

Обучающая методика  
виртуального моделирования  
элементов двигателя на базе  
многодисциплинарных моделей

Лекция 1.

Что такое интегрированные  
информационные технологии?



С начала 21 века в комплексном применении систем автоматизированного проектирования окончательно утвердился алгоритм моделирования, показанный на рисунке слева, где результаты выполнения всех предыдущих блоков являются исходными данными следующего блока.

Его особенностью являются:

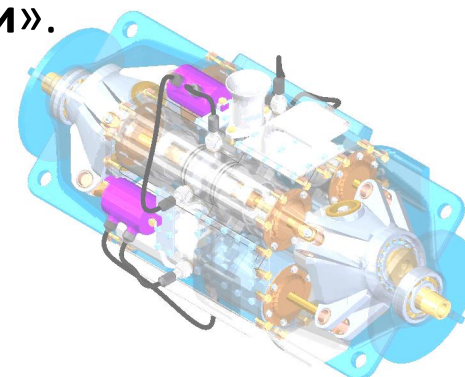
- Разбиение жизненного цикла изделия на отдельные этапы, для каждого из которых используется своя модель и свои методы расчёта и анализа;
- Тесная интеграция отдельных моделей и обмен результатами в рамках единых интерфейсов (глубокая интеграция), нейтральных форматов и PDM-систем.

Получающаяся в итоге совокупность моделей и результатов расчёта и анализа, охватывающая важные свойства и аспекты поведения изделия называется **виртуальным изделием**.



Предмет «**Интегрированные информационные технологии**» изучает процесс создания виртуального изделия.

Данный предмет очень широк, поэтому в данном курсе мы будем рассматривать только вопросы, связанные с «**виртуальными авиационными двигателями**».



Для каждого этапа моделирования применяется конкретное **программное обеспечение (ПО)** или **инструмент**, позволяющий создавать модель и анализировать один из аспектов изделия. Каждому блоку может соответствовать несколько ПО, и наоборот, одно ПО может охватывать своими возможностями несколько блоков.



## 1. Идея

На этапе идеи конструктор только ставит перед собой задачу создания виртуального изделия. В этот момент автоматизация состоит в своевременном предоставлении конструктору достоверной информации.

Для этого существуют базы данных по аналогичным разработкам: патентные базы, базы предприятий, реферативные базы, лично создаваемые базы.

Наибольшую популярность приобрели базы, создаваемые для сети Интернет с доступом через браузер и для внутреннего пользования в PDM-системах.

Важной составляющей здесь является система фильтров, позволяющая автоматически отсеивать ненужную информацию.

Для хорошо изученных областей, например, выбор схемы турбонасосного агрегата, возможно оформление базы в виде пошагового помощника.



## 1. Идея

Интересным направлением автоматизации является **метод комбинаций**, предложенный Эдисоном.

Для примера возьмём три предмета:

**стол**



**стул**



**лампа.**



Скомбинируем их друг с другом случайным образом и попробуем найти новые идеи:

Стол + стул = ? (парта)

Стол + лампа = ? (переводной стол)

Стул + лампа = ? (кресло для чтения)

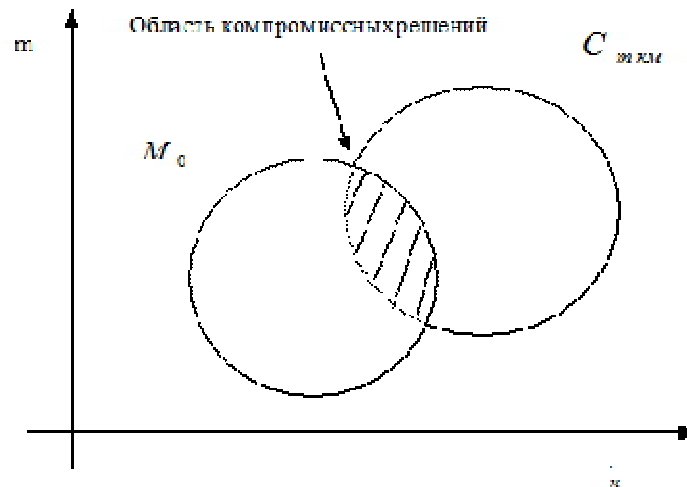
В скобках предложены варианты, но может быть Вы можете предложить ещё?

Этот же метод подходит и для двигателя, только здесь в роли кирпичиков выступают лопатки, подшипники, валы и т.д.



**2. Исходные данные** или граничные условия  
 Формируется после изучения аналогов на основе требуемых параметров (конструкционных, производственных, эксплуатационных, экономических и т.д.). Например, расход топлива на км полёта.

Данный процесс во многом творческий, однако и здесь возможна некоторая автоматизация, например, связанная с **вероятностным поиском решения**, когда ПО по определённому алгоритму перебирает характеристики объекта, вычисляет на их основе параметры (ориентируясь на данные статистики) и сравнивает их с требуемыми.





### 3. Объёмная модель

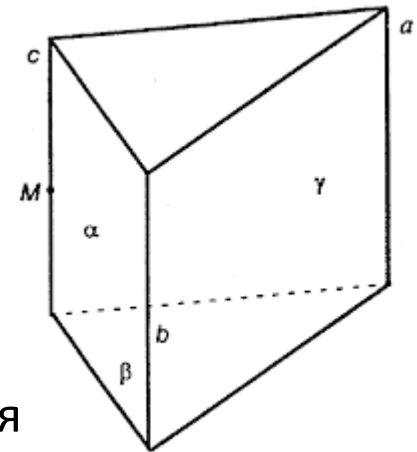
Объёмная модель описывает форму виртуального изделия. Можно выделить три основных метода создания объёмных моделей:

1. **На основе пересекающихся бесконечных плоскостей** модели для игр и фильмов.

ПО: SpaceClaim...

+ простота математического описания, удобство наложения текстур

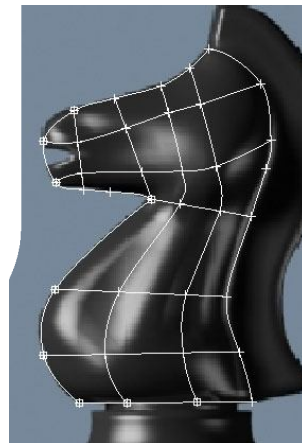
- трудоёмкость работы с объектами сложной формы, проблемы с организацией массивов



2. **На основе сплайнов** - модели для архитектуры и скульптуры

ПО: Sculptures...

+ реалистичность геометрии сплайны описывают процессы с минимумом потенциальной энергии

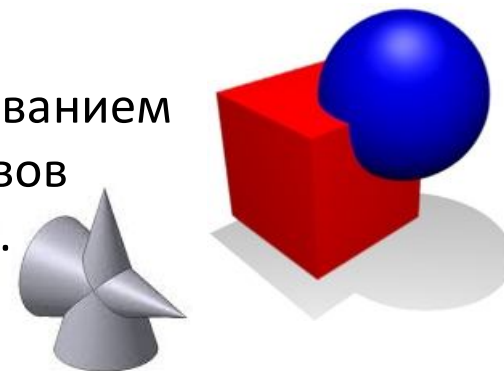




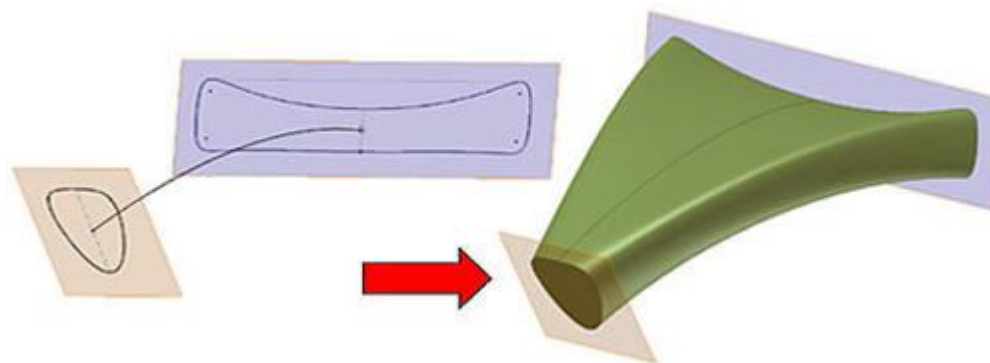
### 3. Объёмная модель

3. На основе примитивов и булевых операций - для конструкторского моделирования

3.1. С использованием геометрических примитивов  
ПО: Adem, ADAMS, Ansys...



3.2. С использованием движущихся эскизов  
ПО: SoliwWorks, Unigrafics, CATIA, Компас...



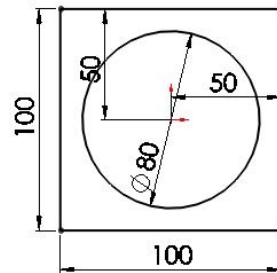
Сравним эти два метода по числу требуемых параметров и числу операций (трудоемкости).



### 3. Объёмная модель

Движущиеся эскизы 6

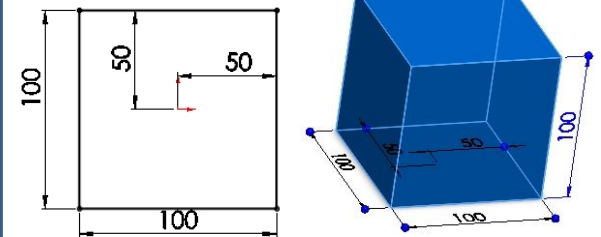
1. Создание эскиза с размерами - 5



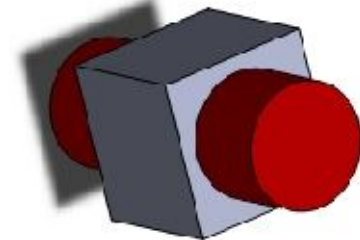
2. Операция вытяжки - 1

Геометрические примитивы 13

1. Создание и позиционирование куба - 6



2. Создание и позиционирование цилиндра - 6



3. Операция вычитания - 1



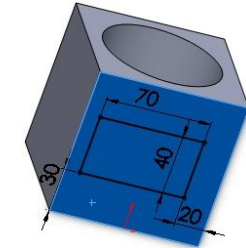
Итоговая 3D-модель



### 3. Объёмная модель

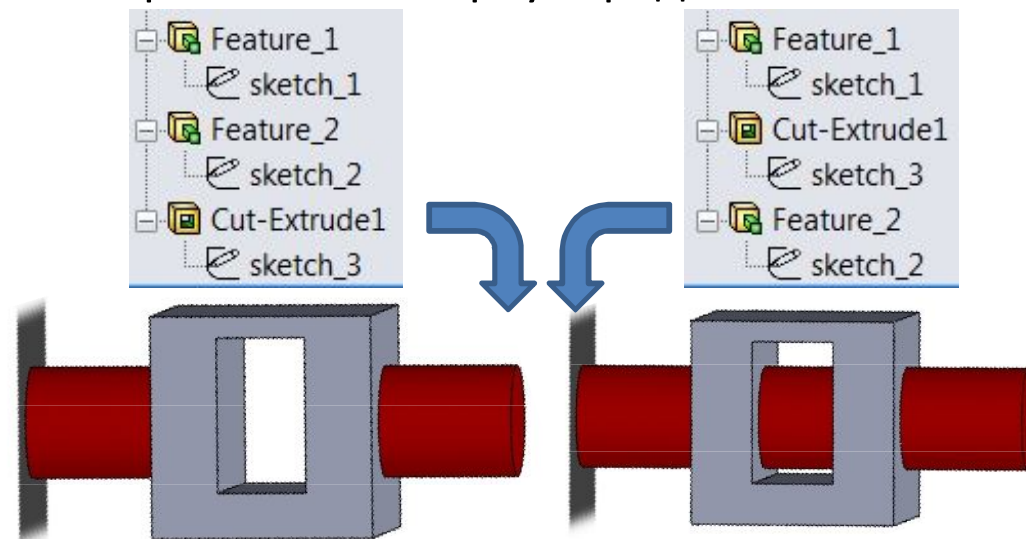
Три принципа объёмного моделирования с использованием движущихся эскизов

1. Любая плоская грань может быть плоскостью движущегося эскиза



2. Объёмное тело формируется за счёт комбинирования элементов, выполненных операциями над движущимися эскизами

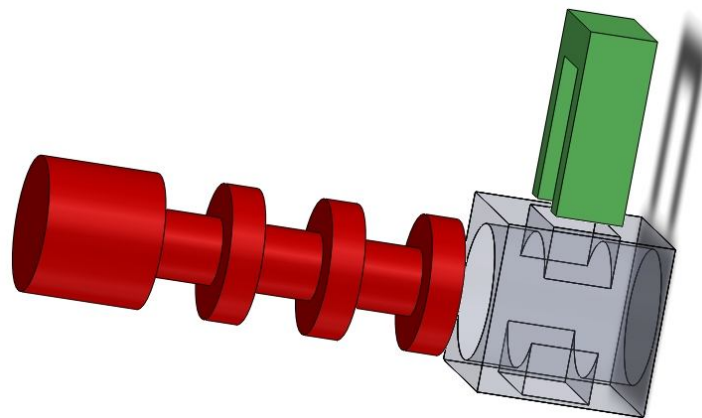
Второй принцип находит своё выражение в **древе построения модели**, элементы в котором можно переупорядочивать.





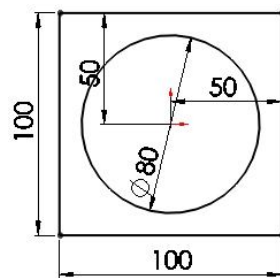
### 3. Объёмная модель

3. Из объёмных тел можно составлять сборки, задавая связи между деталями  
 Существуют различные типы связей, отнимающие те или иные степени свободы.



К каждому из трёх принципов привязан конкретный тип объектов:

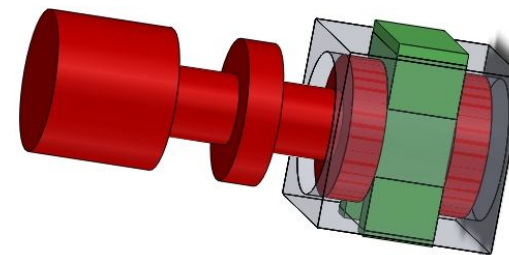
эскиз



деталь



сборка





### 3. Объёмная модель

Общие рекомендации.

Умение самим осваивать новое программное обеспечение важнее умения хорошо работать только в одном. Для инженера главное решить задачу, а ПО следует подбирать из условий задачи, а не стараться сделать все задачи в рамках одного ПО, которое вы знаете.

Важно заранее продумать схему построения модели, поскольку к конечному результату могут вести несколько цепочек и мастерство – выбрать самую простую. Некоторые цепочки могут содержать невыполнимые операции, и модель придётся бросать, когда она почти готова.



#### 4. Кинематика и динамика

**Кинематический** расчёт позволяет получить перемещения, скорости и ускорения всех элементов модели, а также реакции в шарнирах в зависимости от времени.

Если модель неподвижна из-за закреплений, хотя на её элементы действуют нагрузки, расчёт называют **статическим**. Также статическим называют расчёт, при котором находится **точка равновесия** конструкции без расчёта переходных процессов.

**Динамический** расчёт включает в себя кинематический и позволяет дополнительно учитывать все нестационарные процессы и изменения состояния модели.

ПО: MSC.ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems). Technology was implemented about 35 years ago. Original product was ADAMS/Solver, an application that solves nonlinear numerical equations.

You build models in text format and then submit them to ADAMS/Solver.



В процессе работы создаётся динамическая модель

#### 4. Кинематика и динамика

In the early 90's, ADAMS/View was released, which allowed users to build, simulate, and examine results in a single environment.

Today, industry-specific products are being produced, such as ADAMS/Car, ADAMS/Rail, and ADAMS/Engine.

Исходными данными для модуля являются:

- объёмная модель;
- принцип работы механизма, закон управления;
- внешние нагрузки: газовые, гидравлические, магнитные, упругие, ударные и т.д.
- модели деформируемых тел.

Результатами работы модуля являются:

- динамическая схема механизма;
- кинематические параметры;
- реакции в соединениях;
- анимация работы;
- величина кинематических зазоров;
- деформации упругих элементов.



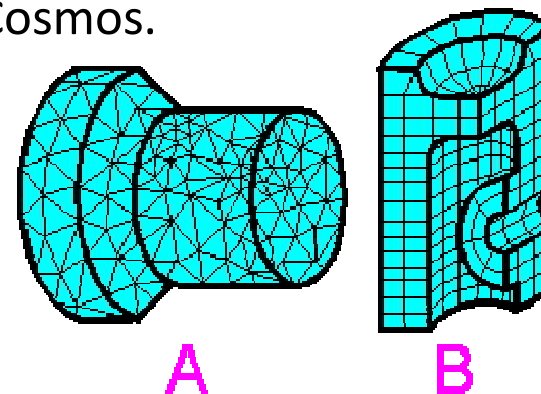
В процессе работы создаётся конечно-элементная модель

## 5. Прочность

Стандартом для решения задач, связанных с прочностью стал метод конечных элементов (КЭ), заключающийся в разбиении объёмов сложных деталей на сетку небольших элементов, для которых легко найти перемещение в узлах сетки под действием внешних нагрузок и закреплений.

ПО: ANSYS, Nastran, Cosmos.

А – свободная сетка  
Б – упорядоченная сетка



Исходными данными для модуля являются:

- объёмная модель;
- информация о закреплениях и нагрузках;
- реакции, полученные в динамическом расчёте;
- свойства материалов деталей.



## 5. Прочность

Результатами работы модуля являются:

- основным результатом являются величины смещения узлов модели, на основе которых определяются картины распределения напряжений, деформаций и прочих параметров по модели;
- собственные и вынужденные частоты и формы колебаний;
- реакции в закреплениях;
- температуры и давления.

Могут быть учтены:

- контактное взаимодействие и силы трения;
- температурные нагрузки и т.д.

Также КЭ-метод применяют для определения исходных данных:

- сил, давлений, скоростей и других параметров газовых потоков;
- магнетизма, электричества и т.д.

Расчёт может производиться в стационарной и нестационарной (зависящей от времени) постановке



## 6. Надёжность

На рынке программных комплексов (ПК) представлен ряд зарубежных и отечественных ПК, позволяющих проводить автоматизированный расчет надежности сложных технических систем.

Наиболее распространенными среди зарубежных ПК являются: RELEX (Relex software Corporation, США); A.L.D.Group (Израиль); Risk Spectrum (Relcon AB, Швеция); ISOGRAPH (Великобритания).

ПК Relex и Risk Spectrum позволяют проводить логико-вероятностный анализ надежности и безопасности технических систем, например, расчет надежности современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), оптимизацию техногенного риска и определение оптимальных параметров системы технического обслуживания потенциально опасных объектов.



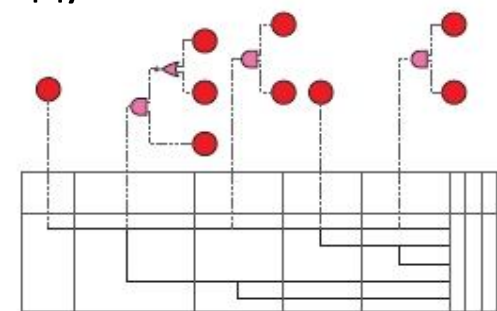
## 6. Надёжность

ПК Relex и Risk Spectrum могут быть использованы для расчета надежности не только управляющих или технологических систем, но и изделий приборостроения, вычислительной техники, на транспорте, в оборонной технике.

В основе моделирования и расчета показателей надежности и безопасности технических систем, лежат логико-вероятностные методы, использующие в качестве средства построения графических моделей безопасности (надежности) дерева событий (ДС) и дерева отказов (ДО)

Результатами работы модуля являются:

- вероятность отказа;
- неготовность;
- параметр потока отказов;
- среднее число отказов.





В процессе работы создаётся САМ-модель

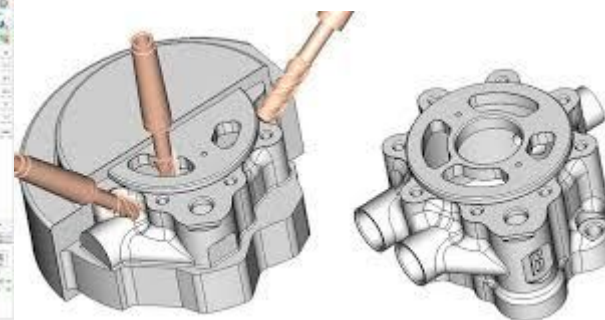
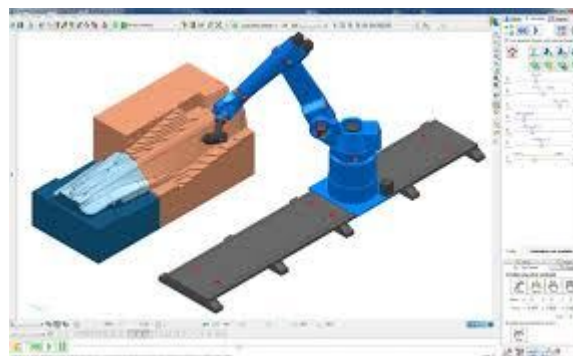
## 7. Производство

На каждом из этапов моделирования возможен возврат к предыдущим этапам. Особенно часто он происходит на этапах расчёта динамики, прочности и подготовки к **производству**.

Результатами выполнения модуля являются:

- чертежи деталей и сборок;
- 3D-модель для станков с ЧПУ;
- технология производства(ТУ, тех.карты и т.д.)

ПО: NX CAM, ADEM CAM, CIMATRON, ESPRIT, IMS, MasterCAM, Delcam PLC, SolidCAM



Применяется [токарная обработка](#), [фрезерная обработка](#) на станках с, [электроэрозионная обработка](#) проволокой и т.д.



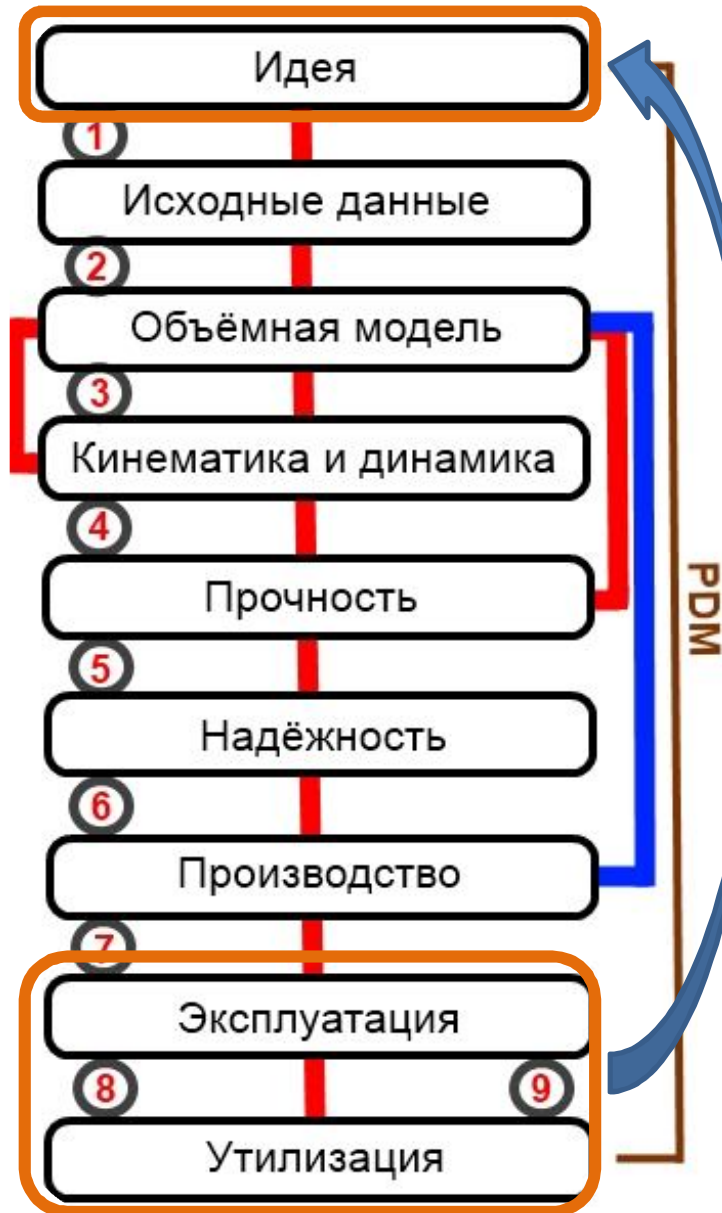
В процессе работы используются PDM/PLM системы

## 8,9. Эксплуатация и утилизация

**Жизненный цикл изделия** (*жизненный цикл продукции*) — совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта

**PLM-система** ([англ. product lifecycle management](#)) — [прикладное программное обеспечение](#) для управления жизненным циклом продукции.

**PDM-система** ([англ. Product Data Management](#)) — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолёты и ракеты, компьютерные сети и др.). PDM-системы являются неотъемлемой частью [PLM](#)-систем. 20



В процессе работы используются PDM/PLM системы

## 8,9. Эксплуатация и утилизация

Базовые функциональные возможности PDM-систем охватывают следующие основные направления:

- управление хранением данных и документами
- управление потоками работ и процессами
- управление структурой продукта
- автоматизация генерации выборок и отчетов
- механизм авторизации

Все данные связанные с проектированием, хранятся внутри PDM/PLM-систем и доступны пользователям в зависимости от их ранга.

Вся информация, накопившаяся при проектировании, производстве и эксплуатации изделий используется при генерации новых идей и формулировании исходных данных, тем самым создавая спираль технического совершенствования и делая авиационные двигатели совершеннее с каждым новым поколением.