизация проектирования стала необходимой составной частью подготовки инженеров разных специальностей.

Основной целью данного пособия является ознакомление студентов с основополагающими принципами САПР, их классификацией, методами процесса проектирования и конструирования, способами использования информационных технологий для автоматизации проектных, конструкторских и технологических задач.

Дисциплина «Системы автоматизированного проектирования» позволяет формировать у студентов знания, необходимые для принятия рациональных технических решений в процессе разработки и эксплуатации различных машин. Теоретический материал данного учебного пособия охватывает основные направления использования САПР при проектировании деталей:

1. Методы построения трехмерных деталей и узлов (сборок) с последующим формированием конструкторской документации.
2. Особенности применения различных прикладных библиотек при проектировании.
3. Применение аддитивных технологий в САПР и технологии поддержки жизненного цикла изделия.

Пособие будет полезно студентам инженерных специальностей всех форм обучения.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР И ИХ МЕСТЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. Основные понятия и определения

Проектирование (от лат. *projectus* – брошенный вперед) – процесс создания описаний нового или модернизируемого технического объекта (изделия, процесса), достаточных для изготовления или реализации этого объекта в заданных условиях.

Такие описания, называемые окончательными, представляют собой комплект конструкторской и технологической документации в виде чертежей, пояснительных записок, спецификаций, программ для технологических автоматов и т. п.

Проектирование – это процесс создания описания, необходимого для построения в заданных условиях еще не существующего объекта. Выделим три основных способа реализации проектирования:

- если весь процесс проектирования осуществляется человеком, то проектирование называют неавтоматизированным;
- проектирование, при котором происходит взаимодействие человека и ЭВМ называется автоматизированным. Автоматизированное проектирование, как правило, осуществляется в режиме диалога человека с ЭВМ на основе применения специальных языков общения с ЭВМ;
- проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования осуществляются без участия человека, называется автоматическим.

Совокупность проектных документов в соответствии с установленным перечнем, в котором представлен результат проектирования, называется проектом.

Система автоматизированного проектирования (САПР) – организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования (КСАП), взаимосвязанного с необходимыми подразделениями проектной организации (П1, П2, ..., П_n) или коллективом специалистов (пользователей системы), и выполняющая автоматизированное проектирование.

1.2. Структура САПР конструкторско-технологического назначения

Структура САПР. Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы *проектирующие* и *обслуживающие*.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического 2D и 3D моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации (КД), схемотехнического анализа, трассировки соединений (в печатных платах) и т. п.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР.

Классификация САПР. Классификация фиксирует место объекта в системе, которое указывает на его необходимые свойства или определяется свойствами. В связи с этим она служит средством хранения и поиска информации, содержащейся в ней самой. Классификация создает условия для разработки технически обоснованных норм обеспечения процесса создания, функционирования и стандартизации в области САПР.

Под организационной системой понимают совокупность, состоящую из коллектива специалистов и комплекса средств, взаимодействий и взаимосвязей между ними и с внешней средой и алгоритма процесса проектирования, необходимого для выполнения автоматизированного проектирования.

Классификация САПР:

1) *по количеству выпускаемых проектных документов:*

- текстовые: выполняют только текстовые документы на бумажной ленте или листе;
- текстовые и графические: текстовые и графические документы на бумажной ленте или листе
- на электронных носителях: документы на магнитных, лазерных дисках, флэш-носителях;
- на фото носителях: документы на микрофильмах, фотошаблонах и т. п.;

2) *по сложности объекта:*

– одноуровневая: построена на основе компьютера среднего или высокого класса со штатным набором периферийных устройств, который может быть дополнен средствами обработки графической информации;

– двухуровневая: построена на основе компьютера среднего или высокого класса и одного (или нескольких) автоматизированного рабочего места (АРМ), включающего мини-ЭВМ;

– трехуровневая: построена на основе ЭВМ высокого класса, АРМ и периферийного программно-управляемого оборудования;

3) *по типу объекта проектирования:*

– САПР изделий машиностроения;

– САПР изделий приборостроения;

– САПР ТП в машино- и приборостроении;

– САПР объектов строительства;

– САПР ТП в строительстве;

– САПР программных изделий;

– САПР организационных систем.

Остальные группы (8 и 9) являются резервными и предназначены для выделения и кодирования САПР, не относящихся к перечисленным группам.

Теория автоматизации проектирования непрерывно развивается. Появляются новые технические и программные средства, комплексные САПР, поэтому существующие схемы классификаций САПР будут видоизменяться и совершенствоваться.

1.3. Структура и стадии процесса проектирования

В проектировании принято выделять стадии научно-исследовательских работ (НИР), опытно-конструкторских работ (ОКР), технического проекта, рабочего проекта, испытаний опытного образца.

На *стадии НИР* изучаются потребности в получении новых изделий с заданным целевым назначением, исследуются физические, информационные, конструктивные и технологические принципы построения изделий и возможности реализации этих принципов, прогнозируются значения характеристик и параметров объектов, проводятся широкий патентный поиск, анализ литературных

источников, экспериментальные работы по проверке концептуальных решений, закладываемых в создаваемую конструкцию. Результатом является формулировка технического задания (ТЗ) на разработку объекта – документа, включающего в себя цель создания и назначение объекта, технические требования (ТТ), режимы и условия работы, области применения, увязку параметров с типажом, информацию об экспериментальных работах, сравнительную оценку технического уровня и др.

На основании ТЗ разрабатывается техническое предложение – совокупность документов, отражающих технические решения, принятые в проекте и включающие в себя результаты функционально-физического и стоимостного исследований, указания и обоснования по выполняемым функциям, физическим принципам действия, целесообразности использования тех или иных решений, сравнительная оценка этих решений по техническим, экономическим, технологическим, экологическим и другим показателям.

На *стадии ОКР* создается эскизный проект изделия, представляющий собой совокупность графической и текстовой документации, на основании которой можно получить общее представление об устройстве, принципе работы, назначении, основных параметрах и габаритных размерах проектируемого изделия, о компоновке как машины в целом, так и ее основных узлов.

На *стадии технического проекта* разрабатывается более детализированная графическая и текстовая документация, дающая полное и окончательное представление об устройстве, компоновке машины и всех ее узлов, а в технический проект включают все необходимые расчеты (динамические, прочностные и т. д.).

На *стадии рабочего проекта* создается полный комплект конструкторско-технологической документации, достаточный для изготовления объекта.

На *стадии испытаний* получают результаты, позволяющие выявить возможные ошибки и недоработки проекта, принимаются меры к их устранению.

1.4. Виды обеспечений САПР

Структурирование САПР по различным аспектам обуславливает появление 7 видов обеспечений САПР (рис. 1.1).

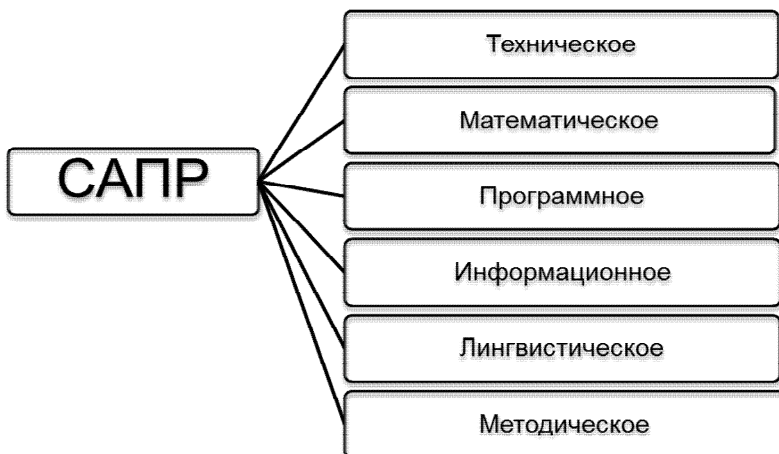


Рис. 1.1. Виды обеспечений САПР

Техническое обеспечение – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

Математическое обеспечение – это совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов проектирования, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования, представленных в заданной форме.

Программное обеспечение (ПО) – совокупность машинных программ, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования, представленных в заданной форме. ПО разделяют на *общесистемное* и *прикладное*.

Информационное обеспечение – данные в виде документов или электронных баз данных (БД), содержащих сведения справочного характера о материалах, комплектующих изделиях, типовых проектных решениях, сведения о состоянии текущих разработок, структур и параметров проектируемых объектов.

Лингвистическое обеспечение – совокупность языков проектирования, включая термины и определения, правила формализации естественного языка и методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

Методическое обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав и правила отбора и эксплуатации средств

обеспечения АП, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

Организационное обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результата проектирования и порядок рассмотрения проектных документов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Это методические и руководящие материалы, положения, инструкции, приказы и другие документы, обеспечивающие взаимодействие подразделений проектной организации при создании и эксплуатации САПР.

1.5. CAD/CAM/CAE-системы

Системы автоматизации проектирования включают в себя системы инженерной графики (CAD), системы инженерных расчетов (CAE), системы автоматизации подготовки и управления производством (CAM).

CAD (Computer aided design) – системы, служащие для разработки КД. Они позволяют строить как плоские (двумерные 2D) чертежи, так и объемные (трехмерные 3D) геометрические модели.

CAM (Computer aided manufacturing) – системы, служащие для разработки программ, управляющих технологическим процессом (ТП), например, обработкой деталей на станках-автоматах.

CAD/CAM – системы обеспечивают одновременное решение задач конструкторского и технологического проектирования. Здесь имеются комплексные средства как для разработки и выпуска КД, так и для автоматизированного управления производством.

CAE (Computer aided engineering) – системы решают задачи инженерного анализа, к которым относятся прочностные и тепловые расчеты, анализ процессов литья и т. п.

1.6. Возможности современных САПР

Благодаря использованию САПР значительно сокращается время проектирования, а также уменьшается стоимость, так как на подготовительном этапе производства появляется возможность смоделировать желаемые изделия, провести поверочные расчеты

и исправить недостатки конструкции. Вследствие этого появляется возможность анализировать различные варианты решений даже сложных задач проектирования, что позволяет минимизировать ошибки на производстве. Все это увеличивает качество проектов и результативность. Также благодаря автоматизации проектирования на начальном этапе практически исключается человеческий фактор, так как программы САПР автоматически указывают на ошибки при моделировании и в некоторых случаях предлагают варианты исправления.

В процессе автоматизированного проектирования создается электронный эквивалент чертежа, а вместо бумаги и чертежных инструментов используется экран компьютера, клавиатура и манипулятор (мышь).

При использовании САПР достигается повышение эффективности производства за счет повышения качества и производительности труда проектировщиков, сокращения сроков проектирования, снижения материальных затрат, уменьшения числа конструкторов.

Преимущества применения САПР заключаются в следующем:

1. Точность и надежность. САПР обеспечивает высокую степень точности и надежности в процессе проектирования. В отличие от ручного проектирования, где ошибки могут возникнуть из-за человеческого фактора, САПР работает с математической точностью, минимизируя вероятность ошибок.

2. Увеличение производительности. САПР позволяет значительно увеличить скорость проектирования. Задачи, которые при ручном проектировании требуют множества повторений и времени, могут быть выполнены в САПР с помощью автоматических процедур, ускоряющих процесс и уменьшающих трудозатраты.

3. Легкость внесения изменений. В САПР изменения в проекте можно вносить гораздо быстрее и легче, чем при ручном проектировании. Это позволяет быстро адаптироваться к новым требованиям или исправлять ошибки без необходимости начинать проектирование заново.

4. Возможность симуляций и проведения исследований. САПР предоставляет возможность проведения различных симуляций и исследований, таких как тепловые, гидравлические или прочностные расчеты. Это помогает инженерам оценить производительность

и надежность продукта еще на стадии проектирования, что снижает риск ошибок и улучшает качество конечного изделия.

Недостатки САПР:

1. Инвестиционные затраты. Внедрение и использование САПР требует значительных инвестиционных затрат. Приобретение лицензий на программное обеспечение, обучение персонала и поддержка системы требуют финансовых вложений, которые могут быть высокими для небольших компаний или начинающих специалистов.

2. Зависимость от технической инфраструктуры. Для работы САПР необходимо иметь современное аппаратное и программное обеспечение, мощные компьютеры и высокоскоростное интернет-соединение. В случае неполадок или сбоев в системе может возникнуть простой работы и задержки в проектах.

3. Ограничения творческого процесса. В ручном проектировании инженер имеет большую свободу для проявления креативности и индивидуального подхода к решению задач. В САПР же процесс проектирования часто ограничен параметрами и правилами, заданными программным обеспечением, что может снизить гибкость и уникальность проекта.

4. Сложность освоения и обучения. Работа с САПР требует специальных знаний и навыков. Обучение персонала может быть длительным и требовать значительных усилий. Более того, с развитием технологий и выпуском новых версий программного обеспечения необходимо постоянно обновлять знания и проходить периодическое обучение.

5. Риск потери данных. САПР оперирует цифровыми данными, и существует риск их потери или повреждения. Неправильное сохранение или сбой в системе могут привести к нежелательным последствиям, включая потерю всего проекта.

Итак, САПР обладает множеством преимуществ в сравнении с ручным проектированием: высокая точность, увеличение производительности, легкость внесения изменений и возможность симуляций и исследований. Однако также существуют некоторые недостатки, включая инвестиционные затраты, зависимость от технической инфраструктуры, ограничения творческого процесса, сложность обучения и риск потери данных.

САПР является неотъемлемой частью современной инженерной практики и продолжает развиваться, предлагая все больше инструментов и функций для оптимизации и улучшения процесса проектирования. Несмотря на некоторые недостатки, преимущества САПР обычно перевешивают их, особенно в случаях, требующих высокой точности, повышенной производительности и возможности проведения различных исследований и симуляций.

1.7. САПР среднего уровня. САПР верхнего уровня

На современном рынке существует большое количество САПР, которые решают разные задачи. Системы условно подразделяются на три группы.

Легкие системы САПР (нижний уровень) предназначены для 2D-проектирования и черчения, а также для создания отдельных трехмерных моделей без возможности работы со сборочными единицами. Система не имеет четкой специализации, в ней можно выполнять строительные, машиностроительные проекты, работать с электрикой и др.

Средние системы САПР – это программы для 3D-моделирования изделий, проведения расчетов, автоматизации проектирования электрических, гидравлических и прочих вспомогательных систем. Данные в таких системах могут храниться как в обычной файловой системе, так и в единой среде электронного документооборота и управления данными (PDM и PLM-системах). Часто в системах среднего класса присутствуют программы для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (CAM-системы) и другие программы для технологического проектирования. Они оптимальны с точки зрения соотношения цены и функциональности.

Тяжелые САПР (верхний уровень) предназначены для работы со сложными изделиями (большие сборки в авиастроении, кораблестроении и пр.) Функционально они делают все то же самое, что и средние системы, но в них заложена совершенно другая архитектура и алгоритмы работы.

В таблице приведены примеры CAD-систем, предназначенных для машиностроения.

Классификация САД-систем

Уровень САПР	Продукт	Компания
Верхний	Unigraphics	EDS Unigraphics
	CATIA	Dassault Systemes
Средний	Creo Parametric (Pro/Engineer)	PTC Inc. (Parametric Technology Corporation)
	Зарубежное ПО	
	Solid Edge	EDS
	SolidWorks	SolidWorks (Dassault Systemes)
	Cimatron	Cimatron
	AutoCAD	Autodesk Ltd (Англия / США)
	Отечественное ПО	
	КОМПАС-3D	Аскон (Санкт-Петербург)
	T-FlexCAD	Топ Системы (Москва)
	АРМ WinMachine	НПЦ Автоматизированное проектирование машин
	КРЕДО	НИЦ АСК
Нижний (легкие САПР)	АДЕМ	Omega Adem Tehnologiec
	TurboCAD	IMSI
	DataCAD	DataCAD
	Caddy	Ziegler Informatics
	бСАД	ПроГруппа (Новосибирск, РФ)
	Спрут	Sprut Technology (Набережные Челны, РФ)
	Кредо	АСК (Москва)

1.8. Методика создания 3D-моделей в САПР

Формирование отдельных трехмерных объектов начинается с создания эскиза – плоской фигуры, на основе которой образуется объемное тело. Эскиз может располагаться в одной из стандартных плоскостей проекций, на плоской грани существующего тела или во вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем. Эскиз обычно состоит из одного или нескольких контуров.

После того как создание эскиза завершено, необходимо указать, каким способом требуется перемещать эскиз в пространстве для получения элемента нужного типа – выбрать вид формообразующей операции.

В САПР КОМПАС-3D можно применить следующие виды формообразующих команд (рис. 1.2): элемент выдавливания, элемент вращения, элемент по сечениям, кинематический элемент.

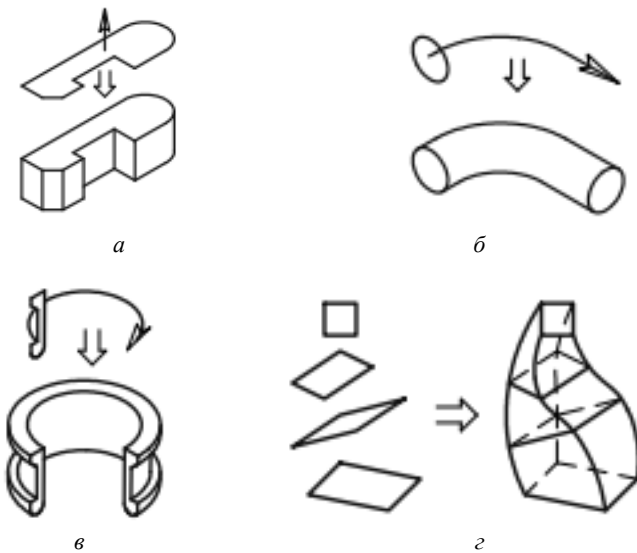


Рис. 1.2. Основные формообразующие операции создания трехмерных объектов: а – выдавливание; б – кинематическая; в – вращения; г – по сечениям

Отличие операций удаления материала от операций добавления состоит в том, что результатом удаления является не создание нового тела или объединение тел, а вычитание или пересечение.

Вычитание формообразующего элемента из тела – это удаление материала, находящегося внутри поверхности элемента.

Пересечение формообразующего элемента и тела – это удаление материала, находящегося снаружи поверхности элемента.

1.9. Принцип системного подхода в проектировании

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и методов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим из таких подходов является *системный подход*.

Основной и наиболее общий принцип системного подхода состоит в рассмотрении частей явлений или сложной системы с учетом их взаимодействия.

Системный подход включает в себя этапы:

- выявление структуры системы;
- типизация ее связей;
- определение атрибутов системы;
- анализ влияния внешней среды на систему.

Системный подход является базой для обобщающей научной дисциплины, которая называется «Теория систем» («Системный анализ»).

Теория систем – это научная дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода для исследования и проектирования сложных экономических, социальных и технических систем, прежде всего слабоструктурированных.

Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели проектирования достигаются в ходе многошагового процесса принятия решений. Методы принятия решений изучает научная дисциплина, которая называется «Теория принятия решений».

2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОК НА ОСНОВЕ ИХ 3D-МОДЕЛЕЙ

2.1. Ассоциативная связь между моделями и конструкторской документацией

Ассоциативная связь – это связь, устанавливаемая между моделью изделия и документацией на него и позволяющая при внесении изменений в модель автоматически отобразить их в других документах, связанных с этой моделью.

В САПР КОМПАС-3D реализована ассоциативная связь между моделями и чертежами деталей (сборочных единиц), спецификацией и другой технической документацией, а также автоматизированное формирование ассоциативных 2D-изображений (видов, разрезов/сечений, местных видов и разрезов, выносных элементов, разрезов и т. п.) на основе их 3D-моделей.

Ассоциативный чертеж – чертеж, выполненный в САД-системе и содержащий изображение модели, сформированное в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. При изменении формы или размеров модели изменяется изображение на всех связанных с ней ассоциативных видах.

2.2. Автоматизированное формирование ассоциативных 2D-изображений на основе их 3D-моделей

В системе КОМПАС поддерживается создание следующих ассоциативных изображений по ГОСТ 2.305–2008:

- стандартных видов – спереди, сверху, слева, справа, снизу, сзади;
- проекционного вида;
- вида по стрелке – дополнительного и местного, вспомогательных видов;
- разрезов – простого, сложного, местного;
- сечений – вынесенного, в разрыве;
- выносного элемента.

Разрез – это изображение, полученное при мысленном рассечении предмета плоскостью. На разрезе показывают все, что расположено в секущей плоскости и видно за ней. Положение секущей

плоскости, с помощью которой образуется разрез, на чертеже указывают разомкнутой линией и обозначают направление взгляда.

Фигура сечения, входящая в разрез/сечение, выделяется штриховкой, условно характеризующей материал детали. Правила выполнения разрезов, сечений устанавливает ГОСТ 2.305–2008, а правила выполнения штриховки регламентирует ГОСТ 3.306–68.

В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы бывают:

- простые – вводится одна секущая плоскость;
- сложные – вводятся несколько секущих плоскостей. Сложные разрезы бывают ступенчатыми (секущие плоскости параллельны между собой) и ломаными (секущие плоскости пересекаются между собой).



В зависимости от положения секущей плоскости разрезы бывают:



- горизонтальные – секущая плоскость параллельна горизонтальной плоскости проекций;
- вертикальные (фронтальные и профильные) – секущая плоскость перпендикулярна горизонтальной плоскости проекций и параллельна одной из плоскостей проекций (фронтальной или профильной).

Сечение – это изображение, полученное при мысленном рассечении предмета плоскостью. На сечении показывают только то, что расположено в секущей плоскости.

Сечения, в зависимости от расположения их на чертежах, разделяются на вынесенные и наложенные. Вынесенные сечения располагаются чаще всего на свободном поле чертежа и обводятся основной линией. Наложённые сечения располагают непосредственно на изображении предмета и обводят тонкими линиями.

Порядок создания ассоциативных видов на чертеже:

1. Создать чертеж, выбрать нужный формат листа.
2. Для вставки стандартных видов выполнить последовательность команд: **Вставка**  **Вид с модели**  **Стандартные виды**

с модели или нажать кнопку  **Стандартные виды** на панели **Ассоциативные виды**. При создании сборочных чертежей и чертежей сложных деталей рекомендуется использовать команду построения  **Произвольный вид**.


3. При необходимости выполнить построения дополнительных и (или) местных видов, разрезов, местных разрезов, сечений и т. д.

4. Отредактировать изображения в ассоциативных видах, про-
ставить необходимые размеры, обозначения, надписи, оси и т. д.


6. Скомпоновать виды на листе чертежа. Если необходимо, от-
ключить проекционные связи между видами (для расположения
вида по стрелке в произвольном месте листа).


Стандартные виды автоматически располагаются в проекцион-
ной связи с главным видом. При необходимости связь можно от-
ключить. Это дает возможность произвольного размещения видов
на листе чертежа.

Алгоритм создания ассоциативных разрезов/сечений на ассо-
циативном чертеже следующий:


1. Нажмите кнопку  **Линия разреза/сечения** на панели **Обозначение** для построения линии разреза/сечения.


2. Переместите указатель мыши на текущий проекционный вид,
установите указатель мыши в месте выполняемого разреза, на эк-
ране появится фантом обозначения линии разреза. Для создания

сложного разреза нажмите кнопку команды  **Сложный разрез**
на **Панели свойств**. Команда **Разрез/Сечение** запускается автома-
тически после простановки в ассоциативном виде линии разре-

за/сечения. Группа переключателей  **Разрез модели** или
Сечение модели на **Панели свойств** позволяет выбрать тип изо-
бражения разреза или сечения. **Разрез/сечение** располагается в
проекционной связи со своим опорным видом, что ограничивает
его перемещение. Для разрушения этой связи используется коман-

да  **Проекционная связь**.

3. Для редактирования линии разреза используются специаль-
ные опции **Панели свойств**: для изменения конфигурации созда-
ваемой используется линии кнопка  **Редактировать точки**, груп-

па переключателей  позволяет задать размещение дополни-
тельного текста.

4. Для создания разреза нажмите кнопку  **Создать объект**.

5. Оформите полученный чертеж.

2.3. Оформление чертежа

Основные требования к выполнению сборочных чертежей устанавливает ГОСТ 2.109–73.

Сборочный чертеж – документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для сборки (изготовления) и контроля.

Сборочный чертеж, кроме изображения сборочной единицы, должен содержать:

а) исполнительные размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу;

б) указания о способе выполнения неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

в) номера позиций составных частей изделия;

г) габаритные размеры, определяющие предельные внешние или внутренние очертания изделия;

д) установочные размеры, согласно которым изделие устанавливается на месте монтажа;

е) присоединительные размеры, по которым данное изделие присоединяется к другим изделиям, и другие необходимые справочные размеры.

Все составные части на сборочном чертеже нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации.

Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений видимых составных частей.

Линию-выноску, пересекающую контур изображения и не отводимую от какой-либо линии, заканчивают точкой. Линию-выноску, отводимую от линий видимого и невидимого контура, а также от линий, обозначающих поверхности, заканчивают стрелкой.

Линии-выноски должны не пересекаться между собой, быть непараллельными линиям штриховки (если линия-выноска проходит по заштрихованному полю) и не пересекать, по возможности, размерные линии и элементы изображения, к которым не относится помещенная на полке надпись.

Номера позиций указывают на тех изображениях, на которых соответствующие составные части проецируются как видимые, как правило, на основных видах и заменяющих их разрезах.

Номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или строку на одной линии.

Номера позиций на чертеже наносят, как правило, один раз. Допускается повторно указывать номера позиций одинаковых составных частей.

Размер шрифта номеров позиций должен быть на один-два номера больше, чем размер шрифта *h*, принятого для размерных чисел на том же чертеже.

Для группы крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления, можно делать общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций.

Сборочные чертежи следует выполнять, как правило, с упрощениями, соответствующими требованиями стандартов ЕСКД.

На сборочных чертежах допускается не показывать:

а) фаски, скругления, проточки, углубления, выступы и другие мелкие элементы;

б) зазоры между стержнем и отверстием;

в) крышки, кожухи, перегородки и т. п., если необходимо показать закрытые ими составные части изделия. При этом делают соответствующую надпись, например: «Крышка поз. 3 не показана»;

г) надписи на табличках, фирменных планках, шкалах и других подобных деталях, изображая только их контур.

Технические требования на чертеже излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру требования по возможности в последовательности, рекомендованной ГОСТ 2.316–68.

2.4. Формирование спецификации в различных режимах

Спецификация – основной конструкторский документ для сборочной единицы, который в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав.

Спецификацию составляют на каждую сборочную единицу на отдельных листах формата А4. Форму и порядок заполнения спецификации устанавливает ГОСТ 2.108–68.

Спецификация в общем случае состоит из разделов, располагаемых в следующей последовательности:

- документация;
- комплексы;

- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают. После каждого раздела оставляют несколько свободных строк для дополнительных записей. Допускается резервировать номера позиций.

Запись изделий, указываемых в разделах «Сборочные единицы» и «Детали», производят в алфавитном порядке сочетания начальных индексов организаций-разработчиков и далее в порядке возрастания цифр, входящих в обозначение.

В разделе «Стандартные изделия» записывают изделия, примененные по следующим категориям стандартов: государственным, республиканским, отраслевым и стандартам предприятия. В пределах каждой категории стандартов записи производят по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (крепежные изделия, электротехнические изделия и т. п.); в пределах группы – в алфавитном порядке наименований изделий; в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Материалы» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие в последовательности, которая определена ГОСТ 2.108–68.

В графе «Формат» указывают форматы документов, обозначения которых заносят в графу «Обозначение».

В графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей специфицируемого изделия в соответствии с последовательностью их записи в спецификации. Номера позиций не присваивают документам, приводимым в разделе «Документация».

В графе «Кол.» указывают количество составных единиц на одно специфицируемое изделие.

В разделе «Документация» эту графу не заполняют. В разделе «Материалы» в этой графе указывают общее количество материалов на одно специфицируемое изделие с указанием единиц измерения.

Допускается единицы измерения записывать в графе «Примечание» в непосредственной близости от графы «Кол.».

Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом при условии их размещения на формате А4. Такому совмещенному документу присваивают обозначения основного конструкторского документа.

В САПР КОМПАС-3D существует возможность создавать и редактировать спецификацию для проектов. Расширение файла спецификации (spw) отличается от файлов моделей (m3d) или чертежей (cdw). Спецификация может быть составлена как полуавтоматически, на основании сборочной модели, так и введением всех пунктов вручную. Внесение объектов в спецификацию происходит автоматически еще на этапе добавления деталей в сборку. При добавлении детали в спецификацию вносятся такие данные о ней, как: наименование, обозначение, количество, а также присваивается позиция.

Способ выполнения спецификации:

1. Ручной (при использовании минимума сервисных возможностей):

- готовые шаблоны листов спецификации;
- ввод данных вручную.

2. Выполнение спецификаций в полуавтоматическом режиме:

- готовые шаблоны листов спецификации;
- выбор названий разделов и подразделов спецификации из готовых шаблонов;
- автоматическая простановка номеров позиций элементов сборки при добавлении их названий в спецификацию;
- автоматическая нумерация листов спецификации;
- вставка названий и обозначений стандартных деталей и материалов из конструкторской библиотеки.

3. Выполнение спецификаций в автоматическом режиме:

- элементы полуавтоматического способа;
- подключение геометрии к объекту спецификации (удаление объекта спецификации при удалении геометрии детали на сборочном чертеже и удаление геометрии детали при удалении объекта спецификации);
- связь номеров позиций сборочного чертежа и спецификации.

В полуавтоматическом режиме система проектирования спецификаций устанавливает связи между спецификацией, листом (или листами) сборочного чертежа и рабочими чертежами деталей. Необходимые для заполнения спецификации данные формируются в чертежах сборочной единицы непосредственно во время работы над этими документами.

Это избавляет конструктора от необходимости параллельной работы над документами разных типов (чертежом и спецификацией) и позволяет целиком сосредоточить внимание на конструкции изделия. Во время работы над чертежом конструктор постепенно вводит в него данные о сборочных единицах, деталях, стандартных изделиях и других объектах, имеющих отношение к данному листу чертежа. Все введенные сведения сохраняются в файле чертежа наряду с геометрическими объектами, объектами оформления и т. п.

3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ 3D-СБОРОК

3.1. Методики создания 3D сборок в САПР

Проектируя новые изделия с использованием трехмерных САПР, конструктор обычно применяет восходящий метод. Он заключается в том, что сначала разрабатывают (моделируют) независимо друг от друга детали, а затем из них создают сборочную конструкцию, на основе которой впоследствии формируется спецификация. Последовательность действий представлена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. «Восходящий» метод создания сборок

Применение этого способа проектирования оправдано в тех случаях, когда оно осуществляется по уже имеющимся чертежам и схемам, позволяя, например, выявить неточности в конструкторской документации. Однако если параметры моделей зависят друг от друга, но их взаимосвязи не заданы, внесение изменений в конструкцию становится трудоемким и занимает много времени: конструктор вынужден изменять параметры каждой детали по отдельности, а затем проверять сборку на пересечение компонентов, механизм на работоспособность и т. д.

Нисходящий метод проектирования (рис. 3.2) заключается в том, что разработка изделия начинается с создания его компоновки и определения структуры, на основе которых затем моделируются входящие в изделие детали и узлы.




Рис. 3.2. «Нисходящий» метод создания сборок

Конструктор формирует структуру изделия, создавая новые детали и узлы непосредственно в самой сборке (а не отдельно от нее, как при восходящем проектировании), привязывая новые элементы к геометрии остальных компонентов.

Нисходящий метод проектирования позволяет эффективно распараллелить работу над сборками между участниками процесса разработки, а при использовании в проектировании типовых конструкций заметно сократить сроки создания серии типоразмеров и вариантов исполнения изделий.

Для того чтобы создать новый файл трехмерной модели сборки, необходимо выполнить из **Главного меню** последовательность команд: **Файл** ® **Создать** ® **Новый документ** ® **Сборка** или нажать кнопку **Сборка** на панели **Стандартная**. На экране откроется окно нового документа – сборки. В окне сборки находится **Дерево построения**, система координат и плоскости проекций.

Добавление компонента из файла осуществляется в результате нажатия кнопки  **Добавить из файла** на панели **Редактирование сборки**.

После вызова данной команды на экране появляется стандартный диалог выбора файлов. Выберите в нем нужный каталог и укажите имя файла, содержащего компонент. Изображение указанного компонента появится в окне просмотра диалога. Если файл компонента выбран верно, то нажмите кнопку **Открыть**. Укажите точку вставки компонента. Точку вставки можно указать в окне сборки произвольно, или используя привязку (например, к началу координат или к вершине), или ввести координаты X, Y, Z точки вставки в полях **Панели свойств**.

Компонент будет вставлен в текущий документ; его начало координат совместится с указанной точкой вставки, направление осей его системы координат совпадет с направлением осей системы координат текущей сборки. В **Дерево построения** появится пиктограмма, соответствующая типу компонента (деталь или сборка). Если вставленный компонент первый в сборке, он автоматически фиксируется в том положении, в котором был вставлен. Зафиксированный компонент не может быть перемещен в системе координат



сборки. Если необходимо, то можно отключить фиксацию компонента. Для этого надо выделить компонент в **Дереве построения** и вызвать из контекстного меню команду **Свойства компонента**. Активизируйте переключатель **Не фиксировать компонент** на вкладке **Свойства** панели свойств. Фиксация компонентов может быть включена или выключена по желанию пользователя. Однако при создании сборки рекомендуется фиксировать один или несколько ее компонентов.

3.2. Использование соударений и сопряжений при сборке. Редактирование модели сборки

В сборке очень важным является задание взаимного положения элементов относительно друг друга.

После вставки компонента в сборку можно задать его приблизительное положение и ориентацию в ней. В системе КОМПАС-3D предусмотрено несколько способов перемещения компонентов сборки: поворот компонента вокруг центра его габаритного параллелепипеда, вокруг оси или вокруг точки, а также сдвиг компонента в любом направлении.

Команды перемещения компонентов сборки расположены в группе команд **Сервис**. Кнопки для вызова этих команд находятся на панели **Редактирование сборки**:

- переместить компонент  ;
- повернуть компонент  .


Следует иметь в виду следующее:

- если компонент зафиксирован, то его невозможно сдвинуть или повернуть в системе координат сборки;
- перемещению компонента в одном или нескольких направлениях могут препятствовать наложенные на этот компонент сопряжения. Например, компоненты, расположенные соосно, могут перемещаться только вдоль их общей оси, а также вращаться вокруг нее.

Перемещение компонентов сборки может вызвать нарушение существующих в ней параметрических связей и ограничений.

Например, вспомогательные элементы после сдвига или поворота их опорных объектов остаются на прежних местах и т. п. Поэтому компоненты, которые были перемещены, помечаются красной «галочкой» в **Дереве построения**.

Чтобы устранить возникшие нарушения, необходимо перестроить и/или переместить объекты так, чтобы их форма, параметры и положение соответствовали положению опорных объектов и не противоречили наложенным на них сопряжениям.

Перестроить объекты сборки можно с помощью команды **Перестроить**  или нажать кнопку **F5** на клавиатуре.

Сопряжение – это параметрическая связь между компонентами сборки, формируемая путем задания взаимного положения их элементов.

В сопряжениях могут участвовать грани, ребра, вершины, графические объекты в эскизах, а также вспомогательные элементы разных компонентов.

Команды наложения сопряжений расположены в группе команд меню **Операции/Сопряжения компонентов**. Кнопки быстрого вызова этих команд находятся на панели **Сопряжения** (рис. 3.3).

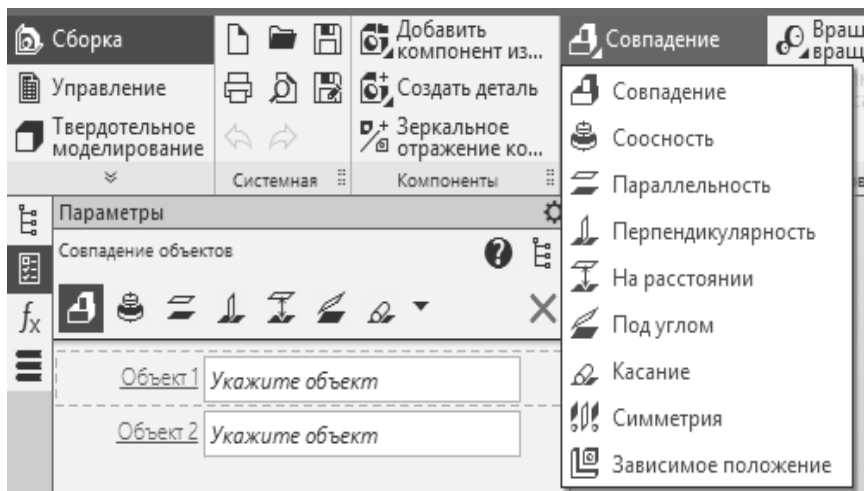


Рис. 3.3. «Восходящий» метод создания сборок

Например:

1. Для задания параллельности заданных поверхностей деталей нажмите на панели **Сопряжения** кнопку **Параллельность**, выберите последовательно поверхности для сопряжения;


2. Для соосности деталей нажмите кнопку **Соосность** на панели **Сопряжения**, укажите цилиндрические поверхности для сопряжения;

3. Для создания касания объектов по плоскости нажмите кнопку **Совпадение** на панели **Сопряжения**, укажите поверхности для сопряжения.


Нет смысла создавать сопряжения, исключаящие друг друга, иначе система выдаст ошибку о том, что сопряжение переопределяет сборку. Кроме того, иногда после перестроения сборки на месте «галочек» появляются красные восклицательные знаки, свидетельствующие об ошибке построения компонента, сопряжения или элемента сборки. Например, вырезанный из сборки элемент был выдавлен до грани какой-либо детали. Затем эту деталь переместили так, что указанная грань уже не может ограничивать элемент выдавливания (то есть эскиз элемента либо не полностью проецируется на эту грань, либо вовсе не может быть спроецирован на нее). Вырезание элемента становится невозможным, и после перестроения модели эта операция помечается в **Дереве построения** как ошибочная.

3.3. Создание и редактирование модели детали в сборке «по месту»

Для редактирования детали при работе со сборкой необходимо выполнить следующие действия:

1. Нажмите правой кнопкой мыши на деталь и выберите команду **Редактировать компонент в окне** . Команду также можно найти на панели инструментов **Правка** или по названию в **Поиск по командам**.

2. Открывается файл, в котором создавалась данная деталь.

3. Внесите необходимые изменения в деталь. Сохраните изменения нажав кнопку  на панели инструментов **Системная**.

4. Вернувшись в файл сборки согласитесь с внесением предлагаемых изменений нажав кнопку **Перестроить**.

3.4. Применение библиотек 3D стандартных изделий при создании сборки

Если в сборке используются стандартные изделия (болты, гайки, винты и т. д.), то не требуется моделировать их как уникальные детали. В сборку могут быть вставлены модели стандартных изделий из библиотеки **Стандартные изделия**. Для ее запуска нужно выбрать в меню **Приложения** команду **Стандартные изделия**, а затем **Вставить элемент**

 (рис. 3.4.).

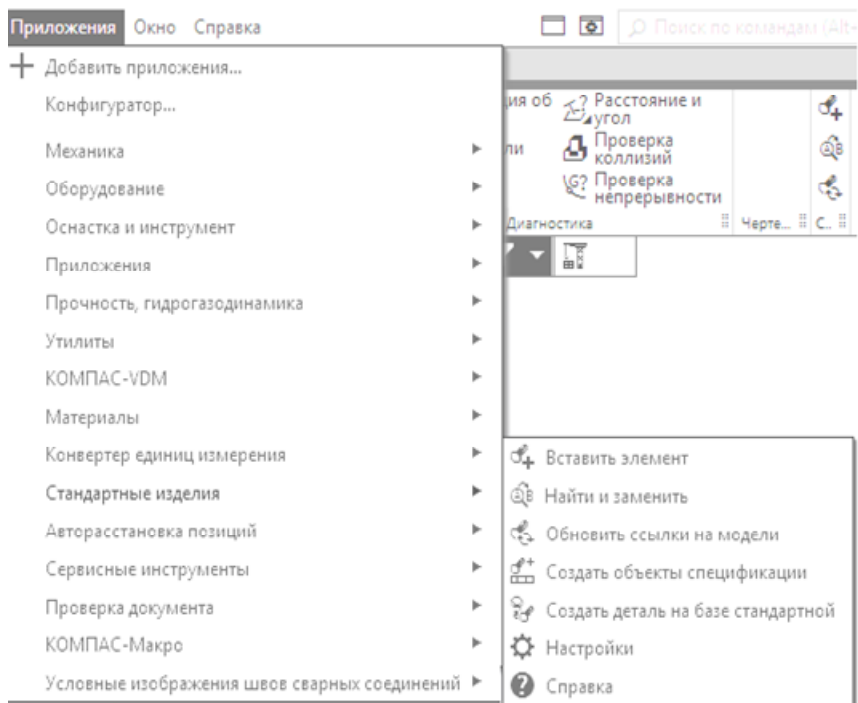



Рис. 3.4. Использование библиотеки **Стандартные изделия**

На рис. 3.5 представлена конфигурация этой библиотеки.

При добавлении в сборку стандартного изделия в **Дереве** построения появляется соответствующая ему пиктограмма .

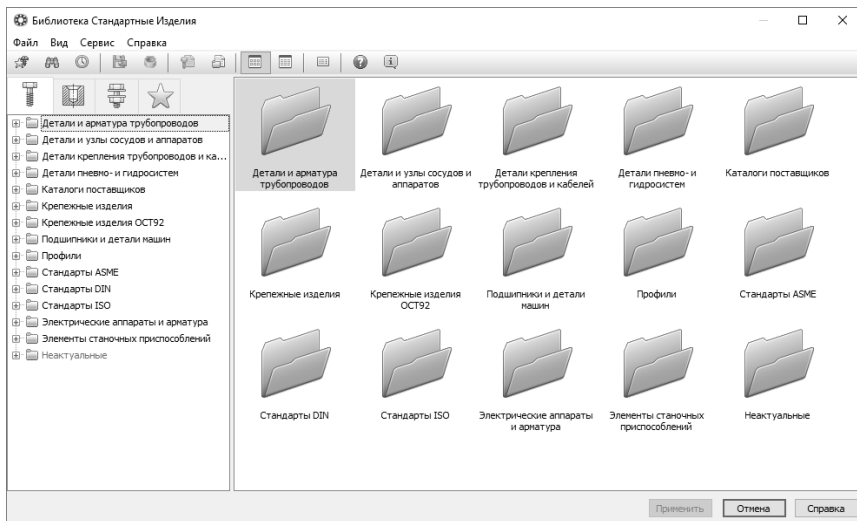


Рис. 3.5. Конфигурация библиотеки **Стандартные изделия**

3.5. Определение свойств модели детали и сборки

Можно изменить свойства модели (детали, сборки) или ее исполнения, а также свойства тела, построенного в ней. Для этого необходимо вызвать команду редактирования свойств и выполнить необходимые действия с помощью элементов **Панели параметров**.

Общий вид панелей представлен на рис. 3.6.

Настройка свойств объектов для детали или сборки выполняется в диалоге **Свойства объекта**, вызываемом командой расположенной в следующей последовательности **Настройка** ® **Параметры...** ® **Текущая деталь/сборка** ® **Свойства объектов**.

Поле **Наименование** содержит наименование модели (сборки). По умолчанию все детали называются **Деталь**, а сборочные единицы – **Сборка**.

Материал модели и параметры штриховки, используемые для отображения на разрезах/сечениях в ассоциативных видах чертежей, отображаются в секции **Материал** Панели параметров. Обозначение материала содержится в поле **Материал**, а параметры штриховки (стиль, угол и цвет) – в полях группы **Графическое отображение материала**. При необходимости можно выбрать другой материал и изменить параметры штриховки.

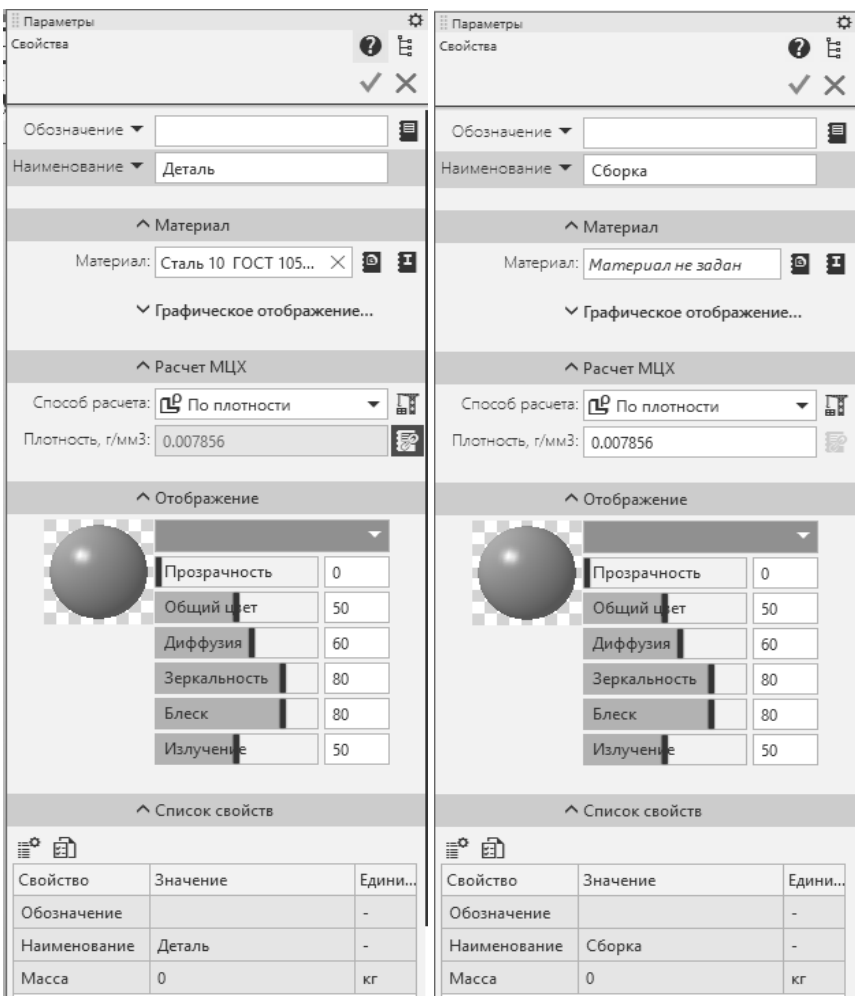


Рис. 3.6. Конфигурация панели **Параметры** для детали (слева) и сборки (справа)

Чтобы изменить обозначение, нужно установить курсор в поле **Обозначение**. На экране появится панель, содержащая элементы формирования обозначения – поля ввода частей обозначения и кнопку вставки кода документа (рис. 3.7). Сформируйте обозначение и нажмите клавишу **Enter**.

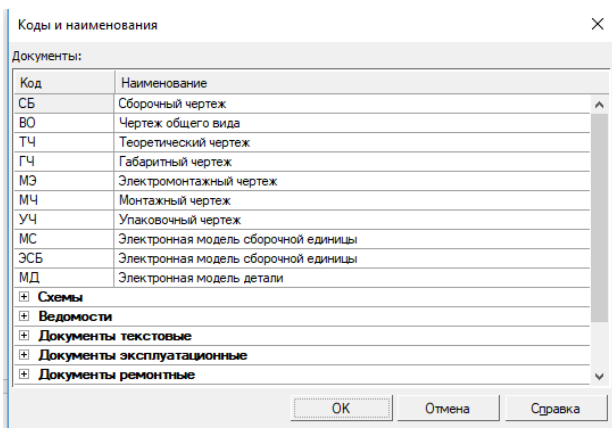
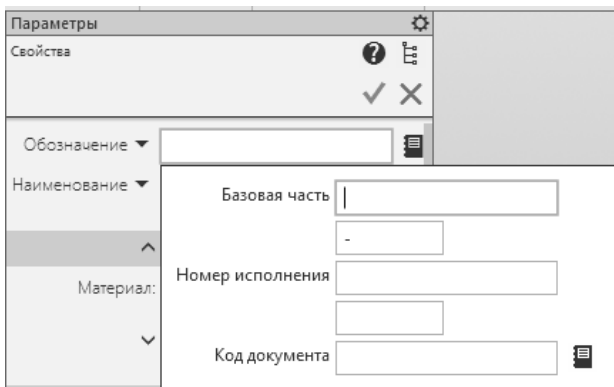


Рис. 3.7. Конфигурация панели **Обозначения**

3.6. Создание разнесенной сборки

В технической документации (например, руководстве по эксплуатации) требуется представить сборку в «разобранном» виде так, чтобы были видны все ее компоненты. На рис. 3.8 представлена разнесенная сборка сборочного узла «Блок направляющий».

Перед разнесением компонентов требуется установить параметры разнесения: выбрать компоненты, а также направление и величину их перемещения. Для указания параметров разнесения необходимо вызвать команду **Сервис** ® **Разнести компоненты** ® **Параметры**.

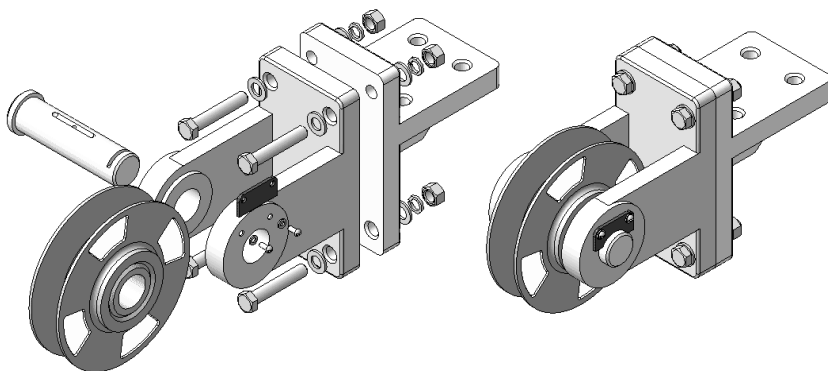





Рис. 3.8. Разнесенная сборка сборочного узла «Блок направляющий»


После вызова команды на экране появляется панель для задания параметров разнесения компонентов. В окне **Шаг** разнесения на вкладке **Параметры** панели свойств отображается список шагов разнесения компонентов. Если настройка параметров разнесения текущей сборки еще не производилась, то список пуст.

Чтобы добавить шаг разнесения, нажмите кнопку **Добавить** . После этого нужно указать компоненты, участвующие в шаге разнесения, выбрать направление разнесения и задать расстояние. Введите далее в соответствующее поле расстояние, на которое должен переместиться компонент относительно своего прежнего положения.

После задания параметров шага разнесения компонентов нажмите кнопку **Применить** на **Панели специального управления**. Выбранные компоненты будут разнесены в соответствии с установленными параметрами.

Для изменения направления перемещения компонента воспользуйтесь переключателем **Направление**  (прямое или обратное). После этого снова нажмите кнопку **Применить**. Задайте требуемое количество шагов разнесения и настройте их параметры. Для завершения настройки разнесения сборки нажмите кнопку команды **Прервать** на **Панели специального управления**. После этого сборка отображается в разнесенном виде.


Чтобы включить режим обычного отображения сборки, нажмите кнопку **Разнести**  на панели **Вид** или вызовите команду **Сервис** ® **Разнести компоненты** ® **Разнести**. Эта команда служит переключателем режима разнесения и обычного отображения сборки. Когда компоненты разнесены, рядом с названием команды появляется «галочка», а кнопка **Разнести** находится в нажатом состоянии.

Указание компонентов для разнесения. Для указания разносимых компонентов необходимо нажать кнопку **Компоненты**  на **Панели свойств** и выбрать нужные объекты (детали или под сборки) в **Дереве построения** или в окне модели.

Указанные компоненты подсвечиваются в окне модели, соответствующие им пиктограммы выделяются цветом в **Дереве построения**, а их названия появляются в **Списке компонентов**. Один и тот же компонент может участвовать в нескольких шагах разнесения. В одном шаге разнесения могут участвовать несколько компонентов.

Компонент, входящий в подсборку (на любом уровне вложенности), может участвовать в шаге разнесения независимо от других компонентов этой подсборки.

Чтобы исключить компонент из числа участвующих в шаге разнесения, укажите его повторно. Можно также выделить название этого компонента в списке и нажать кнопку **Удалить**.

Выбор объекта, задающего направление разнесения. Компоненты могут разноситься в направлении, совпадающем с ребром или в направлении, перпендикулярном грани. Нажмите кнопку **Объект**  на **Панели свойств** и укажите в окне модели нужный объект – ребро или грань. Указанный элемент подсвечиваются, а его название появляется в справочном поле вкладки **Параметры**.

Чтобы выбрать другой элемент, задающий направление разнесения, укажите его курсором. Выделение с ранее указанного элемента будет снято. Выбранным для выполнения операции окажется вновь указанное ребро или грань.

4. МЕТОДЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В САПР

4.1. Назначение параметризации. Непараметрические и параметрические модели геометрических объектов в САПР

Процесс проектирования и конструирования, как правило, итеративный и предполагает перебор нескольких вариантов, поэтому упрощение и автоматизация построения модели будущего изделия являются одной из важнейших задач САПР.

Одним из широко распространенных методов решения этой задачи является параметрическое проектирование (или просто параметризация), основанное на моделировании деталей и изделий с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет за короткое время перебрать с помощью изменения параметров или геометрических отношений различные конструктивные схемы, выбрать оптимальные решения и избежать принципиальных ошибок.

Использование технологии параметрического конструирования позволяет, при необходимости, легко изменять форму модели, в результате чего пользователь имеет возможность быстро и эффективно получать альтернативные конструкции или пересмотреть концепцию изделия в целом. При отсутствии средств обеспечения параметрического конструирования модель определена однозначно только своей геометрией, поэтому внесение даже малейших изменений требует значительных трудовых затрат. Изменения же параметрической модели выполняются так же легко, как и изменения значений размеров на чертежах.

Параметризация позволяет за короткое время с помощью изменения параметров или геометрических соотношений получить различные конструктивные схемы и избежать принципиальных ошибок.

Первые программы с возможностью параметризации вышли в 1989 году. Первопроходцами стали такие САПР как Pro/Engineer (трехмерное твердотельное параметрическое моделирование) фирмы Parametric Technology Corporation и T-FLEX CAD (двумерное параметрическое моделирование) фирмы Топ Системы.

4.2. Методы параметризации 2D и 3D моделей в САПР

Параметрическое проектирование существенно отличается от обычного двухмерного черчения или трехмерного моделирования. В случае параметрического проектирования создается, по сути, математическая модель объектов с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации и размеров деталей, их взаимного расположения в сборках и т. п.

На практике применяется достаточно много различных методов параметризации. Рассмотрим наиболее часто применяемые на практике методы.

Табличная параметризация. Табличная параметризация заключается в создании таблицы (табл. 4.1) параметров типовых деталей (рис. 4.1).

Таблица 4.1

Параметрические значения гаечного ключа

Значение	A (")	B (мм)	B' (мм)	C (мм)	C' (мм)	L (мм)	Масса, гр
40.1/4	1/4"	15	10,4	3,6	6	113	18
40.5/16	5/16"	19,5	12,9	4,3	6	130	28
40.11/32	11/32"	21,5	14,2	4,3	6,1	137	34
40.3/8	3/8"	23,6	15,9	4,8	6,6	145	40
40.7/16	7/16"	25,6	17	5,1	7	153	53
40.1/2	1/2"	29,4	19,8	5,6	8	170	70
40.9/16	9/16"	31,5	21,2	6	8,5	178	80
40.5/8	5/8"	35,5	23,8	6,9	9,8	193	104
40.11/16	11/16"	37,5	25	7	10,3	200	120
40.3/4	3/4"	41,8	29,4	7,6	11,3	216	160
40.13/16	13/16"	44	29,4	8	11,6	224	172
40.7/8	7/8"	48	32	8,2	12,3	248	212
40.15/16	15/16"	52	34,7	8,5	12,9	268	270
40.1	1"	54,4	36,3	8,5	13,2	270	297
40.1/16	1"1/16	59	39	8,8	14	294	355
40.1/8	1"1/8	61,6	41	9	14,4	305	394
40.1/4	1"1/4	68,8	45	10,1	15	356	575

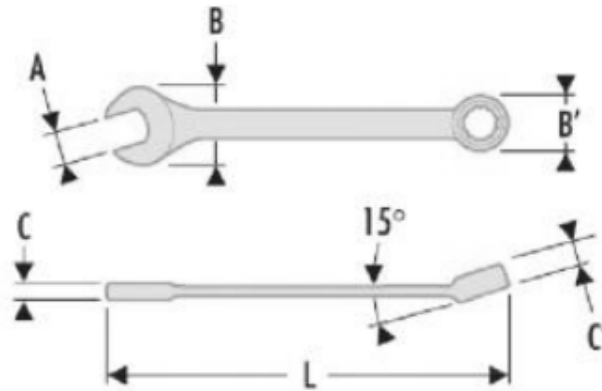


Рис. 4.1. Параметры гаечного ключа

Создание нового экземпляра детали производится путем выбора из таблицы типоразмеров. Возможности табличной параметризации весьма ограничены, поскольку задание произвольных новых значений параметров и геометрических отношений обычно невозможно. Однако табличная параметризация находит широкое применение во всех параметрических САПР, поскольку позволяет существенно упростить и ускорить создание библиотек стандартных и типовых деталей, а также их применение в процессе конструкторского проектирования.

Иерархическая параметризация. Иерархическая параметризация (параметризация на основе истории построений) заключается в том, что в ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «дерева построения» (рис. 4.2). В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

Помимо «дерева построения» модели, система запоминает не только порядок ее формирования, но и иерархию ее элементов (отношения между элементами). (Например: сборки => под сборки => детали). Параметризация на основе истории построений присутствует практически во всех САПР, использующих трехмерное твердотельное параметрическое моделирование. Обычно такой тип параметрического моделирования сочетается с вариационной и/или геометрической параметризацией.

граней и ребер, расположение объектов на расстоянии или под углом друг к другу и т. п.).

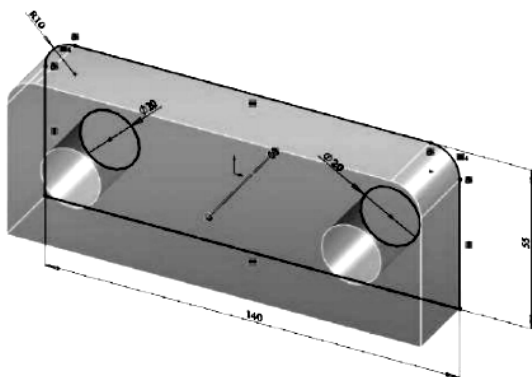


Рис. 4.3. Геометрическая модель с вариационной параметризацией

Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза или величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трехмерную модель.

Частным случаем размерной параметризации является так называемая «эвристическая» параметризация, когда последовательно выполняется эскиз, который «образмеривается»; операцией выдавливания получают геометрическую модель (рис. 4.4, а). Затем производят редактирование значений размеров и выполняют операцию «эвристическая параметризация», в результате которой происходит автоматическое изменение геометрии профиля (рис. 4.4, б).

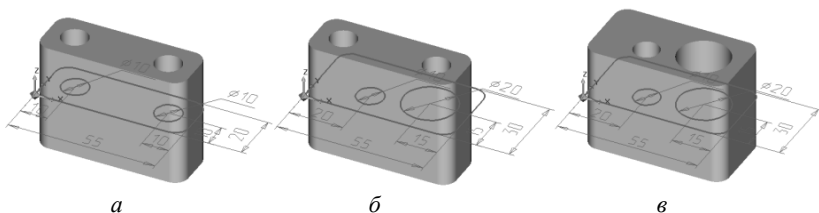


Рис. 4.4. «Эвристическая» параметризация

Геометрическая параметризация. Геометрической параметризацией называется параметрическое моделирование, при котором

геометрия каждого параметрического объекта пересчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных.

Параметрическая модель в случае геометрической параметризации состоит из элементов построения и элементов изображения (рис. 4.5). Элементы построения (конструкторские или вспомогательные линии) задают параметрические связи. К элементам изображения относятся линии изображения (которыми обводятся конструкторские линии), а также элементы оформления (размеры, надписи, штриховки и т. п.). Одни элементы построения могут зависеть от других элементов построения.

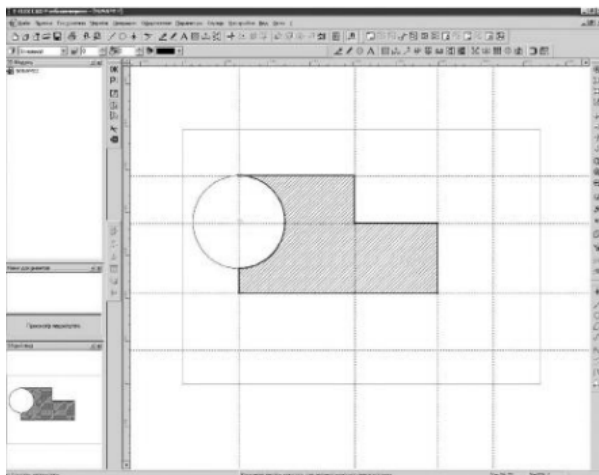


Рис. 4.5. Геометрическая параметризация основного контура с использованием направляющих линий

Элементы построения могут содержать и параметры (например, радиус окружности или угол наклона прямой). При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания.

Процесс создания параметрической модели методом геометрической параметризации выглядит следующим образом:

1. На первом этапе конструктор задает геометрию профиля конструкторскими линиями, отмечает ключевые точки.

2. Затем проставляет размеры между конструкторскими линиями. На этом этапе можно задать зависимость размеров друг от друга.

3. Затем обводит конструкторские линии линиями изображения – получается профиль, с которым можно осуществлять различные трехмерные операции.

Последующие этапы в целом аналогичны процессу моделирования с использованием метода вариационной параметризации.

Геометрическая параметризация обеспечивает возможность более гибкого редактирования модели. В случае необходимости внесения незапланированного изменения в геометрию модели необязательно удалять исходные линии построения (это может привести к потере ассоциативных взаимосвязей между элементами модели), можно провести новую линию построения и перенести на нее линию изображения.

4.3. Ограничения в системах параметризации: размерные, топологические, функциональные, логические

Ограничением называется любое условие построения модели, связывающее положение или форму отдельного примитива относительно других.

Совокупность примитивов объекта и ограничений полностью определяет параметрическую модель объекта. Виды ограничений представлены на рис. 4.б.

Логические. Определяют допустимые условия отношений между отдельными геометрическими параметрами объектов. Они служат для того, чтобы при модификации форма получаемого объекта не принимала абсурдного представления с точки зрения ее физической реализации.

Функциональные. Включают все возможные выражения, определяющие одни семантически зависимые параметры объекта через другие, ранее определенные. Ограничения представляют собой функционально задаваемые размерные обозначения.

Топологические определяют условия взаимосвязи графических примитивов и тем самым наряду с другими типами ограничений влияют на форму объекта. Сюда относят: условия совпадения точек у разных примитивов, условия касания примитивов, их параллельность расположения, перпендикулярность, соосность, симметрию.

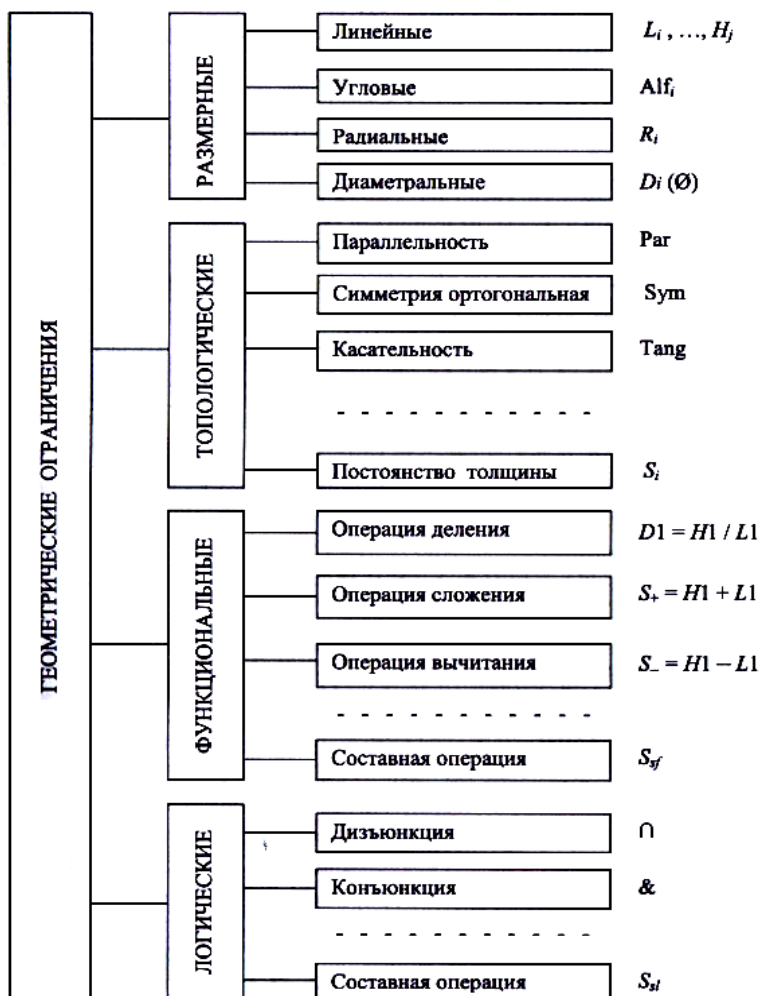


Рис. 4.6. Классификация ограничений

К этому виду ограничений также относят принадлежность примитивов определенному виду, эквивалентность размеров отрезков, радиусов дуг и окружностей, постоянство толщины детали и др.

Вводимые топологические ограничения уменьшают количество размерных ограничений, необходимых при создании параметрических описаний моделей конструкторских объектов.

Размерные: объединяют совокупность размеров, численные значения которых задают положение базовых точек примитивов графического объекта относительно выбранной системы координат или ранее определенных примитивов этого объекта. К ним относят линейные, радиальные, диаметральные и угловые размеры.

4.4. Параметризация геометрических объектов.

Степени свободы

В САПР КОМПАС-3D реализован вариационный способ параметризации изображений. Это означает, что, работая в чертеже, фрагменте или эскизе трехмерного элемента, можно накладывать различные размерные (линейные, угловые, радиальные и диаметральные) и геометрические (параллельность, перпендикулярность, касание, принадлежность точки к кривой, фиксация точки и т. д.) ограничения на объекты изображения.



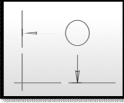

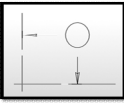
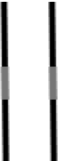
КОМПАС-3D предоставляет пользователю возможности наложения следующих связей ограничений:

- Вертикальность объектов*.
- Горизонтальность объектов*.
- Коллинеарность отрезков*.
- Параллельность объектов*.
- Перпендикулярность объектов*.
- Выравнивание характерных точек объектов по вертикали*.
- Выравнивание характерных точек объектов по горизонтали*.
- Зеркальная симметрия*.
- Равенство радиусов дуг и окружностей.
- Равенство длин отрезков.
- Касание кривых*.
- Объединение характерных точек объектов*.
- Принадлежность точки кривой*.
- Фиксация характерных точек объектов.
- Фиксация* и редактирование размеров.
- Присвоение размеру имени переменной.

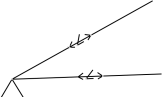
Отмеченные «*» связи и ограничения могут накладываться автоматически.

Команды наложения перечисленных связей и ограничений сгруппированы на панели – **Параметризация** (табл. 4.2).

Виды связей ограничений

Ограничение/ Пиктограмма	Изображение	Расположение	Результат
1	2	3	4
Вертикаль- ность		Штрих в середине отрезка	Обеспечивает вертикальность прямолинейного объекта (отрезка, осевой линии, вспомогательной прямой, стрелки взгляда, линии разреза и т. п.)
Горизонталь- ность		Штрих в середине отрезка	Обеспечивает горизонтальность прямолинейного объекта (отрезка, осевой линии, вспомогательной прямой, стрелки взгляда, линии разреза и т. п.)
Выравнивание по вертикали 		Штриховой вертикальный отрезок, связывающий выровненные точки	Обеспечивает расположение точек на одной вертикаль- ной прямой. Накла- дывается на объекты, которым принадле- жат эти точки
Выравнивание по горизонтали 		Штриховой горизонталь- ный отрезок, связывающий выровненные точки	Обеспечивает рас- положение точек на одной горизонталь- ной прямой. Накла- дывается на объекты, которым принадле- жат эти точки

1	2	3	4
<p>Параллельность</p> 		<p>Наклонный двойной штрих в середине отрезка</p>	<p>Обеспечивает параллельность прямолинейных объектов (отрезков, вспомогательных прямых, осевых линий, стрелок взгляда, линий разреза и т. п.)</p>
<p>Коллинеарность</p> 		<p>Два продольных штриха возле середины отрезка</p>	<p>Обеспечивает расположение отрезков на одной прямой</p>
<p>Концентричность*</p> 		<p>Две концентричные окружности сбоку от контура</p>	<p>Ограничение обеспечивает совпадение центров окружностей/эллипсов и/или их дуг</p>
<p>Касание</p> 		<p>В точке касания: при необходимости кривые продлеваются до точки касания штриховой линией</p>	<p>Обеспечивает касание кривых (касаться могут как сами кривые, так и их продолжения)</p>
<p>Биссектриса*</p> 		<p>В середине каждого отрезка</p>	<p>Обеспечивает расположение прямолинейного объекта на биссектрисе угла, образованного двумя другими прямолинейными объектами</p>

1	2	3	4
Объединить точки* 		В точке	Обеспечивает совпадение точек. Накладывается на объекты, которым принадлежат эти точки
Фиксированная точка/длина/угол 		Треугольник в точке. Два штриха уголково посередине отрезка. Два обратных штриха посередине отрезка	Обеспечивает сохранение положения точки/длины/угла. Накладывается на объект, которому принадлежит эта точка
Равенство 		Два параллельных штриха посередине отрезка или две коротких дуги рядом с окружностью	Обеспечивает равенство длин прямолинейных объектов (отрезков, осевых линий), радиусов дуг и/или диаметров окружностей
Симметрия двух точек 		Штриховой отрезок, связывающий симметричные точки и квадрат в точке его пересечения с осью	Обеспечивает симметричное расположение объектов

Не предусмотрена возможность параметризации некоторых сложных объектов таких как: ломаная, кривая Безье, контур, эквидистанта, текст, таблица, макроэлемент, оформление чертежа.

5. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

5.1. Проектирование металлоконструкций при помощи прикладных библиотек

Конструктору-машиностроителю время от времени приходится работать с изделиями из металлопроката. Это актуально во многих областях деятельности: поставить электропривод на раму, собрать каркас под оборудование и многое другое. В КОМПАС-3D для выполнения этих работ разработано специализированное приложение, предназначенное для автоматизации типовых работ по проектированию металлоконструкций. Приложение **Оборудование: Металлоконструкции** предназначено для автоматизации работ по созданию металлоконструкций и каркасных сооружений из профиля металлопроката.

Приложение позволяет:

- создавать конструкции в пространстве с использованием каталога сортиментов, справочника «Материалы и сортаменты» или библиотеки фрагментов, созданной пользователем;
- выполнять обработку торцов, угловых участков и стыков объектов;
- редактировать профили изменением длины, отсечением поверхностями и т. д.;
- строить пластины и ребра жесткости, соединяющие профили с другими объектами модели;
- создавать на объектах фаски, пазы и группы отверстий;
- вставлять графическое изображение сечения профиля, взятого из каталога, в документ (*.cdw, *.frw).

5.2. Создание трехмерных эскизов и каркасов

Основные понятия:

Профиль – модель, созданная по одной или нескольким образующим, с использованием экземпляра сортамента.

Каталог – набор экземпляров сортиментов (уголков, швеллеров, двутавров и др.), применяемых для построения профилей.

Образующая – это пространственная кривая, по которой строится профиль. Если профиль построен по точкам, то за образующую принимается отрезок, соединяющий начальную и конечную точки.

Позиционирующие точки – точки на сечении профиля или пластине, которые служат для построения объектов или расположения их в модели.

Направление по объекту – задание образующей профиля, стороне пластины, осям группы отверстий направления, совпадающему с направлением существующего в модели объекта.

Ориентация по объекту – задание профилю ориентации (позиционирующей точки, угла поворота сечения и смещения относительно образующей), совпадающей с ориентацией существующего профиля.

Конструкция создается на основе образующих и выбранного сортамента. В качестве образующих могут выступать как любые прямолинейные сегменты эскизов или сегменты ломаных, так и прямолинейные ребра твердых тел. Сортамент выбирается из контейнера шаблонов пользователем вручную либо задается автоматически при выборе экземпляра сортамента в библиотеке «Материалы и сортаменты» (или аналогичном корпоративном справочнике).

При построении нового элемента пользователю доступны различные варианты определения пространственной ориентации конструкции: смена позиционирующей точки, зеркальное отображение, поворот и смещение. При построении также могут быть заданы различные способы обработки деталей, такие как угловая разделка для угловых участков, деление прямолинейных участков металлоконструкций, отступ от узлов образующих. Возможна и корректировка длины деталей, принадлежащих одному или нескольким каркасам, путем отсечения или удлинения деталей до плоскостей, выполнение угловой разделки торцов деталей, построение отступов торцов деталей металлоконструкций от узлов образующих.

Все параметры и свойства уже построенных объектов поддаются редактированию. Для облегчения работы пользователя в библиотеку «Металлоконструкции 3D» входит контейнер шаблонов, который уже содержит в своем составе сортаменты по отечественным стандартам (ГОСТ, ТУ, и т. д.). Но наиболее эффективной

будет совместная работа анной библиотеки и справочника «Материалы и сортаменты».

Создание металлоконструкции в приложении начинается с построения трехмерного каркаса – геометрических осей, которые являются эскизом конструкции. После чего для каждой из осей назначается профиль. Сортамент профиля может выбираться из нового «Каталога профилей», входящего в комплект поставки приложения, либо из справочника «Материалы и сортаменты» для КОМПАС-3D.

Для удобства построения и редактирования металлоконструкции в приложении реализован механизм характерных точек, который позволяет задавать длину и угол поворота профиля непосредственно в окне построения. При изменении трехмерного каркаса металлоконструкция перестроится автоматически.

Построение профиля осуществляется с помощью соответствующих команд:

- профиль по точкам;
- профиль по кривой;
- профили по образующим.

После назначения профилей необходимо проработать отдельные узлы металлоконструкции. Для этого в приложении есть специальные инструменты – можно корректировать длины деталей, задавать угловую или стыковую разделки.

Выбор сортаментов осуществляется из каталога (рис. 5.1). Он содержит сортаменты различных типов (например, уголков, швеллеров, двутавров и других).

В окне находятся панель, содержащая переключатели типов сортаментов, а также окно просмотра и таблица типоразмеров. В окне просмотра показан текущий профиль с расположенными рядом элементами управления, позволяющими выбрать типоразмер или ввести значение с клавиатуры. В таблице находится перечень марок сортаментов, доступных для выбора. Параметры текущего сортамента отображаются в полях окна просмотра.

5.3. Построение подсечек, ребер жесткости и групп отверстий

С листовой деталью можно работать как с обычной моделью – приклеивать и вырезать формообразующие элементы любого типа, а также добавлять конструктивные элементы – скругления, фаски, ребра, отверстия и т. п.

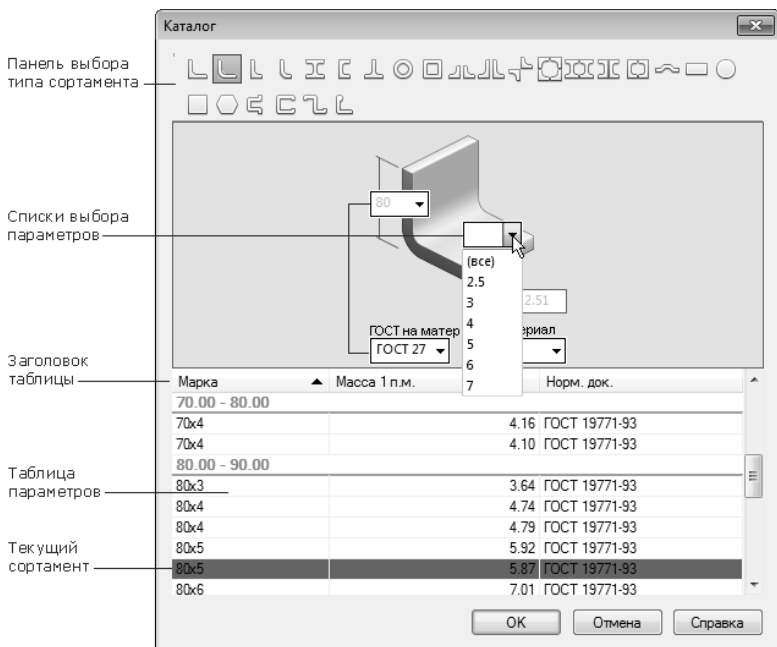


Рис. 5.1. Выбор сортаментов из каталога

В приложении есть специальные инструменты для построения дополнительных элементов в виде ребер жесткости или фасок.

Подсечка – для создания сразу двух сгибов по прямой линии относительно какой-либо грани этой детали.

Примером выполнения команды **Подсечка**, представленная на рис. 5.2.

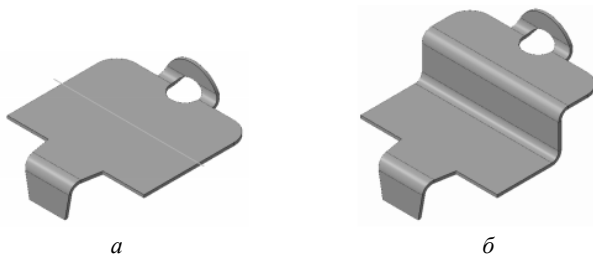


Рис. 5.2. Пример формирования двух сгибов по прямой линии:
а – эскиз; б – результат построения подсечки

5.4. Формирование КД на металлоконструкции

На основе полученной трехмерной модели легко сформировать проекционные виды, разрезы, выносные узлы, которые можно разместить на исходном чертеже или в новых документах.

Для созданной с помощью приложения конструкции также можно автоматически получить спецификацию либо любые другие виды настраиваемых отчетов. Металлоконструкция, спроектированная в приложении, может быть проверена на наличие пересечений. Трехмерная модель позволяет сразу выявить возможные нестыковки.

5.5. Методика создания изделий из листового сортамента

Из листового материала сегодня изготавливается более половины всех деталей и узлов различных конструкций. Несущие корпуса самолетов, автомобилей, судов, космических аппаратов, механизмов и приборов сконструированы из листовых материалов. В первую очередь это связано с обеспечением минимума массы конструкции и с оптимизацией коэффициента использования материала.

Изготовление из листового материала напрямую связано с такими технологиями, как: механическая, газовая и лазерная резка; гибка; листоштамповка (вытяжка, формовка, обжим, обтяжка и т. п.) и др.

К листовым деталям относят конструкции, выполненные из листового металла с одинаковой толщиной S . Эти детали могут использоваться в качестве кронштейнов, резервуаров, коробов, кожухов, скоб, шайб и т. д. (рис. 5.3).

Особенностью листовой детали является возможность ее сгибания и разгибания.

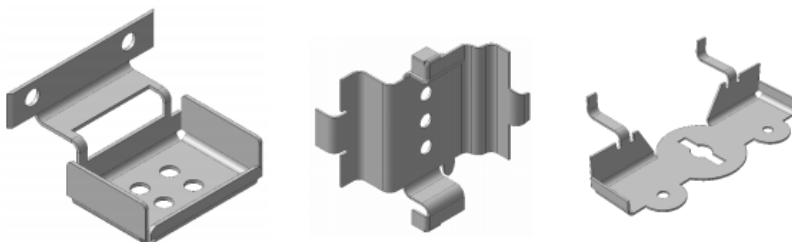


Рис. 5.3. Примеры листовых деталей

Поскольку методология моделирования листовых деталей в достаточной степени отличается от моделирования других твердых тел, в системе КОМПАС-3D предусмотрена отдельная инструментальная панель (**Листовое моделирование**), на которой расположены команды моделирования листовых деталей.

Построение листового тела Листовое тело строится командой **Листовое тело**. Способы вызова команды: Инструментальная область: **Листовое моделирование** ® **Элементы листового тела** ® **Листовое тело** или **Меню: Моделирование** ® **Листовое моделирование** ® **Листовое тело** (рис. 5.4).

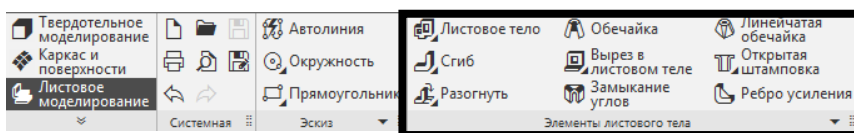


Рис. 5.4. Инструментальная панель **Листовое моделирование**

Моделирование листовой детали начинается с создания листового тела – первого элемента детали. Затем к нему добавляются все остальные элементы – сгибы, выступы, лапки, в которых в дальнейшем можно формировать отверстия и вырезы.

Существуют два варианта построения листового тела:

- на основе замкнутого эскиза;
- на основе разомкнутого эскиза.

Замкнутый эскиз выдавливается на заданную величину в направлении, перпендикулярном его плоскости (рис. 5.5).

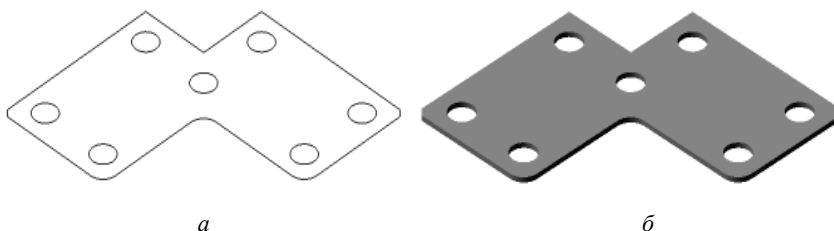


Рис. 5.5. Построение листового тела на основе замкнутого эскиза
а – эскиз; б – листовое тело

Разомкнутый эскиз выдавливается в одну или в обе стороны на заданное расстояние, к полученной поверхности добавляется толщина. Отрезки в эскизе формируют плоские участки листового тела, дуги формируют сгибы соответствующих радиусов, углы контура формируют сгибы с заданным пользователем радиусом (рис. 5.6).

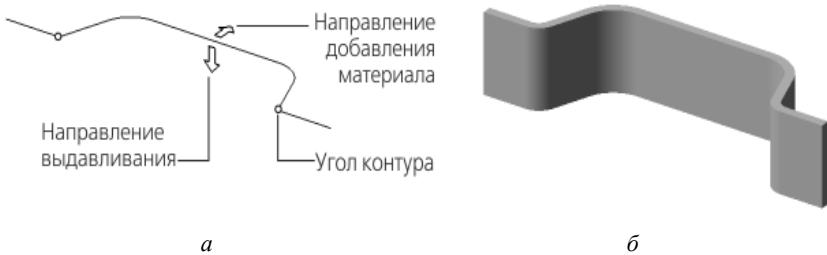


Рис. 5.6. Построение листового тела на основе разомкнутого эскиза:
а – эскиз; б – листовое тело

5.6. Создание конструктивных элементов листовых тел

К конструктивным элементам листовых тел можно отнести:

- пластина;
- открытая/закрытая штамповка;
- жалюзи;
- буртик;
- ребро усиления.

Для создания данных конструктивных элементов необходимо выбрать необходимую команду из меню **Моделирование**, панель – **Листовое моделирование** (рис. 5.7).

В листовой детали можно создавать отверстия и вырезы произвольной формы. Теоретически эти элементы могут быть образованы обычным для трехмерных моделей приемом – при помощи команды **Вырезать выдавливанием**. Однако при формировании отверстий и вырезов в листовых деталях рекомендуется использовать специальные команды **Отверстие в листовом теле** и **Вырез в листовом теле** на панели **Элементы листового тела**, так как они учитывают особенности построения листовых тел (рис. 5.8).

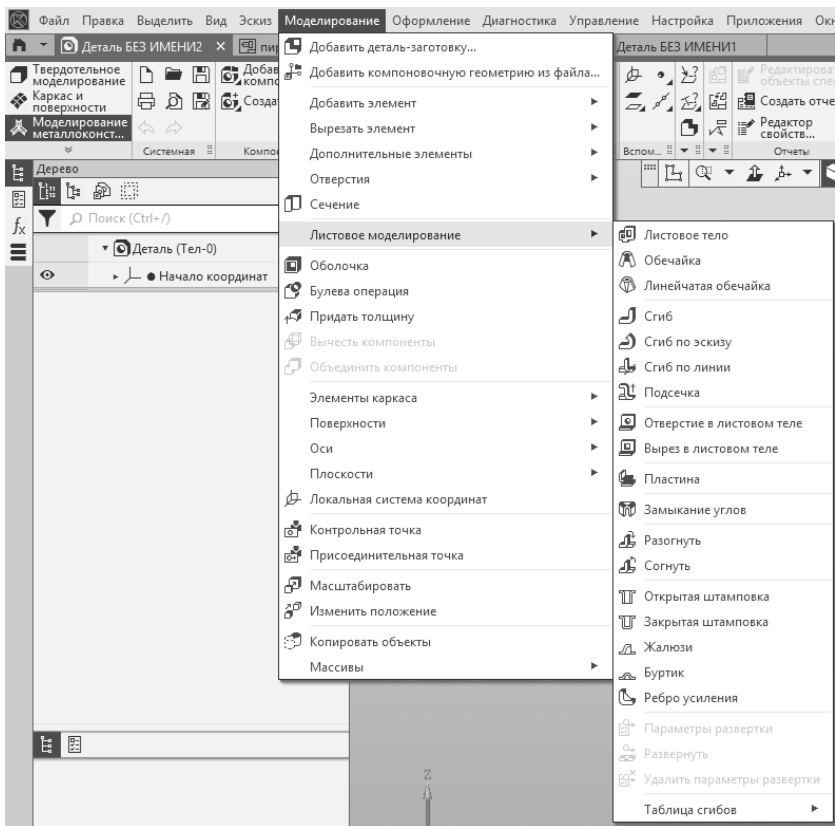


Рис. 5.7. Выбор конструктивных элементов листового тела

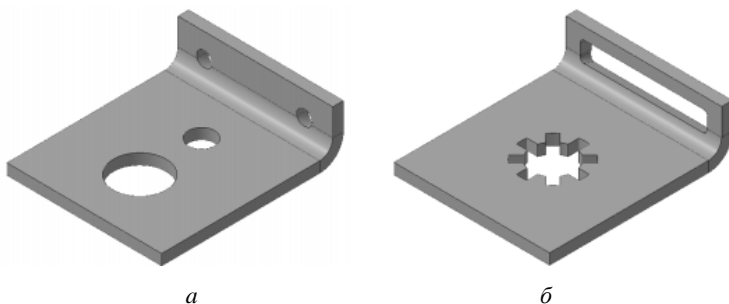


Рис. 5.8. Примеры построения в листовой детали:
а – отверстий; б – вырезов

При помощи команды **Пластина** система позволяет добавлять к листовой детали плоские элементы – пластины. Пластина формируется путем выдавливания замкнутого эскиза на глубину, равную толщине материала детали (рис. 5.9.). Контур эскиза пластины должен пересекать контур базовой грани.

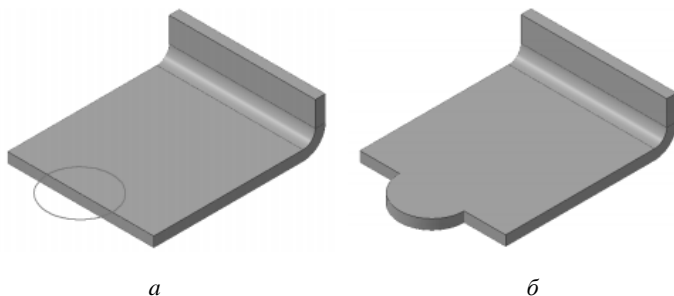


Рис. 5.9. Формирование пластины в листовой детали:
а – эскиз; б – результат операции

Штампованные детали, сформированные при помощи таких команд, как **Открытая штамповка**, **Закрытая штамповка**, **Жалюзи**, **Буртик**, представлены на рис. 5.10.

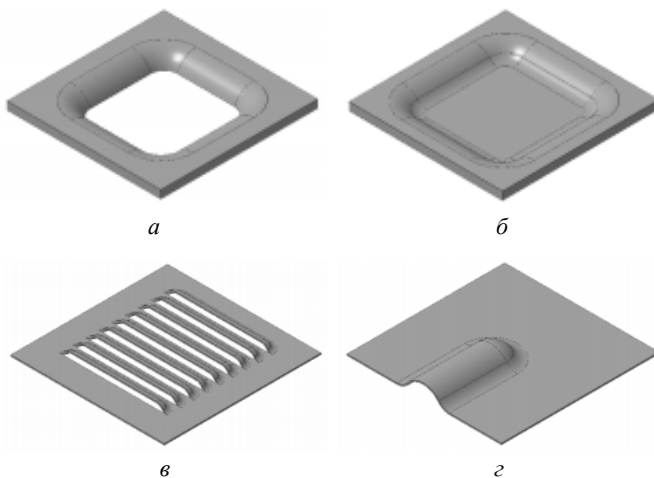


Рис. 5.10. Формирование штампованных деталей:
а – открытая штамповка; б – закрытая штамповка; в – жалюзи; г – буртик

Фактически создание штамповки относится не к операциям гибки, а к операциям деформирования, когда листовый материал вытягивается и его толщина уменьшается. При выполнении команд формирования штампованных деталей это изменение толщины материала в системе КОМПАС-3D не учитывается.

5.7. Создание разверток

Фактически создание штамповки относится не к операциям гибки, а к операциям деформирования, когда листовый материал вытягивается и его толщина уменьшается. При выполнении команд формирования штампованных деталей это изменение толщины материала в системе КОМПАС-3D не учитывается.

Формирование отверстий, вырезов и некоторых других конструктивных элементов удобнее выполнять, если сгибы листового тела находятся в разогнутом виде. Чтобы разогнуть или согнуть один или несколько сгибов листовой детали, вызовите команду **Разогнуть** или **Согнуть**, соответственно, на панели **Элементы листового тела**.

Разгибание сгиба представлено на рис. 5.11.

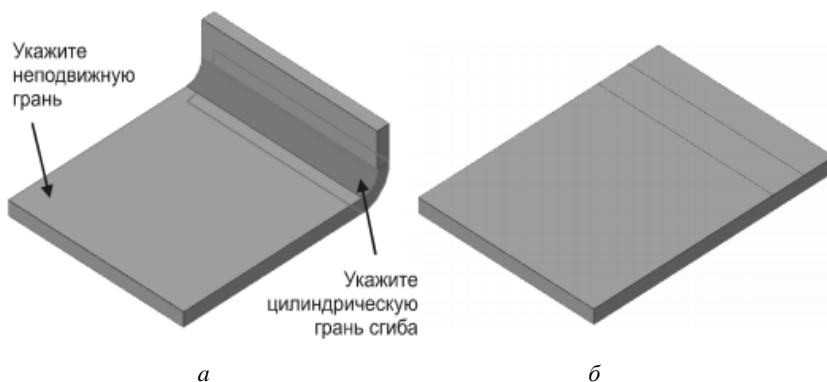


Рис. 5.11. Разгибание сгиба
а – указание параметров сгиба; б – результат операции

Можно разогнуть все сгибы листовой детали одновременно, получив ее плоскую проекцию – развертку. Для формирования

развертки в системе предусмотрены две команды **Параметры развертки** и **Развертка**.

Команда **Параметры развертки** нужна для того, чтобы установить характеристики развертки – выбрать неподвижную грань и задать состояния сгибов.

После установки параметров развертки становится доступной команда **Развертка**, которая переводит модель в режим развернутого отображения.

Если в листовой детали установлены параметры развертки, то в дальнейшем достаточно легко построить ассоциативный чертеж развертки.

Для этого необходимо выполнить следующие операции:

1. Создать документ типа **Чертеж**.
2. Задать требуемый формат и ориентацию листа.
3. Создать **Произвольный вид** на инструментальной панели

Ассоциативные виды.

4. На панели свойств раскройте список **Ориентация** и указать вариант **Развертка**, задать масштаб и активизировать специальную кнопку-переключатель **Развертка**.

5. Укажите положение вида на листе чертежа, и система отрисует двумерный чертеж развертки листовой детали.

5.8. Методика формирования КД на изделия из листового сортамента

Чертежи листовых деталей, кроме основных изображений готовой детали, содержат полную или частичную развертку этой детали, которая вычерчивается сплошными основными линиями. Развертка определяет форму и размеры детали перед ее гибкой. Радиус сгиба детали на чертеже указывается внутренний, а расчет длины дуги для развертки ведется по средней линии.

На изображение развертки наносят только те размеры, которые нельзя указать на изображении готовой детали.

Пример оформления чертежа листового тела с использованием развертки приведен на рис. 5.12. Над изображением развертки помещают условный знак развертки.

При невозможности совмещения развертки с чертежом она выносится на отдельный лист чертежа детали.

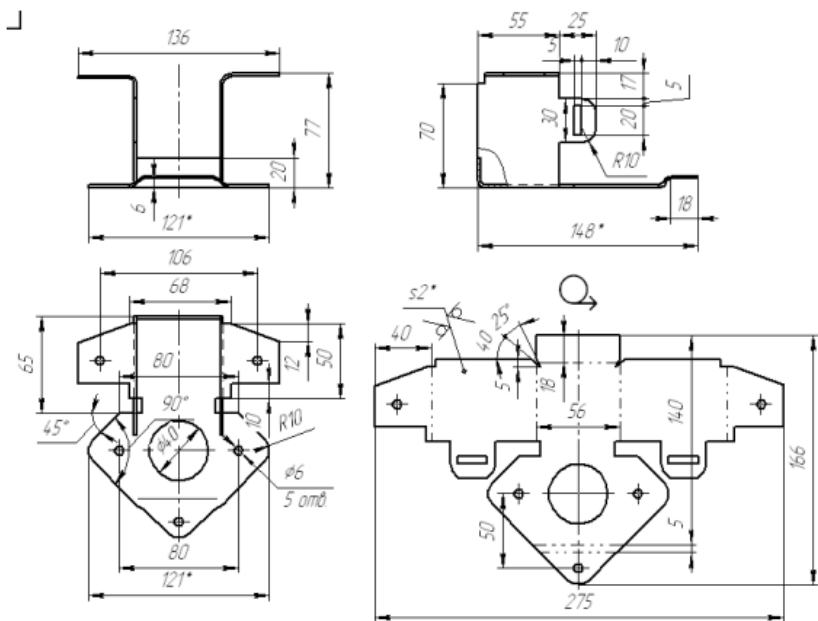


Рис. 5.12. Оформление чертежа детали и развертки на одном листе

На развертке указывают линии сгиба и делают соответствующие надписи. Минимально допустимый радиус сгиба R_{\min} зависит от толщины, пластических свойств исходного материала, угла сгиба и регламентируется стандартами.

В учебных целях можно принять

$$R_{\min} = S$$

где S – толщина листа.

Особое внимание нужно обращать на правильное определение размеров в местах сгиба детали.

6. ПРИКЛАДНЫЕ БИБЛИОТЕКИ САПР

6.1. Прикладные библиотеки (модули, приложения) САПР

Библиотека – это приложение, созданное для расширения стандартных возможностей КОМПАС и функционирующее в его среде. Типичными примерами приложений являются поставляемая вместе с системой является библиотека **Kompas.rtw**. Она содержит функции построения часто встречающихся геометрических фигур, гладких и резьбовых отверстий и т. д.), а также отдельную библиотеку стандартных машиностроительных элементов, значительно ускоряющую проектирование сборочных единиц и оформление сборочных чертежей.

Кроме вышеуказанной в САПР КОМПАС содержит следующие основные библиотеки:

- **КОМПАС-SHAFT 2D, 3D** – системы расчета (включает комплекс программ Gears) и 2D, 3D моделирования тел вращения и механических передач.

- **Механика: Пружины** – система расчета и проектирования пружин растяжения, сжатия, кручения, а также тарельчатых, конических и фасонных пружин.

- **Оборудование: Металлоконструкции** (автоматизация типовых работ по проектированию каркасов и рам из металлопроката).

- **Оборудование: Трубопроводы** (автоматизация типовых работ по проектированию трубопроводов).

- **Оборудование: Системы вентиляции** предназначено для построения разветвленных трехмерных моделей элементов систем вентиляции (воздуховодов).

- **Оборудование: Развертки** предназначено для быстрого проектирования элементов пыле-, газо- и воздухопроводов, трубопроводов и аналогичных деталей листовой конструкции.

- **Оборудование: Сварные соединения** (автоматизация типовых работ по обозначению сварных соединений).

- **Штампы 3D** предназначено для автоматизации конструкторских и технологических работ при проектировании штампов для изделий из листового материала. Позволяет формировать комплект технической документации, необходимой для выпуска штампа.

– **Пресс-формы 3D** предназначено для автоматизации проектно-конструкторских и технологических работ проектирования пресс-форм для литья изделий под давлением из пластмассы, и формирования комплекта технической документации, необходимой для выпуска пресс-формы.

– **АРМ FEM** – система прочностного анализа, предназначенная для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D, и визуализации результатов этих расчетов.

– **АРМ FEM. Топологическая оптимизация** приложение для оптимизации распределения материала в области проектирования с учетом нагрузок и креплений. Позволяет создать модель с заданными эксплуатационными характеристиками, уменьшая материалоемкость детали или целой конструкции.

– **Механика: Анимация** предназначено для имитирования движений различных узлов и звеньев машин, устройств, механизмов и приборов, Проверка возможных соударений компонентов в процессе их перемещений для выявления ошибок в проектировании.

– **Универсальный механизм Express** – специализированное многофункциональное расчетное приложение, предназначенное для решения задач кинематики и динамики механических систем.

– **KompasFlow** предназначено для проведения в КОМПАС-3D экспресс-анализа аэрогидродинамики изделия на ранних этапах его проектирования и позволяет сделать первичную оценку влияния вносимых изменений в геометрию устройства на его эффективность.

– **КОМПАС-Эксперт** предназначено для поиска и исправления ошибок в документах КОМПАС-3D. Проверяет модели, чертежи и спецификации, давая конструктору возможность исправить их до того, как документация попадет в производство.

– **Система защиты документов** (в разработке) – приложение для защиты от несанкционированного доступа к электронным документам (чертежам, спецификациям, трехмерным моделям и т. д.), разработанным в системе КОМПАС-3D.

Прикладная библиотека может быть создана в одной из стандартных сред программирования для Windows (Borland C++, Microsoft Visual C++, Borland Pascal и т. д.) с использованием функций специального комплекта разработки приложений КОМПАС-Мастер.

По своей архитектуре библиотека является стандартным динамически подключаемым модулем (dll) Windows. По умолчанию файлы библиотек имеют расширения *.dll или *.rtw.

Рассматриваемые библиотеки обеспечивают полное чтение моделей КОМПАС-3D. Визуализация работы и результатов библиотеки создается в отдельном окне, и пользователю предоставляется возможность получать визуальную информацию об объекте, его характеристиках (например, динамических, кинематических) непосредственно в процессе моделирования.

6.2. Моделирование механических передач, пружин и других деталей с использованием прикладных библиотек (приложений) САПР

Механические передачи предназначены для превращения кинематических характеристик двигателя в необходимые параметры движения исполнительных органов машин.

Приложение **КОМПАС-SHAFT 2D** предназначено для проектирования шлицевых, резьбовых и шпоночных участков на ступенях моделей, а также других конструктивных элементов модели – канавок, проточек, пазов, лыски и т. д. На простых элементах могут быть смоделированы шлицевые, резьбовые и шпоночные участки, а также другие конструктивные элементы – канавки, проточки, пазы, лыски и т. д. (рис. 6.1).

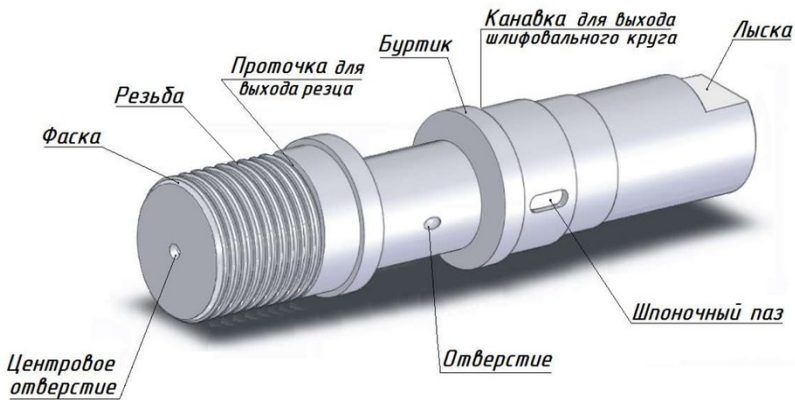


Рис. 6.1. Вал с различными конструктивными и технологическими элементами

Эта библиотека обеспечивает параметрическое построение чертежей шлицевых, резьбовых и шпоночных участков на ступенях моделей, построение валов и втулок, цилиндрических и конических колес, червячных колес и червяков.

Также библиотека включает в себя модуль расчета механических передач **КОМПАС-GEARS 2D** которое предназначено для выполнения геометрических и прочностных расчетов следующих типов механических передач:

- цилиндрическая передача внешнего зацепления;
- цилиндрическая передача внутреннего зацепления;
- коническая передача с круговыми зубьями;
- коническая передача с прямыми зубьями;
- червячная цилиндрическая передача;
- роликовая цепная передача;
- клиноременная передача;
- зубчатоременная передача.

КОМПАС-SHAFT 2D поддерживает связь с **КОМПАС-3D**, предоставляя возможность по построенным чертежам автоматически создавать трехмерные модели. Таким образом, можно получить, например, модели шкивов для ременных передач или звездочек для приводных цепных передач по их плоскому чертежу.

На рис. 6.2 изображен комбинированный вал, содержащий различные ступени (справа налево: шкив ременной передачи, звездочка цепной передачи, шестерня цилиндрической передачи, коническая шестерня и участок с метрической резьбой).

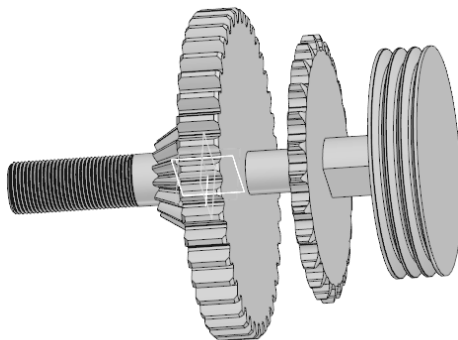


Рис. 6.2. Комбинированный вал

Приложение «Механика-Пружины» предназначено для выполнения проектного и проверочного расчетов цилиндрических винтовых пружин сжатия и растяжения, тарельчатых, конических и фасонных пружин, а также для построения их чертежей (с созданием вида, диаграммы, технических требований, заполнением основной надписи) в среде системы КОМПАС-3D.

В ходе расчета конструктор может варьировать параметры пружины для получения наилучшего результата: для каждого набора исходных данных определяется несколько вариантов пружин, максимально удовлетворяющих заданным условиям и критериям прочности. Результаты расчета могут быть сохранены для последующего выполнения построения или распечатаны.

Приложение «Механика-Пружины» интегрирована с библиотекой «Материалы и сортаменты» – из нее можно выбрать материал проектируемой пружины.

При создании чертежа пружины возможны выбор типов зацепов, автоматическое образмеривание, автоматическое построение выносных видов, диаграмм деформации или усилий.

Как показывает практика пользователей, приложение «Механика-Пружины» позволяет в 15–20 раз повысить скорость проектирования пружин и выпуска документации на них.

6.3. Назначение и особенности работы с прикладной библиотекой «Универсальный механизм Express»

Прикладная библиотека «Универсальный механизм Express» (англ. UMEexpress) предназначена для экспресс-анализа динамических, кинематических и статических систем, спроектированных в САПР КОМПАС-3D.

Система ориентирована на инженеров, занимающихся проблемами анализа динамического поведения машин и механизмов, и является стандартным приложением для системы КОМПАС-3D. Механизмы описываются как системы твердых тел, шарниров и силовых элементов. В процессе анализа поддерживается непосредственная анимация движения трехмерной модели в процессе расчета.

Для анализа доступны практически все необходимые величины: координаты, скорости, ускорения, силы реакций в шарнирах, усилия в пружинах и т. д.

В систему включены следующие возможности:

- работа с линейными силовыми элементами или изменяющимися по гармоническому закону, которые выбираются из фиксированной базы моделей;
- для решения задач кинематики можно задавать равномерное, равноускоренное/равнозамедленное движение либо изменение по гармоническому закону;
- возможность решения контактных взаимодействий тел, задача решается с условием непересечения тел при кинематическом или динамическом движении.

В прикладной библиотеке «Универсальный механизм Express» реализованы следующие возможности:

- параметризация силовых элементов и кинематических соотношений;
- создание анимационных файлов по результатам моделирования движения, анимации сохраняются в видеоролике движения в формате avi;
- построение графиков любой динамической или кинематической характеристики;
- расчет положений равновесия и собственных частот модели в зависимости от параметров.

Обеспечено полное чтение моделей КОМПАС-3D. Визуализация работы и результатов библиотеки создается в отдельном окне, и пользователю предоставляется возможность получать визуальную информацию о движении объекта и о его динамических и кинематических характеристиках непосредственно в процессе моделирования. Это позволяет создавать модели объектов, состоящих из неограниченного числа абсолютно твердых тел, на основе трехмерных моделей сборок, построенных в САПР КОМПАС-3D.

Широкий перечень шарниров дает возможность создавать кинематические схемы механизмов практически любой сложности. Доступны следующие типы шарниров (кинематических пар):

- поступательный;
- вращательный;
- карданов;
- сферический;
- шестью степеней свободы.

В приложении «Универсальный механизм Express» предусмотрены следующие методы анализа динамических моделей.

1. Кинематический и динамический анализы механизмов путем интегрирования автоматически синтезируемых уравнений движения с расчетом всех основных кинематических и динамических характеристик:

- координат, скоростей и ускорений центров масс тел;
- шарнирных координат, скоростей и ускорений – угловых скоростей и ускорений тел;
- сил реакций в шарнирах;
- сил в активных силовых элементах (пружинах, гасителях и прочих);
- сил и моментов сил инерции для всех тел.

2. Линейный анализ механизмов:

- расчет положений равновесия, значений координат и сил реакций в зависимости от параметров силовых элементов;
- расчет собственных частот и форм колебаний, корней характеристических уравнений и динамических форм;
- определение степени демпфированности системы по динамическим формам;
- определение устойчивости положений равновесия;
- расчет корневых годографов (корней характеристических уравнений в зависимости от параметров), расчет собственных частот в зависимости от параметров.

В системе реализованы два режима работы: **Режим корректировки** (Режим конструктора) и **Режим моделирования**. Первый предназначен для создания и корректировки динамической модели. **Режим моделирования** предназначен для исследования созданной модели с использованием алгоритмов аналитического анализа динамических систем (модуль **Линейного анализа**) и численного моделирования динамики. В функциональные возможности режима входят также средства отображения полученных результатов и процесса моделирования.

6.4. Создание фотореалистичных изображений и анимации

Для создания фотореалистичных изображений машиностроительных изделий и строительных объектов, в САПР КОМПАС-3D используется приложение **Artisan Rendering**.

Оно обеспечивает выполнение процесса, позволяющего комбинировать материалы и освещение, получать на основе трехмерной модели высококачественное изображение. Широко используется конструкторами и дизайнерами для получения качественной фото-реалистичной визуализации разработки (объекта). Его интерфейс представлен на рис. 6.3.



Рис. 6.3. Интерфейс приложения **Artisan Rendering**

Работа с приложением **Artisan Rendering** основана на типовых задачах, например, на настройке материалов и освещения и настройке позиции камеры и фона. Каждая из этих задач имеет отдельную вкладку, переключиться на которую можно, щелкнув по соответствующей кнопке вверху окна приложения, – в результате становятся доступны различные опции. В нижней части окна расположен визуальный каталог материалов, типов камер и фонов, в зависимости от того, какую вкладку вы сейчас используете. Назначение соответствующего параметра происходит с помощью мыши методом перетаскивания заданных материалов, источников

освещения и изображений фона. Большинство изменений сразу же отображается в окне предварительного просмотра.

Библиотека «Механика: Анимация» предназначена для достижения следующих целей:

- имитирование движений различных машин, устройств, механизмов и приборов, смоделированных в системе КОМПАС-3D;
- имитирование процессов сборки-разборки изделий;
- проверка возможных коллизий (соударений) компонентов в процессе движения деталей;
- создание видеороликов, демонстрирующих работу еще не существующих устройств, для презентаций или для интерактивных технических руководств (ИЭТР);
- создание двухмерных кинограмм (последовательных кадров) для подробного исследования движения механизмов.

Библиотеку можно применять как в процессе проектирования изделий, так и в рекламных целях. В процессе проектирования можно оценить взаимное движение различных звеньев механизмов, а также проконтролировать траектории для выявления коллизий, вызванных недостатками проектирования. Анимирование изделий помогает сотрудникам ремонтно-эксплуатационных отделов предприятий быстро разобраться в устройстве изделия и научиться порядку сборки-разборки.

Для работы с библиотекой необходимо открыть документ КОМПАС-3D – трехмерную модель сборки (*.a3d). Библиотека не работает с другими документами системы. После открытия документа нужно запустить библиотеку

Произвести необходимые настройки системы можно выполнив команды меню **Анимация** ® **Настройки** (рис. 6.4).

При работе библиотеки компоненты сборки физически перемещаются в пространстве, также может меняться состояние сопряжений. Для отключения сопряжений, наложенных на компоненты, мешающие перемещению компонентов на шаге, необходимо выполнить команду КОМПАС-3D **Исключить из расчета** перед созданием очередного шага.

Чтобы облегчить возможность возврата сборки в определенные положения, можно запоминать в сценарии отдельные состояния на определенном шаге. Рекомендуется делать это в начале шага, когда компоненты установлены в некоторое исходное положение.

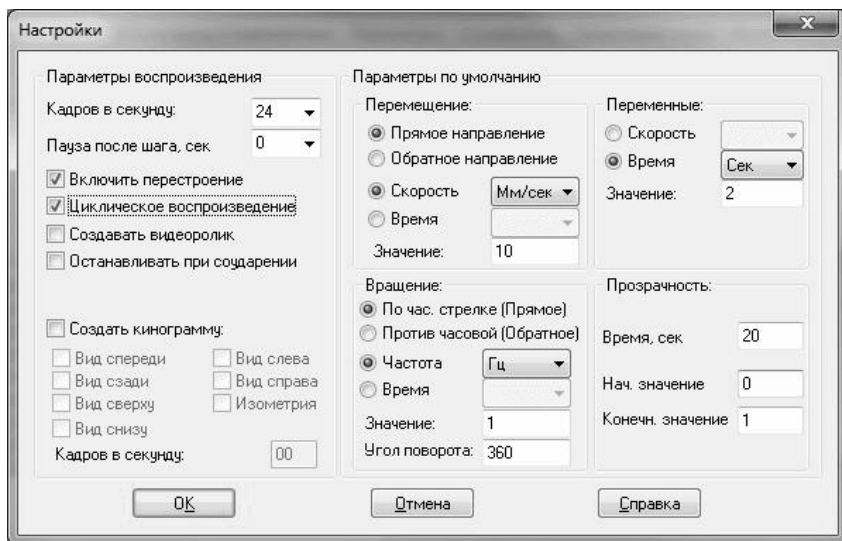


Рис. 6.4. Панель настройки библиотеки «Механика: Анимация»

Чтобы запомнить состояние начала шага, установите курсор на нужном шаге и затем выполните команды меню **Шаг ® Запомнить начальное состояние**. Для возврата в начальное состояние после выполнения сценария анимации, можно последовательно «снизу вверх» устанавливать курсор на шаге и выполнять команды меню **Шаг ® Установить в начальное состояние**.

Чтобы вернуть сборку в состояние, в котором она находилась в момент запуска библиотеки, необходимо выполнить команды меню **Анимация ® Возврат в исходное состояние**.

Кроме того, библиотека позволяет отслеживать коллизии, т. е. определять соударения компонентов в процессе движения. Этот механизм будет полезен при кинематическом анализе сборки.

7. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САЕ)

7.1. САЕ-системы функционального проектирования, назначение, возможности и особенности применения

В современном проектировании широко используются различные программные пакеты автоматизированного конструирования, позволяющие проводить инженерный анализ компьютерных моделей не прибегая к реальным экспериментам.

САЕ (Computer aided engineering) – общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач: расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Расчетная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (метод конечных элементов (КЭ), метод конечных объемов (КО), метод конечных разностей и др.).

Современные системы автоматизации инженерных расчетов (САЕ) применяются совместно с САД-системами, зачастую интегрируясь в них. В этом случае получают гибридные САД/САЕ-системы).

САЕ-системы – это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчетных методов оценить, как поведет себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Эти системы помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

Мировыми лидерами в области разработки, поставки и сопровождения САЕ программ являются компании ANSYS, Inc. (США), SAMTECH (Бельгия), MacNeal Schwendler Corporation (MSC) (США). Кроме них, в этой области работает немало менее крупных компаний, но число фирм, сосредоточенных только на САЕ, сокращается, так как их покупают более крупные игроки ради их технологий.

Наиболее распространенные САЕ-системы:

- T-FLEX Анализ – универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- ANSYS универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;

- MSC.Nastran – универсальная система КЭ анализа с пре-/пост-процессором MSC.Patran;
- OpenFOAM – свободно-распространяемая универсальная система КО пространственного моделирования механики сплошных сред;
- SALOME – платформа для проведения расчетов (подготовка данных – мониторинг расчета – визуализация и анализ результатов);
- STAR-CD (STAR-CCM+) – универсальная система МКО анализа с пре-/постпроцессором;
- ADAMS система моделирования и расчета многотельной динамики;
- Универсальный механизм (UM) – программный комплекс, предназначенный для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем;
- EULER (Эйлер) программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем;
- QForm 2D/3D специализированный программный комплекс для моделирования и оптимизации технологических процессов объемной штамповки;
- MBDyn – система комплексного анализа и расчетов нелинейной динамики твердых и упругих тел, физических систем, «умных» материалов, электрических сетей, активного управления, гидравлических сетей, аэродинамики самолетов и вертолетов.
- Simulation X программный комплекс для моделирования и анализа динамики и кинематики автомобилей, электро-, пневмо- и гидроприводов, ДВС, гибридных двигателей и т. д.

Краткий анализ возможностей универсальных программ показывает, что в них наиболее полно разработаны различные виды инженерного анализа, включая: статический и динамический анализ, анализ устойчивости, нелинейный температурный анализ (в том числе с учетом процесса фазового перехода или химических реакций), спектральный анализ, статический анализ циклических структур, расчет электрического поля и др. Универсальные программы используются при проектировании изделий машиностроения, судостроения, аэрокосмической и электротехнической отраслей для решения таких специфических задач, как нелинейный теплообмен (с переходным или стационарным режимом, включая

воздействие радиации), структурная оптимизация, анализ упругих механизмов, усталостные разрушения, анализ явлений вязкопластичности и др. Многоцелевая направленность этих программ дает возможность применять их для решения даже таких смешанных задач, как анализ прочности при тепловом нагружении, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в электромагнитном поле. Программы позволяют учитывать разнообразные конструктивные нелинейности, наличие больших деформаций, получать решение задач гидро- и аэродинамики и др.

7.2. Программное обеспечение инженерного анализа

Инженерный анализ представляет собой комплекс испытаний, предназначенных для определения способности оборудования, конструкций, а также производимой продукции выдерживать проектные нагрузки и бесперебойно функционировать при расчетных условиях эксплуатации.

Можно условно выделить четыре основные группы программ анализа:

1. Программные системы проектирования. Первая группа программ – программные системы проектирования, органически объединяющие процессы конструирования и анализа в едином комплексе. К числу программных систем проектирования относятся системы CATIA, EUCLID, UNIGRAPHICS и др.

Характерные черты:

1. При их использовании не возникают трудности с созданием сложной и математически точной модели изделия, так как только эти системы обладают самыми мощными средствами геометрического моделирования.

2. Организация обмена между подсистемами конструирования и анализа также незаметна для пользователя – обе подсистемы оперируют с одной базой данных или имеют внутренние форматы данных.

3. Состав различных видов анализа ограничен по сравнению с составом универсальных программ и в основном предназначен для решения таких задач, как:

- структурный анализ;
- линейный статический анализ;
- модальный анализ;

- анализ (продольных) деформаций;
- тепловой анализ;
- анализ устойчивости (электропроводность, линейная конвекция) и др.

II. Универсальные программы анализа. Во вторую группу программ входят универсальные программы анализа машиностроительных изделий.

Лидерами в области разработки, поставки и сопровождения этих программ являются ANSYS, Inc. (США), SAMTECH (Бельгия), MacNeal Schwendler Corporation (MSC) (США). В 1970-е годы одним из ведущих методов компьютерного моделирования стал метод конечно-элементного анализа. Благодаря разработкам этих и многих других фирм, инженерный анализ стал практически повсеместным и постепенно перерос в мощное направление, получившее свое воплощение в системах автоматизированного анализа (CAE).

Характерные черты:

1. В универсальные программы анализа включены собственные средства построения геометрической модели изделия. Однако возможности геометрического моделирования этих пакетов намного слабее по сравнению с программными системами проектирования, так как с их помощью могут решаться задачи твердотельного моделирования сравнительно простых форм.

2. Все универсальные программы анализа имеют стандартные форматы обмена графической информацией с пакетами конструирования. При необходимости геометрическая модель проектируемого изделия может быть предварительно создана на этапе конструирования в САД-системе.

3. Универсальные программы используются при проектировании изделий машиностроения, судостроения, аэрокосмической и электротехнической отраслей для решения таких специфических задач, как:

- нелинейный теплообмен (с переходным или стационарным режимом),
- структурная оптимизация, анализ упругих механизмов,
- усталостные разрушения,
- анализ явлений вязкопластичности и др.

Многоцелевая направленность этих программ дает возможность применять их для решения даже таких смешанных задач, как:

- анализ прочности при тепловом нагружении;
- влияние магнитных полей на прочность конструкции;

- тепломассоперенос в электромагнитном поле;
- решение задач аэрогазодинамики;
- программы позволяют учитывать разнообразные конструктивные нелинейности, наличие больших деформаций и др.

III. Специализированные программы анализа. Третью группу программ составляют многочисленные специализированные программы, выполняющие моделирование отдельных операций, процессов, решающие специфические задачи отдельных технологий.

К их числу можно отнести:

- пакет MSC. SuperForge (фирма MSC) для объемного моделирования процессов штамповки иковки. Результаты анализа могут быть использованы для проектирования оснастки и технологических процессов.

- признанными лидерами в области моделирования процессов штамповки иковки также являются американская компания SFTC (система DEFORM), французская компания TRANVALOR (система FORGE) и российская фирма «Квантор-Софт».

В области разработки программных сред инженерного анализа значительные результаты получены российскими фирмами. Приведем примеры пакетов, фирм, выполнивших разработку, и перечень основных задач, решаемых с их помощью:

- ИСПА (АЛЕКСОФТ) – расчет и анализ на прочность;
- ПОЛИГОН (ЦНИИ материалов) – система моделирования литейных, гидродинамических, тепловых и усадочных процессов в SD-постановке;
- РИМАН (ПроПроГруппа) – расчет и анализ напряженно-деформированного состояния конструкций, решение упругих и пластических задач, в том числе штамповки и ударных напряжений;
- АРМ WinMachine (НТЦ АПИМ) – комплекс программ для проектирования и расчетов деталей машин, анализа напряженно-деформированного состояния конструкций и их элементов;
- ДИАНА (НИЦ АСК) – анализ конструкций и их элементов;
- GasDynamics Tool (Тульский государственный университет) – моделирование газодинамических процессов и др.

Примеры решаемых задач:

- объемного моделирования процессов штамповки иковки;
- расчет и анализ на прочность;

- гидродинамических, тепловых и усадочных процессов в заготовительном производстве;
- анализ напряженно-деформированного состояния конструкций;
- решение упругих и пластических задач и анализ ударных напряжений в процессах штамповки;
- проектирования и расчетов деталей машин и механизмов;
- моделирование газодинамических процессов.

Недостаток: к сожалению, некоторые из перечисленных пакетов не имеют стандартных интерфейсов и их использование в сквозных процессах проектирования проблематично.

IV. Программы анализа систем управления. Для исследования динамических процессов, протекающих в системах автоматического регулирования и управления, а также для решения других задач анализа, имитационного моделирования, прогнозирования, анализа случайных процессов широкое применение находят специальные программные комплексы MATRIX, Matlab Simulink, VisSim, LabView, EASY5, составляющие четвертую группу программ.

7.3. Анализ прочности по методу конечных элементов (МКЭ), статический, динамический, тепловой, кинематический и другие виды анализа

Виды задач, решаемых с помощью инженерного анализа.

1. Статический расчет. Используется для определения перемещений, напряжений, деформации и приложения нагрузки.

2. Динамический расчет. Динамический расчет конструкции производится в случае, когда она находится под воздействием нагрузки, зависящей от времени.

3. Расчет на устойчивость. Расчет на устойчивость используется для определения уровня нагружения, при котором конструкция теряет устойчивость, или для проверки устойчивости конструкции при данном уровне нагружения.

4. Нелинейные расчеты. Используются, когда отклик конструкции или детали на действие приложенной нагрузки не изменяется прямо пропорционально этой нагрузке.

5. Тепловой расчет. Используется для решения задач теплопередачи: кондукции, конвекции (свободная и вынужденная) и излучения.

6. Расчеты магнитного воздействия. Расчеты магнитного воздействия могут проводиться для анализа различных аспектов магнитных полей, таких как индукция, плотность потока, линии тока, потери мощности и другие связанные явления.

7. Расчет течения жидкости или газа. Используется для анализа течения жидкости или газа дает возможность изучать характеристики течения либо волнового давления жидкости или газа в заданном объеме, а также для решения задач численной гидродинамики.

8. Смешанные задачи. Применяются при анализе деталей, находящихся под одновременным воздействием тепловых, механических, электрических или магнитных полей.

7.4. Возможности выполнения инженерного анализа с использованием прикладных библиотек

Приложение АРМ FEM, входящее в состав САПР КОМПАС-3D, предназначено для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D, и визуализации результатов этих расчетов.

В состав АРМ FEM входят инструменты подготовки деталей и сборок к расчету, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом) и постпроцессор. Этот функциональный набор позволяет смоделировать твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчетной модели при различных воздействиях с точки зрения статике, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения.

Для создания конечно-элементного представления объекта в АРМ FEM предусмотрена функция генерации КЭ-сетки, при вызове которой происходит соответствующее разбиение объекта с заданным шагом. Если созданная расчетная модель имеет сложные неравномерные геометрические переходы, то может быть проведено так называемое адаптивное разбиение. Для того чтобы результат процесса был более качественным, генератор КЭ-сетки автоматически (с учетом заданного пользователем максимального коэффициента сгущения) варьирует величину шага разбиения.

- Прочностной анализ АРМ FEM позволяет решать линейные задачи:
- напряженно-деформированного состояния (статический расчет);
 - статической прочности сборок;

- устойчивости;
- термоупругости;
- стационарной теплопроводности.

Динамический анализ позволяет определять частоты и формы собственных колебаний, в том числе для моделей с предварительным нагружением.

Результат напряженно-деформированного состояния (статический расчет) при использовании библиотеки APM FEM представлен на рис. 7.1.

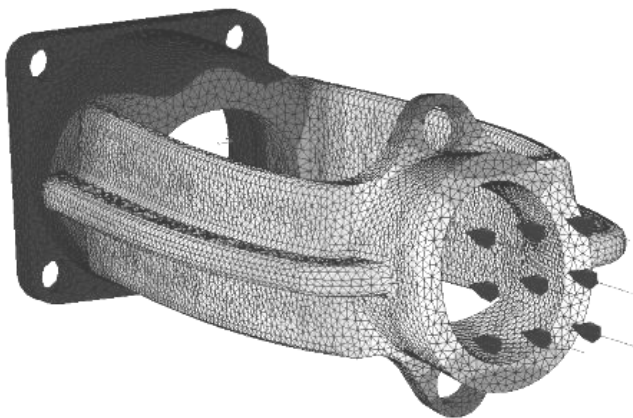


Рис. 7.1. Результат напряженно-деформированного состояния (статический расчет) при использовании библиотеки **APM FEM**

Результатами расчетов являются:

- распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений;
- распределение линейных, угловых и суммарных перемещений;
- распределение деформаций по элементам модели;
- карты и эпюры распределения внутренних усилий;
- значение коэффициента запаса устойчивости и формы потери устойчивости;
- распределение коэффициентов запаса и числа циклов по критерию усталостной прочности;
- распределение коэффициентов запаса по критериям текучести и прочности;

- распределение температурных полей и термонапряжений;
- координаты центра тяжести, вес, объем, длина, площадь поверхности, моменты инерции модели, а также моменты инерции, статические моменты и площади поперечных сечений;
- реакции в опорах конструкции, а также суммарные реакции, приведенные к центру тяжести модели.

АРМ FEM. Топологическая оптимизация – приложение для оптимизации распределения материала в области проектирования с учетом нагрузок и закреплений. Включает в себя модуль **Процедура сглаживания поверхностей (Свободная форма)**.

Топологическая оптимизация позволяет создать модель с заданными эксплуатационными характеристиками, уменьшая материалоемкость детали или целой конструкции.

В качестве критерия оптимальности могут выступать следующие параметры модели:

- жесткость;
- прочность;
- масса.

Важный этап оптимизации – выбор области проектирования, в которой может располагаться материал. Для получения лучшего результата нужно давать заведомо больший объем, учитывая конструктивные и технологические ограничения.

Последовательность действий соответствует обычному статическому расчету в АРМ FEM. Задаются нагрузки, закрепления, генерируется конечно-элементная сетка. Отличие – в задании параметров задачи оптимизации.

Последовательность формирования задачи оптимизации:

1. Создание откликов – это выбираемые контрольные величины рассчитываемой конструкции. В качестве откликов доступны:

- объем детали;
- общая энергия деформации;
- масса;
- перемещение узла или его проекция;
- смещение двух узлов;
- напряжение группы элементов.

2. Выбор целевой функции для одного из откликов, его минимизация или максимизация.

3. Задание ограничений в виде нижней или верхней границы отклика.

4. Задание технологических ограничений:

- максимальная и минимальная толщина материала;
- симметрия детали;
- штамповка;
- экструзия;
- 3D-печать.

5. Постановка задачи оптимизации. Выбор одной из целевых функций и ограничений для нее.

Итог оптимизации – распределение объемных долей на карте результатов. По распределению можно сформировать изоповерхность, соответствующую определенному значению объемной доли. Далее эту поверхность можно сгладить и преобразовать в твердое тело с помощью инструментов **Свободной формы** (рис. 7.2).

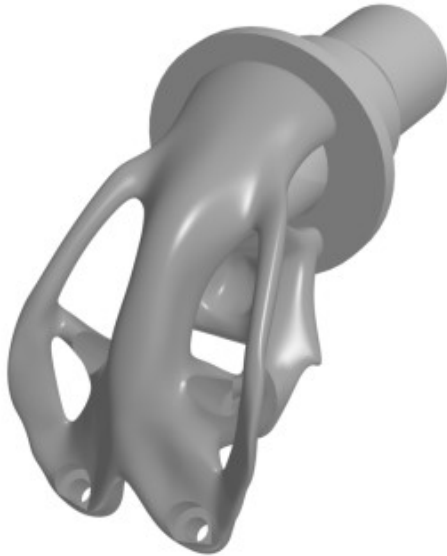


Рис. 7.2. Результат использования приложения APM FEM.
Топологическая оптимизация

Процедура сглаживания поверхностей (Свободная форма) – приложение для КОМПАС-3D, которое позволяет формировать

сглаженные поверхности на основе полигональной модели, применяются для промышленного дизайна, аддитивного производства, в задачах топологической оптимизации и реверс-инжиниринга.

Свободная форма – поверхность многогранника, скругленного по вершинам и ребрам. Свободная форма создается по полигональной сетке, которая может видоизменяться, например, в результате «перетаскивания» вершин, граней или ребер и других действий. Полигональная сетка может являться следствием 3D-сканирования или результатом топологической оптимизации модели. Результат использования модуля **Процедура сглаживания поверхностей (Свободная форма)** представлен на рис. 7.3.

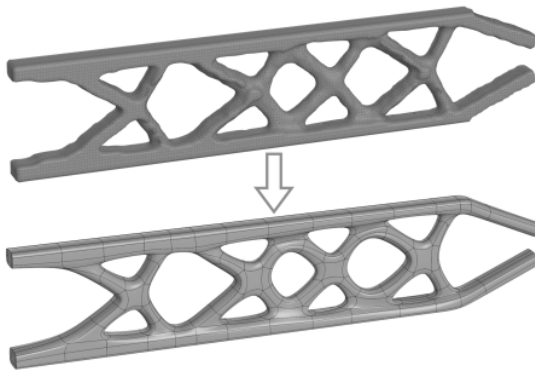


Рис. 7.3. Результат использования модуля **Процедура сглаживания поверхностей (Свободная форма)**

Приложение **Процедура сглаживания поверхностей** позволяет:

- моделировать новые конфигурации свободной формы;
- перемещать и выравнивать объекты свободной формы;
- импортировать полигональные объекты (*.ply) и создавать по ним свободные формы;
- сохранять свободные формы в формат полигональных объектов (*.ply);
- создавать полигональные объекты и свободные формы по уже имеющейся полигональной модели.

8. ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В САПР

8.1. Обзор аддитивных технологий производства деталей

Аддитивные технологии (АТ) – одна из самых динамично развивающихся технологий XXI века. АТ позволяют значительно сократить себестоимость изделий, увеличить коэффициент использования материала (КИМ), дают возможность изготавливать принципиально новые и сложные детали, использовать различные материалы для 3D-печати – от полимеров, керамики, металла до биоматериала, ускоряют вывод опытного или серийного изделия на рынок.

Существует порядка 30 аддитивных технологий, которые отличаются методом нанесения слоя и их соединения, используемым материалом. По международному стандарту ISO/ASTM 52900:2015 и российскому ГОСТ Р 57558-2017 существуют 7 типов/классов АТ:

- Экструзия/выдавливание материала (англ. Material Extrusion), АТ – FDM;
- Разбрызгивание связующего материала (англ. Binder Jetting), АТ – BJ;
- Фотополимеризация в ванне (англ. Vat Photopolymerization), АТ – SLA, DLP, CDLP;
- Разбрызгивание материала (англ. Material Jetting), АТ – MJ, NPJ, DOD;
- Синтез в заранее сформированном слое порошка (англ. Powder Bed Fusion), АТ – MJF, SLS, SLM/DMLS, EBM;
- Прямой подвод энергии и материала (англ. Direct Energy Deposition), АТ – LENS, EBAM;
- Соединение листовых материалов (англ. Sheet Lamination), АТ – LOM.

В большинстве своем крупные промышленные производства, предприятия машиностроительного, оборонного комплекса, работают с металлическими изделиями, поэтому речь пойдет о технологиях 3D-печати металлами.

Можно выделить как существующие технологии, такие как SLM, EBM, LENS, EBAM, Metal BJ, которые уже используются в промышленности, так и новые технологии, развитие которых происходит в данный момент – MCP, MHD (Material Jetting), MELD.

Эти технологии можно сравнивать по общим характеристикам: объем камеры построения, толщина слоя, производительность,

стоимость, используемые материалы. Данные характеристики непосредственно влияют на такие параметры заготовки или детали как: размеры, точность/шероховатость, стоимость, время изготовления, физико-механические характеристики.

Технология **SLA (Stereolithography)** заключается в полимеризации жидких фотополимеров ультрафиолетовым лазером при последовательном построении слоев. Главное достоинство – высокая детализация печатного изделия. Основной же ее недостаток заключается в том, что полимеризация – относительно длительный процесс.

Технология **FDM (Fused deposition modeling)** предполагает послойное построение изделия из расплавленного сырья. Она наиболее популярна на рынке аддитивных технологий. Причиной тому – довольно низкая стоимость пластиковых расходных материалов, которые чаще всего используются при этом типе печати. Из недостатков – невысокая скорость и низкое разрешение работ.

Технология **SLS (Selective laser sintering)** основывается на послойном распределении нагретой порошковой массы с последующим спеканием ее отдельных участков лазерным лучом. Из главных достоинств: высокая скорость печати, широкий выбор расходного сырья, возможность создания крупных моделей. К недостаткам относят необходимость предварительных работ и дополнительного оборудования.

Технология **MJM (Multi-jet Modeling)** проходит по принципам струйной печати. Расплавленный материал подается через экструдер, послойно застывая и придавая изделию форму. Если говорить о плюсах технологии, то MJM-принтеры довольно компактны и способны на многоцветную печать тонкими слоями. Используемые материалы можно комбинировать, но их число весьма ограничено.

Таким образом, трехмерная печать моделей и макетов – вершина современного прототипирования. Для любой из потенциальных сфер найдется нужный тип технологии, который сделает производственный процесс быстрее, эффективнее и надежнее.

8.2. Методика создания физического объекта на базе цифровой 3D-модели

Качественный прототип должен быть наглядным, точным, функциональным. Точность, в основном, зависит от качественного и профессионального 3D-моделирования.

Процесс прототипирования включает в себя следующие этапы (шаги):

1. Создается компьютерная модель будущего объекта.
2. С помощью 3D-печати изготавливается макет.
3. Готовый прототип проходит тестирование.
4. При необходимости изделие дорабатывается и корректируется.

3D-моделирование происходит на компьютере с использованием специальных программ для инженерной трехмерной графики. Для создания модели используются рисунки, эскизы, графики, чертежи и необходимая техническая документация.

После моделирования печатается мастер-модель. Создается макет продукта, который должен перекрыть все базовые потребности (рис. 8.1).

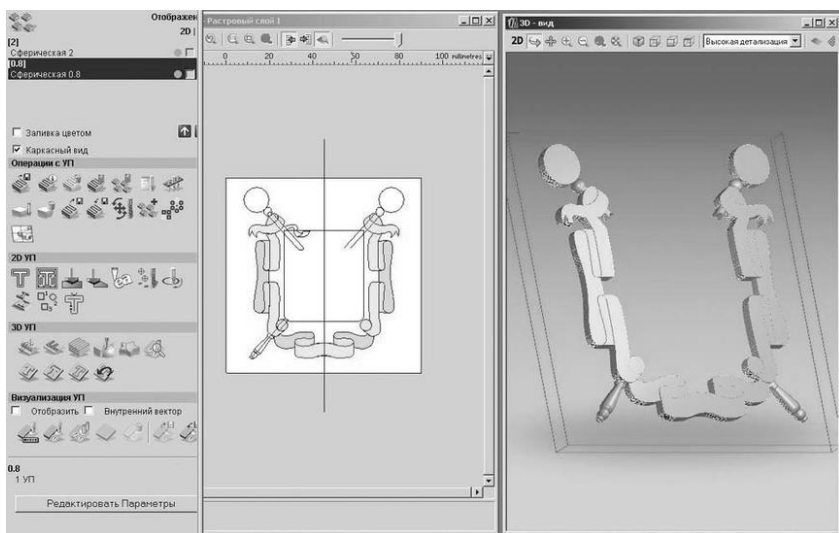


Рис. 8.1. Изготовление мастер-модели

Мастер-модель тестируется на соответствие предъявляемым требованиям. Это может быть внешний вид, эргономичность, правильность форм и т. д. Все зависит от сферы использования будущего изделия.

Если во время тестирования были выявлены какие-либо неточности или несоответствия предъявляемым требованиям, то их

исправляют в компьютерной модели. После этого все предыдущие этапы повторяются. Если мастер-модель прошла все тесты, создается прототип. Это полнофункциональный продукт.

8.3. Решетчатые структуры для аддитивного производства

Одной из важных проблем настоящего времени является уменьшение массы изделий с сохранением функционала, а в некоторых случаях при модернизации уже существующих механизмов задача стоит еще более сложная – уменьшение массы изделия с сохранением объема и эксплуатационных показателей. Это можно решить либо заменой на материал с меньшей плотностью, но в этом случае возможно несоответствие эксплуатационных свойств материала, в том числе диапазона рабочих температур, либо используя инновационный подход к конструированию – внедрение в изделие сетчатых структур (рис. 8.2). Это позволит значительно уменьшить массу изделия – на 20 %–40 % в зависимости от параметров сетчатой структуры.

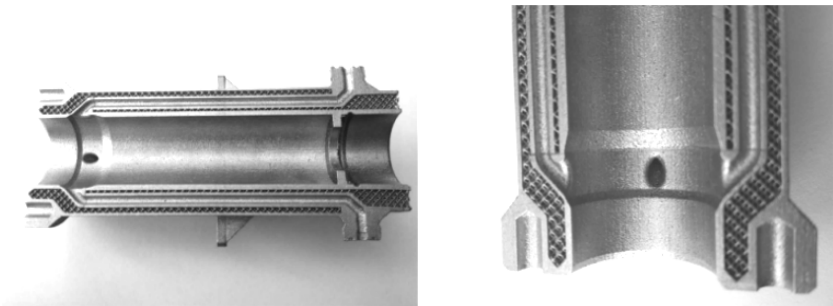


Рис. 8.2. Пример внедрения в конструкцию детали сетчатых структур

Изготовление таких структур по традиционным технологиям невозможно, поэтому необходимо обратиться к аддитивным технологиям и рассмотреть возможности изготовления и ограничивающие факторы.

Сущностью аддитивных технологий является процесс послойного построения объектов из исходного материала (порошок, нить, жидкий фотополимер) на основе компьютерной CAD-модели.

Аддитивные технологии по физической сущности процесса принципиально отличаются от традиционных, а следовательно, отличаются и их возможности.

Существуют различные единичные элементы сетчатых структур, которые позволяют исключить наличие поддерживающих структур на висячих мостиках (рис. 8.3).

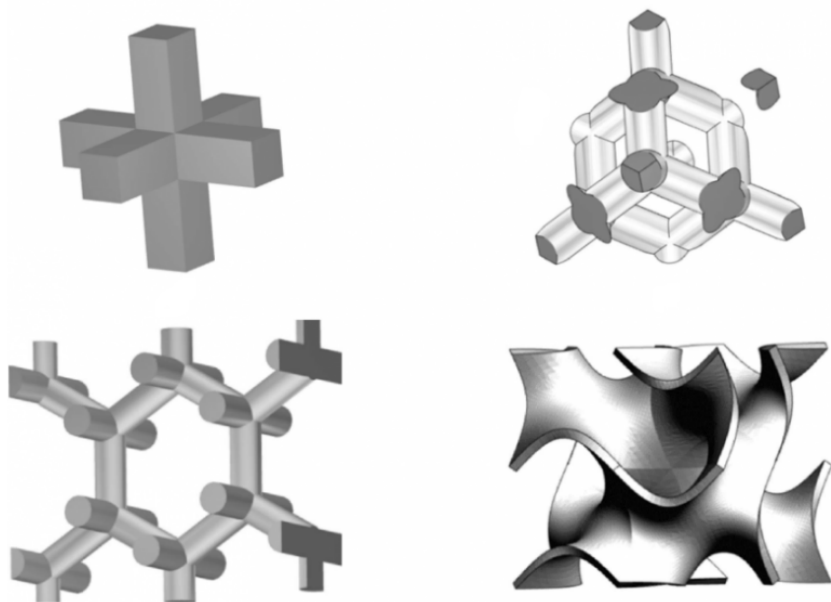


Рис. 8.3. Теоретические единичные элементы различных сетчатых структур

При изготовлении объектов с использованием аддитивных технологий тоже есть ряд ограничений, причем они могут несколько различаться в зависимости от используемой технологии (SLA, SLS, SLM, FDM и т. д.), но основной принцип у них все-таки одинаковый – изготовление/построение единичного слоя. Единичный слой можно рассматривать как 2-мерную модель, построение которой определяет траекторию движения инструмента (луча лазера, печатающей головки и т. д.). При построении единичного слоя необходимо учитывать следующие факторы:

- траектория движения инструмента (лазер, сопло) не может допускать прохождения дважды через единичную точку плоскости,

в противном случае толщина слоя в этой точке будет отличаться от общей толщины слоя;

- нельзя допускать большой градиент температур по слою, так как большая разница температур может вызвать большие внутренние напряжения в слое, следовательно, его коробление;

- нельзя допускать охлаждение слоя или его части ниже определенных температур, в противном случае не будет адгезии между слоями, то есть изделие будет расслаиваться.

Разработанные сетчатые структуры обладают различными прочностными свойствами и эксплуатационными характеристиками. Анализ разработанных структур показывает, что наибольшие напряжения могут возникнуть в кубической решетке, она будет иметь более низкие прочностные свойства и, возможно, при ее изготовлении может нарушаться целостность сечения ребер сетки.

Однако получаемые поверхности сетчатых структур имеют очень сложную форму, поэтому современные CAE системы не всегда могут провести объективную количественную оценку.

Использование таких структур при проектировании и изготовлении деталей позволит значительно уменьшить общий вес изделия, что очень важно в самолето- и ракетостроении, при этом прочность таких изделий достаточно высока, а трудоемкость изготовления не повышается, в некоторых случаях может даже уменьшиться. Внедрение аддитивных технологий в производственный процесс – очень сложная и многогранная задача, но ее реализация позволит получать значительные преимущества, которые невозможны при изготовлении деталей с использованием «вычитающих» технологий, даже самых передовых.

8.4. Программное обеспечение для реализации аддитивных технологий. Программы-слайсеры

Золотым стандартом программного обеспечения для аддитивного производства считается продукт Magics от компании Materialise. Альтернативой Materialise Magics и Autodesk Netfabb можно считать разработку программного обеспечения VoxelDance Additive китайской компании VoxelDance, которая представляет собой что-то среднее между этими двумя решениями.

VoxelDance Additive – мощная программа подготовки данных для аддитивного производства по технологиям DLP, SLA, SLS и SLM. Программное обеспечение (ПО) имеет все необходимые функции для подготовки моделей к 3D-печати, включая импорт CAD-моделей, редактирование STL-файлов, умный 2D/3D-нестинг, создание поддержек, слайсинг и т. д. Все эти возможности позволяют сэкономить время и повысить эффективность печати. Процесс подготовки данных в VoxelDance Additive представлен на рис. 8.4.

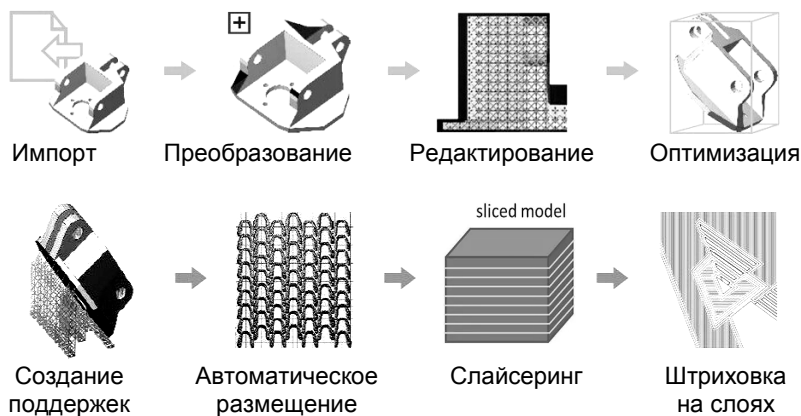


Рис. 8.4. Процесс подготовки данных в VoxelDance Additive

VoxelDance Additive поддерживает большинство форматов файлов, в том числе: CLI (8.cli), STL (*.stl), 3D Manufacturing Format (*.3mf), WaveFront OBJ Files (*.obj), 3D Experience (*.CATPart), IGES (*.igs, *.iges), Pro/E/Cro Files (*.sldprt, *.sldam, *.slddrw), STEP files (*.stp, *.step).

Преимущества VoxelDance:

- широкий выбор программных решений по подготовке моделей к 3D-печати, позволяющих выполнять все этапы подготовки файла к печати;
- быстрая обработка сложных массивов данных;
- универсальные решения для технологической подготовки аддитивного производства;
- используется ведущими производителями оборудования 3D-печати.

Программы-слайсеры

Cura – это один из самых популярных и широко используемых слайсеров для 3D-печати на рынке. Данное программное обеспечение для нарезки с открытым исходным кодом, созданное Ultimaker для своих 3D-принтеров, но оно также может считаться общим стандартом, поскольку его легко использовать с большинством других 3D-принтеров. Его можно легко расширить с помощью системы плагинов. Интерфейс программы Cura представлен на рис. 8.5.

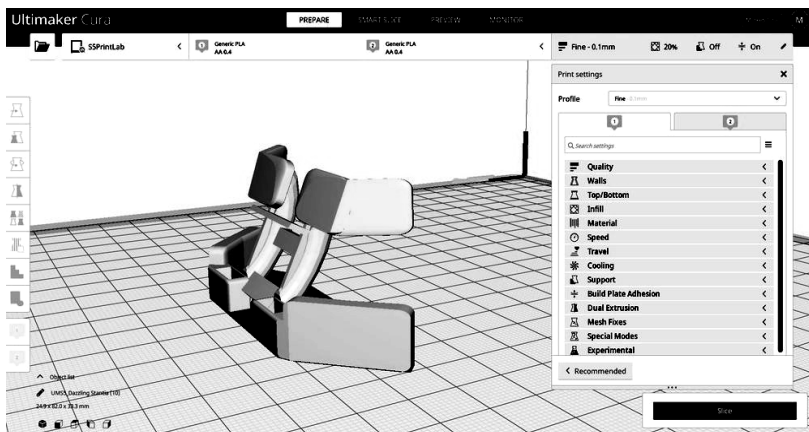


Рис. 8.5. Интерфейс программы Cura

Полная интеграция с такими САПР как SolidWorks и Siemens NX делает это программное обеспечение ценным даже в профессиональных приложениях. Но для подавляющего большинства домашних пользователей Cura – простой и доступный слайсер для 3D-печати.

PrusaSlicer. Компания, создавшая оригинальные 3D-принтеры Prusa, создала собственный слайсер PrusaSlicer, который очень быстро приобрел большую популярность по ряду причин.

PrusaSlicer можно использовать для нарезки моделей как для принтеров FDM, так и для принтеров, использующих смолы, и он имеет различные режимы, которые позволяют редактировать настройки в зависимости от уровня навыков пользователя (рис. 8.6).

Некоторые ключевые особенности данной программы – настраиваемые опорные конструкции, поддержку различных материалов и плавные функции переменной высоты слоя.

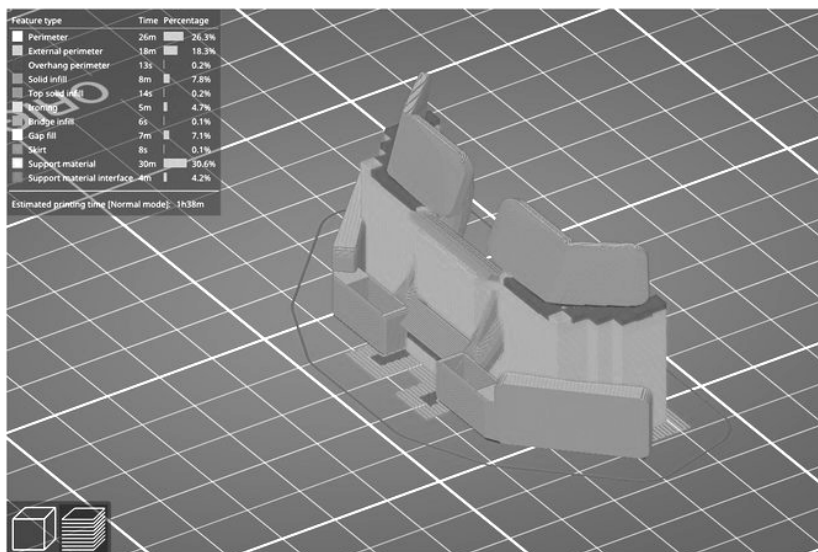


Рис. 8.6. Интерфейс программы PrusaSlicer

Ideamaker. Программное обеспечение Raise3D для нарезки IdeaMaker оптимизировано для машин компании, так же, как PrusaSlicer для оригинальных принтеров Prusa и Ultimaker Cura для оборудования Ultimaker, но, как и другое программное обеспечение, оно также хорошо работает со сторонними принтерами. Интерфейс программы Ideamaker на рис. 8.7.

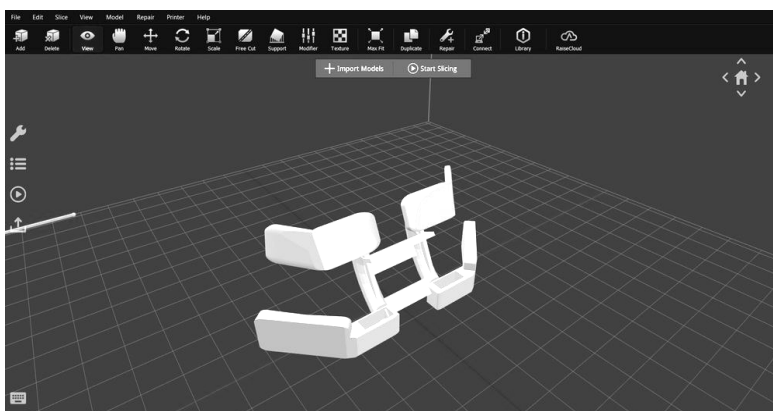


Рис. 8.7. Интерфейс программы Ideamaker

Подключившись к облачным сервисам Raise3D, можно загрузить сотни профилей принтеров и материалов, созданных сообществом и Raise3D, для более быстрой и качественной печати или создать свою собственную библиотеку предпочтительных настроек и профилей.

Настраиваемые опоры, сращивание моделей для оптимизации отпечатков большего размера и инструменты для восстановления сетки – все это дает IdeaMaker универсальность, позволяющую ежедневно использовать его для 3D-печати. Очередь печати и встроенная совместимость с OctoPrint также являются отличными дополнительными функциями для повышения качества жизни.

9. ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ. PDM, ERP, PLM СИСТЕМЫ

9.1. Понятие о жизненном цикле изделия

Жизненный цикл изделия (ЖЦИ, англ. *life cycle*) по ГОСТ Р 56136–2014 – совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации.

К основным стадиям жизненного цикла изделия относятся (рис.):

- маркетинг;
- проектирование и разработка продукции;
- планирование и контроль процессов;
- закупка материалов и комплектующих;
- производство или предоставление услуг;
- упаковка и хранение;
- монтаж и ввод в эксплуатацию;
- техническая помощь и сервисное обслуживание;
- послепродажная деятельность или эксплуатация;
- утилизация и переработка в конце полезного срока службы.



Рис. Информационная поддержка этапов ЖЦИ

Основные параметры, характеризующие границы стадий жизненного цикла изделия приведены в таблице.

Таблица

Параметры стадий жизненного цикла изделия

Стадия	Начало стадии	Окончание стадии
Маркетинговые исследования рынка	Заключение договора на проведение исследований	Сдача отчета по результатам исследований
Генерация идей и их фильтрация	Сбор и фиксирование предложений по проектам	Окончание отбора проектов-конкурентов
Техническая и экономическая экспертиза проектов	Комплектация групп оценки проектов	Сдача отчета по экспертизе проектов, выбор проекта-победителя
НИР	Утверждение технического задания (ТЗ) на НИР	Утверждение акта об окончании НИР
ОКР	Утверждение ТЗ на ОКР	Наличие комплекта конструкторской документации, откорректированной по результатам испытаний опытного образца
Пробный маркетинг	Начало подготовки производства опытной партии	Анализ отчета о результатах пробного маркетинга
Подготовка производства на заводе-изготовителе	Принятие решения о серийном производстве и коммерческой реализации изделий	Начало установившегося серийного производства
Собственно производство и сбыт	Продажа первого серийного образца изделия	Поставка потребителю последнего экземпляра изделия

Стадия	Начало стадии	Окончание стадии
Эксплуатация	Получение потребителем первого экземпляра изделия	Снятие с эксплуатации последнего экземпляра изделия
Утилизация	Момент списания первого экземпляра изделия с эксплуатации	Завершение работ по утилизации последнего изделия, снятого с эксплуатации

Разработка (development) – стадия жизненного цикла, на которой выполняются проектирование конструкции изделия, изготовление и испытания опытных образцов, технологическая подготовка производства [из 3.21 ГОСТ Р 56136–2014].

Производство (manufacturing) – стадия жизненного цикла, на которой осуществляется изготовление изделий, предназначенных для поставки заказчиком (серийных изделий).

Эксплуатация (operation) – стадия жизненного цикла, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается качество изделия, включающая в общем случае использование по назначению, транспортирование и техническую эксплуатацию: хранение, техническое обслуживание и все виды ремонта, кроме тех, которые выполняются на условиях временного вывода изделия из эксплуатации, например, капитальный ремонт.

9.2. CALS-технологии

CALS-технологии (англ. computer aided logistic systems) – это технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий: описания изделий, производственной среды и процессов, протекающих в этой среде. Данные, порождаемые и преобразуемые этими информационными технологиями, представляются в виде, оговоренном в нормативном документе информационной поддержки жизненного цикла продукции, и служат для обмена или совместного использования различными участниками жизненного цикла продукции.

Эффективность в логистике привела к распространению такого подхода на все стадии жизненного цикла изделия.

Цель CALS-технологии: поставить готовое изделие в комплекте с трехмерной электронной моделью, которая содержит необходимую информацию об изделии: конструкторскую, технологическую, эксплуатационную, технические характеристики, регламент профилактических и ремонтных работ.

Разница между CALS и PLM заключается в терминологии и стандартизации. CALS-технология используется в США, а PLM платформы – в Европе.

Дальнейшее развитие CALS-технология получила в концепции PLM – управление информацией об изделии на всех этапах жизненного цикла, которую выдвинула компания Dassault Systems.

9.3. Системы управления производственной информацией

Системы управления производственной информацией (PDM, англ. Product Data Manager) – организационно-техническая система, которая обеспечивает управление всей информацией об изделии. В качестве изделий могут выступать самые разнообразные товары и объекты: от микрочипов до автомобилей и от мостов до компьютерных сетей. PDM-системы являются неотъемлемой частью PLM-систем.

Для того чтобы машиностроительные предприятия смогли максимально сократить сроки и стоимость подготовки производства к выпуску новой, востребованной рынком продукции, необходима автоматизация рабочих мест конструктора и технолога. Однако полноценного эффекта от такой разрозненной автоматизации труда не происходит. Подход остается традиционным, последовательным: выпуск документации конструкторами, передача ее на согласование технологом, возврат обратно для корректировки исходных документов, передача технологом исправленной документации, подготовка технологической документации и отчетов, согласование со снабженцами и экономистами и, наконец, передача в производство.

В результате ни полной экономической отдачи, ни действительно значимого сокращения срока подготовки производства автоматизация не приносит, хотя первоначальный положительный эффект и достигается. Все дело в том, что разработка и подготовка производства сложной, высокотехнологичной продукции – это групповой процесс, в который вовлечены десятки и сотни специалистов предприятия или группы предприятий.

Без организации параллельного выполнения работ и взаимодействия конструкторов, технологов, снабженцев, экономистов и других специалистов при разработке документации на изделие достичь по-настоящему значительного сокращения сроков невозможно.

Взаимодействие и параллельное выполнение работ могут быть организованы только при условии создания внутри предприятия или группы предприятий единого информационного пространства (ЕИП) данных о корпоративной продукции. В качестве автоматизированной системы, нацеленной на решение задач организации и координации работ инженерного персонала и являющейся ядром ЕИП, на машиностроительных и приборостроительных предприятиях используют системы управления данными об изделии (PDM product data management) корпоративного уровня.

Конструкторы, технологи и другие специалисты не только получают информацию об изделии, но и дополняют ее, формируя состав изделия, который будет оптимальным для разных служб предприятия. В дальнейшем, после изготовления изделия, информация о нем будет использована сервисными подразделениями для планового обслуживания, заказчиком для конфигурирования готовой продукции под свои специфические потребности, а инженерным составом – для модернизации и изготовления нового изделия на основе ранее спроектированного.

PDM-системы работают с файлами и записями баз данных по всем этапам цикла разработки, изготовления и поддержки изделия. Конфигурации изделия, описание деталей, спецификации, чертежи САД, геометрические модели, изображения, модели инженерного анализа и результата расчетов, планы маршрута процесса изготовления, программы изготовления деталей, хранимые в электронном виде документы, заметки, корреспонденция, аудио и видео ссылки на бумажные документы, проектные планы и др.

PDM-системы обобщают такие известные технологии как:

- управление инженерными данными (EDM);
- управление документами (информация об изделии) (PIM);
- управление техническими данными (TDM);
- управление технологической информацией (TIM);
- управление изображениями;
- и др. системы, которые используются для манипулирования информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

Компанией АСКОН разработана система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия корпоративного уровня. Внедрение системы ЛОЦМАН:PLM обеспечивает:

- создание электронной среды совместной разработки и подготовки производства изделия;
- создание электронного описания изделия, объединяющего всю информацию, которая может использоваться как внутри предприятия, так и вне его поставщиками и заказчиками;
- поддержку всех этапов жизненного цикла изделия: формулирование потребностей в материалах, проектирование, производство, сбыт и поддержка;
- защиту данных и гарантированный доступ к информации об изделии для каждого пользователя с соответствующими правами.

Специалисты всех производств, задействованных в реализации крупного проекта, имеют возможность в любой момент получить актуальные данные об изделии и процессах работы над ним; получить информацию об изменении конфигураций, о планируемых и фактических ресурсах и т. д. Полная информационная модель изделия может использоваться как в процессе производства, так и на всех остальных этапах жизненного цикла.

ЛОЦМАН: PLM содержит всю информацию, необходимую для проектирования, изготовления и эксплуатации продукции промышленного предприятия. На этапе подготовки производства система обеспечивает накопление данных о результатах конструкторско-технологического проектирования и обмен информацией между инженерными службами. Утвержденные данные и документация передаются в другие службы предприятия для материально-технического обеспечения, производства и эксплуатации выпускаемых изделий.

9.4. Планирование ресурсов предприятия ERP

Система планирования ресурсов предприятия (ERP, англ. Enterprise resource planning) – это программное обеспечение, помогающее предприятиям автоматизировать основные бизнес-процессы и управлять ими для достижения оптимальной производительности. ERP-система координирует поток данных между корпоративными бизнес-процессами, предоставляет единый

источник достоверных данных и оптимизирует бизнес-процессы по всему предприятию. Она объединяет финансы, цепочки поставок, бизнес-процессы, коммерцию, отчетность, производство и управление персоналом на единой платформе.

Концепция ERP очень популярна в производственном секторе, поскольку планирование ресурсов дало возможность сократить время выпуска продукции, снизить уровень товарно-производственных запасов, а также улучшить обратную связь с потребителем вместе с сокращением административного аппарата. ERP-системы обеспечивают выполнение функций учета и контроля, причем не только для однородных и локально размещенных производств, но и для многопрофильных предприятий и корпораций, которые имеют филиалы и подразделения во многих городах и странах.

Среди поставщиков на международном рынке выделяют следующих:

1. SAP – предлагает модульную архитектуру и интеграцию с другими приложениями.

2. Oracle – поставщик, который предлагает множество модулей для различных отраслей и предприятий.

3. Microsoft Dynamics – предлагает гибкие решения, которые интегрируются с другими продуктами Microsoft, такими как Azure и Power BI.

4. Infor – предлагает комплексные решения для разных отраслей. Включая производство, розничную торговлю, управление активами.

5. Epicor – предлагает ERP для малого и среднего бизнеса. Включая модули для управления производством, финансов и продаж.

9.5. PLM-технологии

PLM-технологии (англ. Product lifecycle management). Процесс работ предприятия регламентируется большим количеством документации. Чертежи, технологические карты, нормативные документы, изменения, вносимые в процессе согласования и прочее.

Систематизировать и контролировать этот поток информации сложно даже на небольших предприятиях. Внедрение PLM-технологий создает контролируемую среду распространения ин-

формации на предприятии, в которой хранится вся документация, доступная по первому требованию. В PLM-платформе хранится информация обо всех версиях изделия, что позволяет повторно использовать решения, реализованные в предыдущих проектах. PLM-технологии собирают данные о функционировании изделия у заказчика.

Сбор и анализ информации о способах и условиях эксплуатации изделия у заказчика, о воздействии условий эксплуатации на изделие дает разработчику возможность улучшить изделие путем устранения выявленных недостатков и оптимизации технических характеристик.

Выделяют 6 главных задач PLM-систем при разработке продукта:

1. Управление данными о продукте.

Данные о продукте занимают значительную часть в общем объеме информации о жизненном цикле изделия. Эти данные используют для решения задач производства, материально-технического снабжения, сбыта, эксплуатации и ремонта.

2. Управление основными средствами производства.

Обеспечивает достижение высокого уровня контроля и точности работы оборудования для бесперебойного цикла производства.

3. Управление программами и проектами.

Предоставляет информацию о взаимосвязанных работах для эффективного управления проектом: бюджет проектируемого изделия, планирование необходимых производственных мощностей, установка логистических и коммуникационных связей.

4. Сотрудничество на протяжении жизненного цикла продукта.

Повышает эффективность разработки изделия, сокращает его себестоимость и срок вывода на рынок за счет непрерывной обратной связи между интегрированными процессами проектирования, производства, сбыта и обслуживания.

5. Управление качеством.

PLM-системы позволяют эффективно решать задачи контроля качества на всех этапах жизненного цикла изделия:

- маркетинг;
- проектирование;
- разработка технических условий;
- материально-техническое снабжение;
- закупка;

- разработка производственных процессов;
- производство;
- испытания;
- сертификация;
- монтаж;
- эксплуатация;
- техобслуживание;
- утилизация.

6. Охрана окружающей среды и труда, производственная медицина.

Позволяет снизить затраты и минимизировать производственные риски с учетом требований законодательства в области охраны окружающей среды и труда за счет сокращения времени на заполнение бланков и предписаний по технике безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердотельное моделирование сборочных единиц в САД-системах : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструирование и технология электронных средств» / В. П. Большаков, А. Л. Бочков, Е. А. Лебедева, А. В. Чернов. – Санкт-Петербург : Питер, 2018. – 366 с.

2. Берлинер, Э. М. САПР конструктора машиностроителя : учебник / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. – 288 с.

3. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Лукинских ; Министерство науки и высшего образования РФ, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. – 172 с.

4. Бутко, А. О. Основы моделирования в САПР NX : учебное пособие / А. О. Бутко, В. А. Прудников, Г. А. Цырков ; ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского». – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2016. – 199 с.

5. Перепелица, Ф. А. Компьютерное конструирование в AutoCAD 2016. Начальный курс : учебно-методическое пособие / Ф. А. Перепелица ; Министерство образования и науки РФ, ФГА-ОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Академия методов и техники управления («ЛИМТУ»). – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2015. – 194 с.

6. Корнеев, В. Р. Компас-3D на примерах: для студентов, инженеров и не только... / В. Р. Корнеев, Н. В. Жарков, М. А. Минеев. – СПб. : Наука и Техника, 2017. – 272 с. : ил.

7. CALS/ИПИ технологии в машиностроении : конспект лекций / ПНИПУ, Кафедра «Инновационные технологии машиностроения» ; сост. Л. Х. Зубаирова. – Пермь : [б. и.], 2017. – 85 с.

8. Дятлов, М. Н. Выполнение и редактирование спецификаций сборочных чертежей в современных графических системах проектирования / М. Н. Дятлов, А. И. Ислямгалиев, Д. Ю. Брагин, А. В. Лебедев // Молодой ученый. – 2015. – № 6 (86). – С. 155–157.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Пуцько Андрей Иванович

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Пособие

Ответственный за выпуск *П. В. Авраменко*

Редактор *Д. О. Михеева*

Корректор *Д. О. Михеева*

Компьютерная верстка *Д. О. Михеевой*

Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 10.12.2024. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 6,04. Уч.-изд. л. 4,73. Тираж 99 экз. Заказ 478.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.