Конспект лекций по дисциплине "Компьютерные технологии в технологии машиностроения"

Автор/составитель: доцент кафедры "Технология машиностроения" ДГТУ
Прокопец Г.А.

Оглавление

1 Жизненный цикл изделия
1.1 Жизненный цикл изделия и его структура
2 Обеспечение управления жизненным циклом изделия
2.1 PLMсистемы
2.2 CALS-технология
3 PLM-системы в машиностроении
3.1 Системы САПР: CAD/CAM/CAE
3.2 Системы PDM
3.3. Системы ERP, MRP
4 Элементы управления качеством технологического процесса при помощи компьютерных технологий
4.1 Управление надежностью технологического процесса с помощью статистического анализа
4.2 Решение задач оптимизации с помощью компьютерных технологий
4.3 Моделирование систем с помощью системы Matlab

Введение

Технология машиностроения — область технической науки, занимающаяся изучением связей и установлением закономерностей в процессе изготовления машин. Она призвана разработать теорию технологического обеспечения и повышения качества изделий машиностроения с наименьшей себестоимостью их выпуска

Компьютерные технологии в машиностроении – это новые интеллектуальные инструменты для обработки информации, которая формируется при проектировании и производстве изделий машиностроения и приборостроения. Они не только изменяют традиционные формы работы инженера, но и предъявляют более высокие требования к его профессиональной подготовке: пользователь должен уметь не только работать с различными проблемно-ориентированными системами автоматизированного проектирования, но и понимать методологию решаемых задач. Инженер-машиностроитель сегодня — это специалист широкого профиля с высочайшим уровнем профессиональной подготовки, знающий в совершенстве один или два иностранных языка и постоянно повышающий свою квалификацию путем освоения новых компьютерных технологий.

Практически не так давно — в начале 80-х годов прошлого века, персональные компьютеры начали свое победоносное шествие на рынке электронно-вычислительных машин. Но уже сегодня рабочее место инженера невозможно представить без ПК, оснащенного программными продуктами, позволяющими автоматизировать задачи управления предприятием, конструирования изделий, проектирования технологических процессов, управляющих программ для станков с ЧПУ и технологической оснастки. Разработаны также и системы управления дискретными производственными процессами. Возможность передачи информации (трехмерных параметрических моделей изделий, чертежей, технологических процессов, управляющих программ и др.) между автоматизированными рабочими местами позволила создать интегрированные программные комплексы, которые уже пришли или в ближайшее время придут на большинство машиностроительных предприятий.

Конструктивные решения, принимаемые при разработке изделия как будущего объекта производства, определяются с одной стороны содержанием технического задания на проектирование, а с другой – технологическими возможностями предприятия. В условиях многономенклатурного производства экономическая эффективность предприятий определяется, в основном, качеством технологического проектирования.

Каким же требованиям должны отвечать программные комплексы для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства? Во-первых, возможностью проектирования технологических процессов механической обработки на основе информации, формируемой при автоматизированном конструировании детали. Во-вторых, наличием обратных связей как на этапе отработки конструкции изделия на технологичность, так и непосредственно при проектировании технологических процессов[1].

---

[1] Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

1 Жизненный цикл изделия
1.1 Жизненный цикл изделия и его структура

Жизненный цикл изделия — это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенном изделии до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации изделия. *Изделием* в машиностроении называется предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии. Изделием может быть машина, элемент машины и даже отдельная деталь, в зависимости от того, что является продуктом конечной стадии данного производства. Например, для автомобильного завода изделием является автомобиль, для станкостроительного завода – станок, для инструментального завода – режущий или мерительный инструмент.

В соответствии с ГОСТом 2.101-68 устанавливаются следующие виды изделий: детали; сборочные единицы (узлы); комплексы; комплекты; агрегаты.

Деталь является изделием или составной частью изделия, изготовленной из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Например, валик, винт, корпус, зубчатое колесо. Деталь – это первичный сборочный элемент каждой машины.

Сборочной единицей (узлом) – называется изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии изготовителе или его структурном подразделении (цехе) сборочными операциями, такими как простое соединение деталей, соединение деталей их запрессовкой, свинчиванием, сваркой, пайкой, клейкой, склеиванием и т.д. Например, станок, редуктор, сварной корпус, коробка скоростей, ротор турбины, шпиндельный узел. Характерным признаком сборочной единицы с технологической точки зрения является возможность её сборки обособленно от других элементов изделия в целом (машины).

Комплексом называется два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например, автоматическая линия. В комплекс кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации.

Комплект представляет собой два и более изделий, не соединенных на предприятии изготовителе сборочными операциями, и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например, комплекты запасных частей, инструментов, измерительной аппаратуры, упаковочной тары.

Агрегат – это сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно (например, двигатель).

Жизненный цикл машиностроительных изделий (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового изделия до его утилизации по окончании срока использования. Основные этапы жизненного цикла машиностроительного изделия представлены на рис. 1. К ним относятся этапы *проектирования*, *технологической подготовки производства* (ТПП), *собственно производства*, *реализации продукции*, *эксплуатации*, *реновации* и, наконец, *утилизации* (в число этапов жизненного цикла могут также входить маркетинг, закупки материалов и комплектующих, предоставление услуг, упаковка и хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию).

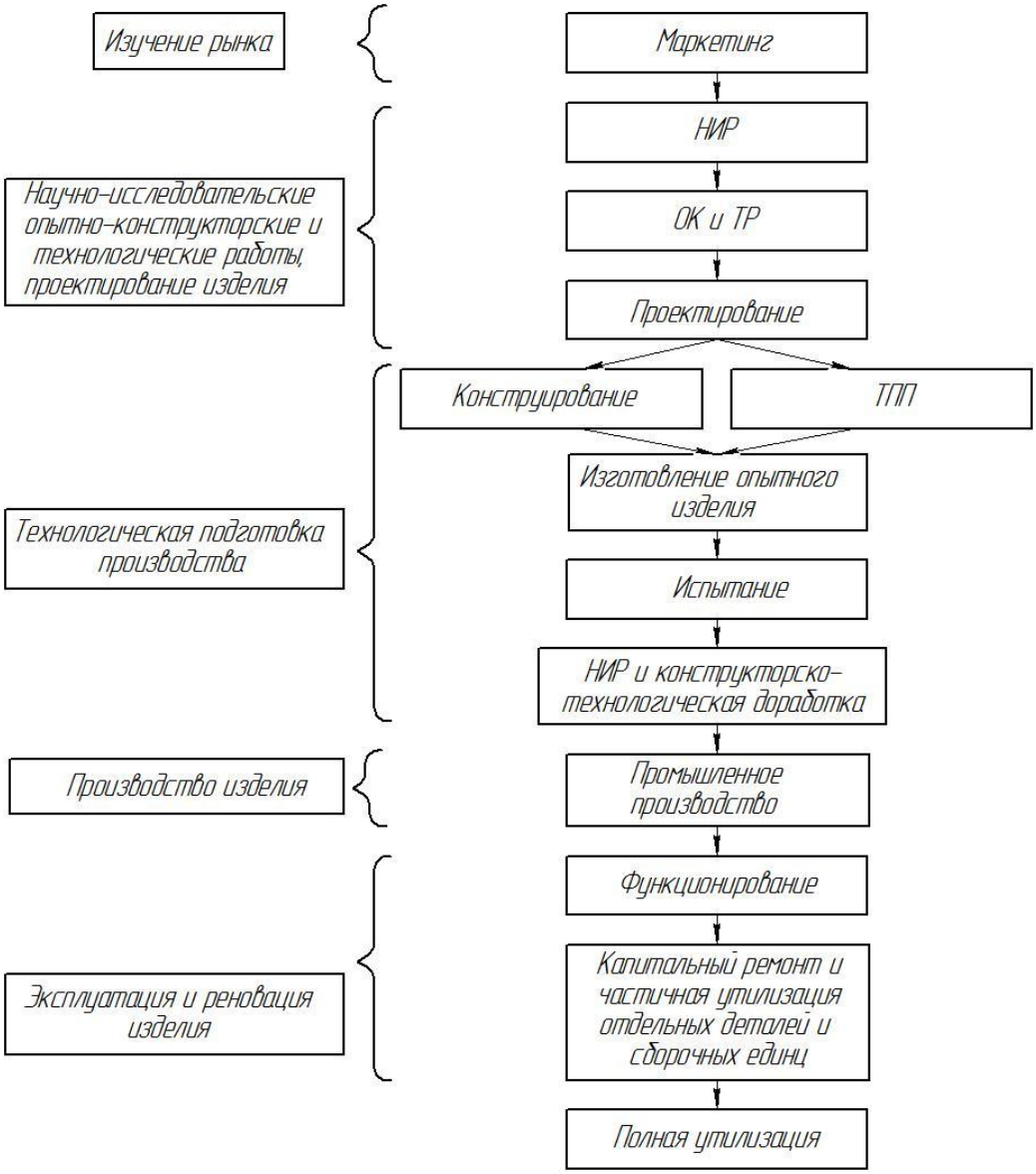


Рис.1. Жизненный цикл машиностроительного изделия

Рассмотрим содержание основных этапов ЖЦИ для изделий машиностроения.

- Маркетинговые исследования. Этот этап является предварительным, но очень важным. На нем основной задачей маркетологов будет выявление потребности потребителей в продукте. Для этого придется проанализировать рынок на предмет наличия похожего продукта, определения сильных и слабых сторон конкурентов. Узнать емкость и глубину рынка, а также определиться с объемом спроса и перспективностью дальнейшей разработки. Если маркетинговые исследования дали позитивный результат, то можно переходить к следующему этапу.
- Проектирование продукта. Данный этап крайне важен. На основе информации, полученной в рамках маркетингового исследования, формируется суть продукта. Грубо говоря, здесь создается сама идея будущего изделия: определяется его функционал, целевая аудитория, внешний вид, конкурентные преимущества и множество других параметров, от которых будет зависеть дальнейшая судьба продукта, то, как он будет восприниматься рынком, и какие затраты придется понести на его выпуск. На этапе проектирования выполняются проектные процедуры — формирование принципиального решения, разработка

геометрических моделей и чертежей, расчеты, моделирование процессов, оптимизация и т.п.

- Планирование и разработка процесса производства. После того, как проектирование продукта завершено, необходимо четко спланировать сам процесс его производства. На этапе подготовки производства разрабатываются маршрутная и операционная технологии изготовления деталей, в том числе реализуемые в программах для станков ЧПУ; технология сборки и монтажа изделий; технология контроля и испытаний. Здесь необходимо разобраться с тем, какой объем инвестиций необходим для старта, какое оборудование и программное обеспечение придется закупить, какие технологические процессы отладить, какое сырье или готовые комплекты использовать при производстве, какие кадры и в каком количестве понадобятся и т.д.
- Закупка. Данный пункт логически вытекает из предыдущего. После того, как все спланировано, предприятие переходит к покупке оборудования для дальнейшего выпуска продукции. На этапе закупки производится приобретение составляющих, необходимых для изготовления изделия: материалов для изготовления деталей, комплектующих (в том числе стандартных) для сборки изделия, основного и вспомогательного инструмента, оборудования и оснастки и т.д.
- Производство. На данном этапе производится изготовление деталей (изготовление заготовок, их механообработка, термообработка, нанесение покрытий и другие требуемые виды обработки), контроль результатов обработки, сборка и контроль узлов (сборочных единиц) и всего изделия в целом, испытания и итоговый контроль..
- Упаковка и хранение. После изготовления и контроля изделия для него необходимо произвести консервацию (при необходимости), изделие нужно упаковать. Известно, что упаковка часто является одним из серьезных факторов в пользу выбора того или иного продукта. Но в основном упаковка служит для предохранения изделия от повреждения. Далее, если изделие не отправляетсяя сразу к потребителю (например при изготовлении "под заказ") или на реализацию, то для него должно быть организовано хранение в помещениях надлежащего качества и при условиях хранения, которые не нанесли бы урона продукции.
- Реализация. Здесь налаживаются каналы поставок собственной продукции и занимаются поиском дилеров или покупателей.
- Монтаж и наладка. Данный пункт актуален для тех производителей, чей продукт необходимо устанавливать силами своих специалистов. Актуально это тогда, например, когда речь идет о производстве промышленного оборудования, зачастую бытовой техники (стиральные машины, телевизионное оборудование) и установить его самостоятельно покупатель не сможет.
- Техническая поддержка и обслуживание. На данном этапе необходимо решить все вопросы, связанные с технической поддержкой и обслуживанием продукта уже после того, как клиент его купил. Речь, например, идет о разного рода гарантиях.
- Реновация. Это - технико-экономический процесс замещения выбывающих из производства или эксплуатации вследствие физического и морального износа машин, оборудования, инструмента или других изделий и составных частей, новыми за счет средств амортизационного фонда.
- Утилизация и/или переработка. Любая продукция имеет свой срок жизни и имеет свойство выходить из строя. Для этого предусматривается возможность утилизации или переработки продукции предприятия, что может стать не только конкурентным преимуществом, но и, при грамотном подходе, дополнительным источником доходов.

На всех этапах жизненного цикла имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной

эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому изделию, при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

В настоящее время на мировом рынке наукоемких промышленных изделий отчетливо наблюдаются три основные тенденции:

- Повышение сложности и наукоемкости изделий, повышение их качества и снижение ресурсоемкости;
- Повышение конкуренции на рынке изделий, предприятий и корпораций;
- Развитие кооперации между участниками ЖЦ изделия.

Управление жизненным циклом изделия позволяет предусмотреть решение множества проблем еще до их появления, а также наладить эффективное производство любой продукции и при этом снизить собственные издержки.

2 Обеспечение управления жизненным циклом изделия

Управление жизненным циклом изделий является системной, комплексной задачей, для которой необходимо установить взаимосвязь между тремя основными элементами: исходными свойствами и состоянием материалов, условиями эксплуатации и ресурсом, для того чтобы, задавшись (или управляя) двумя из этих элементов, можно было обоснованно регламентировать (или воздействовать на) третий. С точки зрения практической ценности можно выделить прямую и обратную постановку задачи управления ЖЦИ. Первая состоит в прогнозировании ресурса материалов по имеющимся данным об исходных и текущих свойствах объекта и условиях его эксплуатации. Вторая – в выборе и нормировании свойств материалов для обеспечения их требуемого ресурса в заданных условиях эксплуатации. Центральным звеном системы управления ЖЦИ должны стать физически обоснованные многофакторные расчетные модели; в качестве таковой может быть использована, например, энергетическая модель повреждаемости и разрушения поверхностных слоёв при эксплуатации.

Система управления ЖЦИ имеет много общего с системой качества, внедренной на множестве современных предприятий согласно требованиям стандартов серии ИСО 9000. Однако их главное различие состоит в том, что система качества направлена на реализацию полного соответствия технологии изготовления изделий действующим нормативным документам с целью поддержания гарантированного уровня качества изделий, в то время как система управления ЖЦИ направлена на постоянное улучшение их технических характеристик, что приближает ее к известной системе управления качеством TQM (англ. *Total Quality Management*, TQM — общеорганизационный метод непрерывного повышения качества всех организационных процессов). Главная особенность системы управления ЖЦИ состоит в том, что единственным критерием в ней является технический ресурс изделия, на основе которого производится управление его сроком службы с целью обеспечения эксплуатационной надежности. И все данные о свойствах материалов, применяемые модели, программное обеспечение и т.д. направлены на оценку, обеспечение и повышение ресурса изделия.

Современные системы управления ЖЦИ можно классифицировать по ряду признаков.

Виды систем управления ЖЦИ по способу управления. По способу управления системы управления ЖЦИ можно разделить на активные и пассивные. *В активных*

системах управления ресурсом предполагается на всех этапах предпринимать меры по целенаправленному воздействию на свойства материала и условия его функционирования, а также по оптимизации технологических процессов на этапе изготовления объекта. Так, активная система управления сроком службы технических систем на этапе эксплуатации требует их постоянного совершенствования (модернизации, ремонта), что наряду с заложенным при конструировании и изготовлении избыточным запасом прочности дает основание для многократного продления их службы на дополнительный срок. В ряде случаев при эксплуатации ответственных, и особенно опасных объектов условия их изготовления и использования строго регламентированы, что делает затруднительным применение активных систем управления; тогда единственным средством управления сроком службы являются пассивные системы.

В пассивных системах управления ЖЦИ предполагается лишь наблюдение за естественным изменением свойств (контроль старения) материала и контроль за исчерпанием заложенного при изготовлении объекта запаса прочности с тем, чтобы на основе имеющихся критериев дать заключение о возможности дальнейшего безопасного использования объекта или о необходимости вывода его из эксплуатации. Еще одно назначение пассивных систем – сбор информации и формирование базы данных об условиях функционирования объекта, о кинетике и механизмах его повреждаемости и разрушения, о режимах технологической обработки, о долговечности объекта и т. д. Данные сведения необходимы для анализа адекватности применяемых расчетных моделей, оценки параметров надежности, т.е. для реализации «обратной связи» в системе управления ЖЦИ . Пассивная система управления ЖЦИ также предполагает установление даты окончания работы технических систем (предотвращающей досрочный вывод из эксплуатации) и обеспечение последних лет службы на основе диагностики технических систем.

Активные и пассивные системы глубоко взаимосвязаны и могут использоваться совместно в рамках решения как прямых, так и обратных задач управления. Такое комбинированное управление жизненным циклом изделий представляется наиболее эффективным.

Виды систем управления ЖЦИ по этапу реализации. Управление ресурсом возможно на всех этапах жизненного цикла изделия.

Конструкторские. На стадии конструирования в материал необходимо заложить запас прочности, достаточный для заданного срока службы изделия. Для этого необходимы научно обоснованные методы регламентирования механических свойств изделий, выбора смазочных материалов. Регламентируются допуски, параметры микрогеометрии. При конструировании также предусматриваются средства снижения динамических напряжений, охлаждения материала, устраняются участки концентрации напряжений. При этом в последнее время все чаще используют средства компьютерного конечно-элементного моделирования.

Производственные. На этапе производства происходит технологическое обеспечение заданного ресурса. Основное внимание при этом уделяется упрочняющим технологиям и сборке. Важным этапом производства является контроль качества изделий. Здесь в последнее время на лидирующие позиции выходит применение ускоренных методов испытаний, но для этого необходимо строгое обоснование режимов форсированных испытаний, что представляет собой весьма непростую задачу, которая в настоящее время решается поиском эмпирической корреляции между результатами обычных и ускоренных испытаний.

Эксплуатационные. На стадии эксплуатации происходит рациональная реализация заложенного в изделие ресурса. При нормировании показателей надежности, как правило, пользуются принципом избыточности, вследствие чего после выработки назначенного срока службы у изделий часто остается запас прочности, но величина его случайна и требует при эксплуатации дополнительной оценки. Это требует корректных методов

диагностики и прогнозирования остаточного ресурса, основанных на адекватных критериях прочности. Аналогичная ситуация возникает, когда в эксплуатацию вводятся детали, имевшие ранее наработку, для которых нужно оценить выработанный ресурс. Диагностика состояния материалов необходима перед ремонтом (восстановлением) изношенных деталей.

Виды систем управления ЖЦИ по характеру решаемой задачи. Система управления ЖЦИ характеризуется наличием прямых и обратных связей между воздействием на материал и его ресурсом. Эти связи являются, по сути, причинно-следственными, их анализ производится на основе экспериментального исследования объектов и их моделей. Если принять направление решения задачи от совокупности причин и условий к следствию как прямое, то противоположный анализ будет, соответственно, являться обратным. Таким образом, в прямой постановке задачи система управления ЖЦИ воздействует на ресурс за счет управления свойствами самого объекта, в обратной – за счет управления условиями его изготовления и эксплуатации. В первом случае исходными данными для управления жизненным циклом являются фактическое состояние, свойства материала и условия работы. Во втором – на основе заданного (или известного) ресурса и выявленных при испытаниях или эксплуатации данных о механизмах и кинетике повреждаемости материалов корректируются их свойства, обеспечиваются щадящие условия работы. При решении обратной задачи, например, для повышения ресурса узлов трения создают условия для снижения энергии разрушающих механических, термических и химических воздействий, что реализуется соответственно применением демпферов, охладителей, ингибиторов коррозии и т.д. Кроме того, путем сбора и сопоставления расчетных и экспериментальных данных проверяется прогностическая способность применяемой для управления ресурсом совокупности математических, расчетных, конечно-элементных и других моделей объекта, что необходимо для совершенствования самой системы управления ЖЦИ . С точки зрения теории надежности, решение прямых задач связано с применением физики отказов, использующей физические и математические модели объекта. Решение же обратных задач, как правило, выполняется по статистическим моделям отказов.

Виды систем управления ЖЦИ по цели управления. Можно выделить две основные цели управления ресурсными характеристиками материала: первая и основная цель заключается во всемерном повышении безотказного срока службы изделия, т.е. в повышении долговечности материалов в существующих условиях функционирования; вторая – в тарированном понижении долговечности, что актуально, например, при разработке методик ускоренных испытаний. В первом случае имеет место ресурсоповышающая система, во втором – ресурсосберегающая. Наименование последней обусловлено тем, что повышение ресурса достигается за счет дополнительных материальных, энергетических и временных затрат на повышение прочности материала. Причем с повышением показателей качества отношение приращения долговечности объекта к приращению затрат на обеспечение его надежности нелинейно возрастает. Поэтому, как известно, показатели надежности нормируются, например, по критерию минимальной стоимости жизненного цикла изделия. Одним из эффективных способов снижения затрат на изготовление сложных объектов является выравнивание разрыва между долговечностями (для восстанавливаемых изделий – средней наработки на отказ) самого «слабого» и самого надежного элементов в системе. Таким образом, по отношению к первым элементам целесообразно применение ресурсоповышающего воздействия, а по отношению ко вторым – ресурсосберегающего.

2.1 PLM-системы.

Конечная цель любого предприятия – прибыль, эффективность бизнеса. Одной из характерных черт современного промышленного производства являются жесткие

требования к конкурентоспособности продукции. Что, в свою очередь, требует и быстрых темпов разработки и запуска продукции в производство и налагает высокие требования на качество продукта, его соответствие рынку. Инженерным языком говоря, производство работает в меньших допусках относительно того, как это было двадцать-тридцать и даже десять лет назад. Это стало возможным во многом благодаря широкому внедрению сначала САПР, затем организации обмена данными между проектными и производственными системами и на современном этапе созданию систем, полностью описывающих жизненный цикл изделия от концепции до описания технологических процессов его изготовления и эксплуатации.

Тем не менее время поджимает, если предприятие намерено успешно конкурировать на современном по сути интернациональном рынке, стоит задуматься об использовании современных средств создания продуктов. Примеры таких успешных подходов уже есть. Конечно, работы по освоению новых технологий предстоит немало, но дорогу осилит идущий, а опыт тех, кто уже прошел этот путь, говорит, что эффект, в первую очередь экономический, в конечном итоге значителен. Так, например, по оценкам специалистов Красноярского комбайнового завода за счет использования PLM сроки создания новой модели и запуска ее в производство сократились с 6-7 лет до 3-х. Конструкторам ОАО "Гражданские Самолеты Сухого" использование PLM обеспечило оперативную коллективную работу с многочисленными смежниками, в том числе и зарубежными поставщиками оборудования и комплектующих.

Системы PLM появились примерно два десятилетия назад, но вскоре возникла необходимость отделить автоматизацию процессов проектирования и подготовки производства (CAD/CAM) от управления информацией, сопровождающей изделия. Тогда появилось самостоятельное от CAD/CAM направление Product Data Management (PDM), т. е. управление данными об изделиях; в основном оно связано с документооборотом конструкторской и технологической документации. Авиационные конструктора как-то сказали: «Документацией на современный истребитель можно загрузить целиком большой транспортный самолет». Из этого примера видно, насколько актуально было создание PLM.

Выделяют три основных этапа эволюции платформ управления жизненным циклом изделия за последнее время. На каждом этапе появлялся новый блок возможностей PLM, не отменяя при этом функции, сложившиеся на предыдущем этапе.

2000—2005 годы. Управление данными об изделии с поддержкой совместной работы:

- централизация инженерных данных;
- единое представление структуры продукта;
- визуализация и цифровая сборка;
- управление изменениями в инженерных данных;
- обеспечение безопасности и прав доступа.

2005—2010 годы. Расширенные возможности управления жизненным циклом изделия:

- управление проектами и портфелями;
- управление требованиями;
- обеспечение качества и соответствия регулятивным нормам;
- интеграция этапов поставки материалов, производства и постпродажного обслуживания;
- кроссфункциональные потоки работ.

2010 год и далее. Социальная разработка продуктов:

- усовершенствования совместной работы в распределенных командах;
- новые идеи, решения проблем и обратная связь от внешних сообществ;
- интеграция новых сервисов в традиционные продуктовые предложения.

Основным отличием на современном этапе стало использование веб-ориентировной платформы, как единой базы для комплекса решений, основанных на связных продуктах.

Управление данными в информационном пространстве, едином для различных автоматизированных систем, возлагается на систему управления жизненным циклом продукции, реализующую технологии PLM (Product Lifecycle Management). Под PLM понимают процесс управления информацией об изделии на протяжении всего его жизненного цикла, т.е. технологии PLM объединяют методики и средства информационной поддержки изделий на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий. PLM-система - это организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. Понятие PLM-система трактуется двояко: либо как интегрированная совокупность автоматизированных систем CAE/CAD/CAM/PDM и ERP/CRM/SCM, либо как совокупность только средств информационной поддержки изделия и интегрирования автоматизированных систем предприятия, что практически совпадает с определением понятия CALS. Характерная особенность PLM — возможность поддержки взаимодействия различных автоматизированных систем многих предприятий, т.е. технологии PLM являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР (системы автоматизированного проектирования), ERP (система планирования производственных ресурсов), PDM (система управления данными об изделии), SCM (система управления цепочками поставок), CRM (система взаимодействия с клиентами) и другие автоматизированные системы многих предприятий (см. рис.).

В состав PLM для отраслей машиностроения обычно включают программы систем CAD, CAM, CAE, PDM, ERP и средства системной интеграции.

Информация об объекте, содержащаяся в PLM-системе является цифровым макетом этого объекта. Цифровой макет — совокупность электронных документов, описывающих изделие, его создание и обслуживание. Содержит электронные чертежи и/или трёхмерные модели изделия и его компонент, чертежи и/или модели необходимой оснастки для изготовления компонент изделия, различную атрибутивную информацию по компонентам (номенклатура, веса, длины, особые параметры), технические требования, директивные документы, техническую, эксплуатационную и иную документацию. Роль цифрового прототипа во многих отраслях, таких как сложное машиностроение, особенно авто- судо- авиастроении – просто неоценима и безусловна.

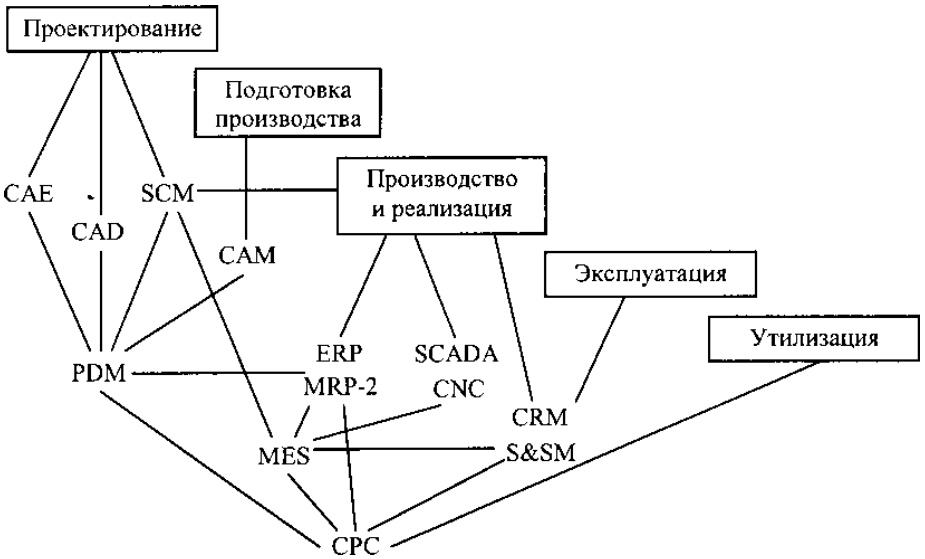


Рисунок 1. Этапы ЖЦ промышленных изделий и используемые АС

В фундаменте PLM лежат три краеугольных камня:

- цифровая модель-прототип изделия (не путать изделие с продуктом!);
- модели процессов, связанных с его жизненным циклом – производством, эксплуатацией, обслуживанием, ремонтом и, наконец, утилизацией;
- модели ресурсов, вовлеченных в жизненный цикл продукта.

Все эти три компоненты, объединенные связующим – единой системой документооборота (PDM) и образуют систему PLM, обеспечивающую возможность оптимизации продукта с учётом всех ипостасей его жизненного цикла и, тем самым, добиваться максимального качества при адекватной стоимости.

Основными компонентами PLM-системы ***на предприятии*** являются:

- PDM-система (Product Data Management, PDM) — система управления данными об изделии, является основой PLM, предназначена для хранения и управления данными;
- CAD-система (Computer Aided Design, CAD) — проектирование изделий;
- CAE-система (Computer Aided Engineering, CAE) — инженерные расчеты;
- CAPP-система (Computer Aided Production Planning, CAPP) — разработка техпроцессов;
- CAM-система (Computer Aided Manufacturing, CAM) — разработка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- MPM-система (Manufacturing Process Management, MPM) — моделирование и анализ производства изделия.

Таким образом на данный момент PLM – это современная бизнес-стратегия, применяемая ведущими производственными предприятиями для сокращения времени вывода на рынок новых продуктов за счет использования передовых средств разработки изделий (CAD/CAE) и подготовки производства (CAM/CAPP/MPM), уменьшения стоимости разработки за счет повторного использования инженерных данных и организации совместной работы распределенных коллективов (PDM).

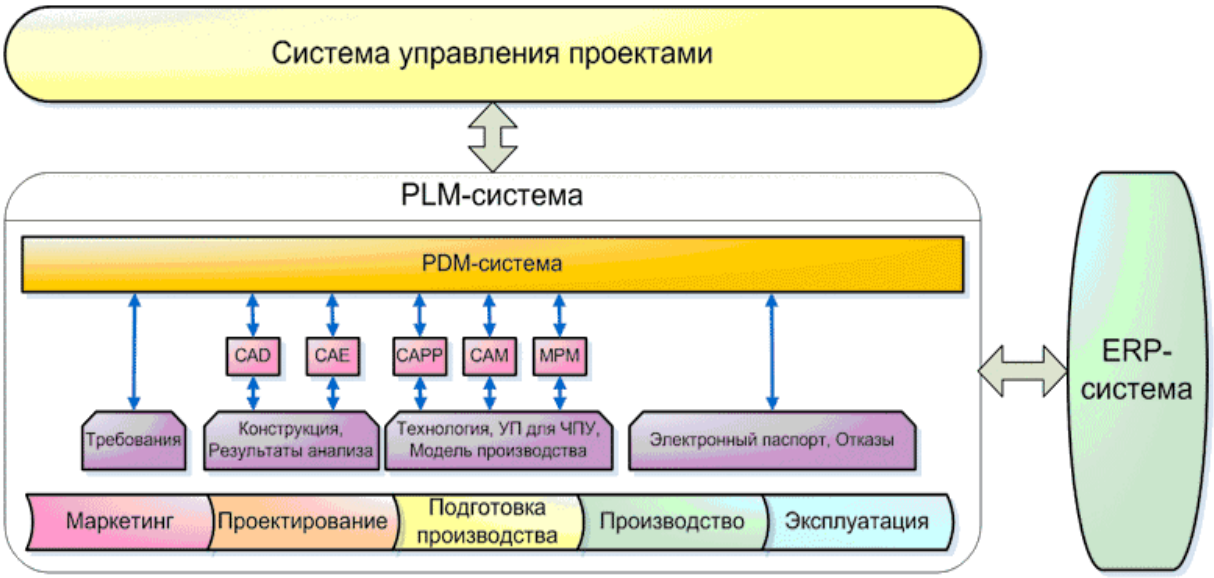


Рисунок 2.

Автоматизированное планирование технологических процессов CAPP - планирование процессов с помощью компьютера (англ.*Computer-Aided Process Planning*) — термин, используемый для обозначения программных инструментов, применяемых на

стыке систем автоматизированного проектирования (CAD) и производства (CAM). Задача CAPP-системы — по заданной CAD-модели изделия составить план его производства, называемый операционной или маршрутной, картой. Данный план содержит указания о последовательности технологических и сборочных операций, используемых станках и инструментах и проч. Различают два подхода к автоматизированной технологической подготовке — модифицированный (вариантный) и генеративный. При модифицированном подходе задача системы CAPP состоит в поиске наиболее похожего изделия в существующей базе данных и предъявлению его операционной карты для модификации. При модифицированном подходе широко применяется групповая технология, позволяющая проводить классификации деталей в семейства похожих. Генеративный подход состоит в распознавании у детали типовых конструктивных элементов и применении к ним типовых техпроцессов (токарная обработка, сверление и проч.) При генеративном подходе используются известные методы искусственного интеллекта для распознавания элементов и логического вывода.

Управление производственными процессами (англ. *Manufacturing Process Management, MPM*) — обобщенное название набора технологий, методов и программ, используемых при производстве изделий. MPM является ключевым элементом концепции управления жизненным циклом изделий (PLM), являясь связующим звеном между системами автоматизированного проектирования (CAD) и системами планирования ресурсов предприятия (ERP). Планирование производственных цехов, технологических процессов (CAPP, программирование станков с ЧПУ являются компонентами MPM. Система MPM тесно взаимодействует с системами управления данными об изделии (PDM), планирования ресурсов предприятия (ERP), исполнения производства (MES) и оптимизированного производственного планирования (APS).

Таким образом под PLM-системой понимают не один суперпродукт, а совокупность программных продуктов (в том числе от разных поставщиков, хотя некоторые производители стараются закрыть всю линейку).

Преимущества PLM-систем:

- ускорение выпуска новых продуктов;
- усиление контроля за качеством;
- сокращение издержек путем замены физических макетов виртуальными;
- экономия за счет многократного использования проектных данных;
- расширение возможностей оптимизации изделий;
- экономия благодаря сокращению отходов производства;
- снижение затрат с помощью полной интеграции инженерного документооборота;
- сопровождение интеллектуальной собственности предприятия;
- обеспечение данными АСУП/ERP-систем;
- соответствие требованиям ISO 9000.

Именно эти достоинства и объясняют популярность PLM. Например, автомобильная или авиационная компания может ускорить выпуск новых моделей, проектировщики - сократить и усовершенствовать цикл разработки, поставщики - многократно использовать уже созданные проекты, отделы технического обслуживания - быстро найти информацию об изделии, а руководители - получить полное представление о результатах всего производственного процесса на основе сведений от различных технологических участков, центров гарантийного обслуживания заказчиков. Все это сулит огромную экономию. Так, по оценке аналитической компании Daratech (www.daratech.com), крупные автомобилестроительные концерны могли бы сэкономить от 50 до 100 млн. долл. при разработке каждого нового автомобиля, если бы организовали обмен чертежами и моделями между разными САПР.

Но... PLM-система проектируется под конкретное предприятие. Это некая совокупность технологий и методов интеграции уже функционирующих корпоративных систем (САПР, ERP, CRM и т. д.) с системами коллективной работы над созданием

законченной среды, позволяющей полностью управлять процессами проектирования, тестирования, производства, обслуживания, списывания и утилизации продуктов. Термин PLM охватывает многие составляющие. Аналитики из CIMdata перечислили основные из них: базовые стандарты и технологии (XML, средства визуализации, совместной работы и интеграции приложений); инструменты подготовки инженерной информации (CAD, CAE, CAM и пр.); вспомогательные программы (хранение данных, управления информацией, документооборот); функциональные приложения (для управления конфигурациями, версиями) и корпоративные системы (ERP, CRM, SCM и т. д.). Объединяя все эти компоненты, PLM позволяет создать своего рода связующее ПО (middleware), интегрирующее все информационные системы предприятия и поддерживающее коллективную работу над проектами для предприятия.

Лидеры мирового рынка

Компания	PLM-продукты	Описание
САПР и PDM-систем		
	Unigraphics NX	Набор CAD, CAM и CAE высшего класса (тяжелые САПР)
EDS	Solid Edge	Система твердотельного моделирования среднего класса
	Teamcenter	Набор средств управления инженерными данными и проектами визуализации и коллективной работы
	E-factory	Набор средств автоматизированного производства
IBM / Dassault Systemes	CATIA	Интегрированный набор CAD, CAM и CAE высшего класса (тяжелые САПР)
	ENOVIA	Комплект решений для управления совместной, распределенной моделью электронных продуктов, процессов и ресурсов
	SmarTeam	Набор средств для управления инженерными данными и коллективной работы
	SolidWorks	Система твердотельного моделирования среднего класса
	DB2	СУБД
	Lotus	Система коллективной работы
PTC	Pro/Engineer	Интегрированный набор CAD, CAM и CAE высшего класса
	Windchill	Набор средств для управления инженерными данными, коллективной работы и взаимодействия с поставщиками
MatrixONE	ValueChain Portfolio	Набор средств для управления инженерными данными и проектами, коллективной работы, документооборота и взаимодействия с поставщиками
ERP-системы		
Baa	iBaan PDM	Система обмена данными о продуктах
	iBaan PartnerNert	Система обмена данными о продуктах с поставщиками
	iBaan Product Packager	Средство передачи данных в разных форматах
	iBaan Lifecycle Analyser	Программа для анализа изменений продуктов
SAP	mySAP PLM	Сквозное решение для коллективной работы всех участников процесса разработки, производства, обслуживания, проверки качества и ремонта продукта

2.2 CALS-технология

Технологии комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, цель которых - унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах её жизненного цикла, называют CALS-технологиями. Основные спецификации представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документацией. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте.

CALS - Computer Aided Logistic Support - компьютерная поддержка процесса поставок или Continuous Acquisition and Life Cycle Support - непрерывные поставки и информационная поддержка жизненного цикла продукции. Первая часть - Continuous Acqusition (непрерывные поставки) означает непрерывность информационного взаимодействия с заказчиком в ходе формирования заказа, процесса поставки и т.д. Вторая часть - Life Cycle Support (поддержка жизненного цикла изделия) - означает системность подхода к информационной поддержке всех процессов жизненного цикла изделия, в том числе, процессов эксплуатации, обслуживания, ремонта и утилизации и т.д. Русскоязычное наименование этой концепции и стратегии - ИПИ (Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий) или КСПИ (компьютерное сопровождение и поддержка изделий).

Задачей CALS является преобразование ЖЦ изделия в высокоавтоматизированный процесс путем информатизации и реструктуризации (реинжиниринга[2]) входящих в него бизнес-процессов. Средством достижения этой задачи является применение современных информационных и телекоммуникационных технологий (ИКТ). CALS символизирует две основные идеи, реализующие задачу CALS. Первая часть термина «CALS» (Continuous Acquisition) означает постоянное повышение эффективности (развитие) как самого изделия, так и процессов взаимодействия между поставщиком и потребителем изделия в течение его ЖЦ. Вторая часть термина «CALS» (Life cycle Support) обозначает путь такого развития: внедрение новых информационных и организационных технологий разработки изделия, например, параллельного проектирования или междисциплинарных рабочих групп. Это приводит к увеличению инвестиций на этапах создания и модернизации изделия, позволяет более полно учесть потребности заказчика и условия эксплуатации, что, в свою очередь, ведет за собой снижение затрат на этапах эксплуатации и обслуживания изделия и, в конечном итоге, сокращение затрат на весь ЖЦ изделия.

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объёмы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных’ любому пользователю технологий CALS. Существенно облегчается решение проблем ремонтопригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т.п.

CALS-технологии подразумевают использование различных CAD/ CAM/CAE/PDM-систем. Отдельные модули этих систем в рамках одного предприятия позволяют осуществлять управление проектом (PDM-системы), инженерные расчёты, анализ, моделирование и оптимизацию проектных решений (CAE-системы), двух- и трёхмерное проектирование деталей и сборочных единиц (CAD-системы), разработку

---

[2] Реинжиниринг бизнес-процессов (англ. *Business process reengineering*) — фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения максимального эффекта производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности, оформленное соответствующими организационно-распорядительными и нормативными документами.

технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, расчёт норм времени обработки (CAM-системы).

Внедрение CALS-технологии - сложная, многоплановая и комплексная проблема, в которой одно из ключевых мест принадлежит стандартизации. Нормативная база в области CALS-технологий должна, в частности, обеспечивать:

- регламентацию непрерывной компьютеризированной поддержки жизненного цикла создания и экспорта сложной наукоёмкой продукции с учётом требований международных стандартов;
- формирование стандартизованного комплекса технологий работы с данными, включая данные о самом продукте, процессах его создания и среде;
- создание, внедрение и эксплуатацию типовых программно-аппаратных средств;
- интеграцию информационных систем различных уровней и видов, систем САПР и АСУП на основе применения технологии открытых систем и методов функциональной стандартизации.

В России работы по внедрению и стандартизации CALS-технологий находятся на начальном этапе.

Ядро ИПИ[3] (CALS) - технологий составляет интегрированная информационная среда (ИИС). ИИС представляет собой хранилище данных, существующее в сетевой компьютерной системе, охватывающей все службы и подразделения предприятия, связанные с процессами жизненного цикла (ЖЦ) изделий. В ИИС действует единая система правил представления, хранения и обмена информацией. В соответствии с этими правилами в ИИС протекают информационные процессы, сопровождающие и поддерживающие ЖЦ изделия на всех его этапах.

Как минимум, ИИС должна включать в свой состав две базы данных: общую базу данных об изделии (изделиях) (ОБДИ) и общую базу данных о предприятии (ОБДП).

С ОБДИ связаны все процессы на всех стадиях ЖЦ. ОБДИ обеспечивает информационное обслуживание и поддержку деятельности:

- заказчиков (владельцев) изделия;
- разработчиков (конструкторов), технологов, управленческого и производственного персонала предприятия - изготовителя;
- эксплуатационного и ремонтного персонала заказчика и специализированных служб.

ОБДП[4] имеет информационные связи с процессами технологической и организационно - экономической подготовки производства и собственно производством (включая процессы отгрузки и транспортировки готовой продукции). При реализации процессов, охватывающих ЖЦ продукции, в качестве исходных данных используется информация, содержащаяся в ИИС, а информационные объекты (ИО), порождаемые в ходе процессов, возвращаются в ИИС для хранения и последующего использования в других процессах. Каждый ИО обладает набором характеристик, описывающих свойства реального физического объекта. Каждый ИО идентифицируется уникальным кодом и может быть извлечён из ОБД для выполнения действий с ним. Кроме ИО, относящихся (прямо или косвенно) к изделиям, в ИИС содержится информация о предприятии: о

---

[3] Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий

[4] База данных, БД - именованная совокупность данных, отражающая состояние объектов и их отношений в рассматриваемой предметной области. Система управления базами данных, СУБД - совокупность языковых и программных средств, предназначенных для создания, ведения и совместного использования БД многими пользователями.

производственной управленческой структуре, о технологическом и вспомогательном оборудовании, о персонале, финансах и т.д. Вся совокупность этих данных образует ОБДП, которая, в свою очередь, состоит из нескольких разделов, например, «Экономика и финансы», «Внешние связи предприятия», «Производство и технология», «Система качества» и др. При необходимости из ИИС могут быть извлечены разнообразные документы, необходимые для функционирования предприятия.

Основные аспекты, определяющие эффективность применения CALS-технологий:

- компьютерная автоматизация, позволяющая повысить производительность основных процессов и операций создания информации;
- информационная интеграция процессов, обеспечивающая совместное и многократное использование одних и тех же данных. Интеграция достигается минимизацией числа и сложности вспомогательных процессов и операций, связанных с поиском, преобразованием и передачей информации. Одним из инструментов интеграции является стандартизация способов и технологий представления данных с тем чтобы результаты предшествующего процесса могли быть использованы для последующих процессов с минимальными преобразованиями;
- переход к безбумажной организации процессов и применение новых моделей их организации.

Из этих аспектов можно выделить конкретные факторы, непосредственно влияющие на экономические показатели производства, применяющего CALS-технологии:

- сокращение затрат и трудоёмкости процессов технической подготовки и освоения производства новых изделий;
- сокращение календарных сроков вывода новых конкурентоспособных изделий на рынок;
- сокращение доли брака и затрат, связанных с внесением изменений в конструкцию;
- увеличение объёмов продаж изделий, снабжённых электронной технической документацией (в частности, эксплуатационной), в соответствии с требованиями международных стандартов;
- сокращение затрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонты изделий, которые для сложной наукоёмкой продукции подчас равны или превышают затраты на её закупку.

Всю деятельность, связанную с CALS-технологиями, можно разделить на четыре сферы.

- внедрение CALS-технологий на предприятиях;
- использование CALS-технологий при разработке и производстве продукции;
- разработка программных средств, реализующих CALS-технологии;
- управление качеством продукции на основе CALS-технологий.

Разработка программных средств, реализующих CALS-технологии, предполагает создание специализированного программного обеспечения (ПО), реализующего концепцию представления всей информации об изделии в электронном виде. Сюда относятся все программные продукты, используемые при разработке, производстве и эксплуатации продукции: САПР различного уровня, системы управления данными об изделии (PDM-системы), программы инженерных расчётов, системы подготовки эксплуатационной документации и т.д.

CALS-технологии могут применяться в промышленности только при выполнении следующих необходимых условий:

- наличия современных вычислительных средств и современной сетевой инфраструктуры (передачи данных);
- придания легитимного статуса электронной проектной, производственной, технологической, эксплуатационной и иной технической документации;

- реорганизации традиционных процессов проектирования, производства, сбыта, эксплуатации, утилизации изделий с целью их адаптации к условиям полной информатизации и безбумажных технологий;
- создании системы стандартов, дополняющих и замещающих традиционные ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, с целью адаптации промышленности к функционированию в условиях современных ИТ, единого информационного пространства и информационной рабочей среды;
- наличия на рынке промышленных ИТ и ИС, соответствующих требованиям стандартов CALS.

Основой CALS-технологий являются автоматизированные информационные системы (АИС) - компьютерные системы автоматизации проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, конструкторской и технологической подготовки производства.

В зависимости от организации информационных процессов, АИС делятся на два больших класса: (автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), САПР, экспертные системы (ЭС) и др.). По целевому назначению АИС классифицируются на:

- бухгалтерские (accounting information system - AIS);
- административные (management information system - MIS); осуществляют сбор и обработку всех данных, необходимых для планирования, обслуживания, проверки, оценки и управления деятельностью организации;
- информационные системы руководителей (ИСР, или executive information system - EIS) принимают данные из многих источников, объединяют и делают их доступными в удобном диалоговом формате;
- склады данных (data warehouses) - это база данных, хранящая всю информацию, касающуюся деятельности компании. Все прикладные программы компании могут обращаться к ней с различными запросами;
- системы автоматизированного проектирования (САПР, или CAD/CAE - computer assisted design/engeneering);
- автоматизированные системы управления производством (АСУП, или CAM - computer assisted manufacturing) представляют из себя комплекс аппаратных и программных средств, участвующих в производстве. К ним относятся станки с ЧПУ, робототехнические комплексы и т.д. Совместно с САПР, такие системы в некоторых случаях дают возможность стереть грань между разработкой и производством.
- системы поддержки решений (СПР, или decision support systems - DSS) позволяют пользователю изучать альтернативы, задавать вопросы типа «что будет, если», оперировать изменяющимися условиями и принимать решения в непредвиденных ситуациях. Кроме базы данных, такие системы содержат базу моделей и имеют диалоговые средства, позволяющие применять эти модели, как бы «проигрывая» имеющиеся данные на модели с целью узнать, какие последствия вызовет то или иное решение. Чтобы облегчить применение моделей, СПР очень часто посвящаются узкой предметной области. Для работы с СПР достаточно владеть графическим интерфейсом и знать область применения;
- экспертные системы (ЭС, или expert system - ES) содержат знания и опыт одного или более специалистов в определённой предметной области. ЭС, кроме базы данных, содержит базу знаний (фактов и правил логического вывода), которая моделирует познания эксперта в какой-то предметной области. Подсистема логического вывода призвана отвечать на вопросы пользователей, а подсистема объяснений предназначена для ответа на вопросы, как был получен тот или иной вывод. Чаще всего такие системы применяются для того, чтобы «расширить»

сферу деятельности ведущих специалистов фирмы или «привлечь» эксперта со стороны;

- системы конечного пользователя (СКП, или end user system - EUS) разрабатываются пользователями, чтобы удовлетворить свои собственные нужды в поиске информации, личной производительности и разработке приложений.

По структуре АИС можно разделить на две части***:*** функциональную и обеспечивающую. Функциональная часть обеспечивает реализацию определённых функций управления. К функциональным подсистемам относятся: техническая подготовка производства; подготовка оперативного управления; подготовка материального снабжения; подготовка сбыта и реализации готовой продукции; подготовка управления кадрами; подготовка управления бухучётом, отдел кадров .Обеспечивающие подсистемы делятся на:

- программное обеспечение,
- информационное обеспечение (совокупность массивов информации, которые записаны на машинные носители, систем кодирования информации первичных и вторичных документов, схем, описаний, технологий обработки данных, инструкций, которые обеспечивают отображение производства и позволяют принимать управленческое решение);
- техническое обеспечение (совокупность технических средств по сбору, регистрации, передачи, обработки информации и технической, документации, позволяющие эксплуатировать эти технические средства);
- организационное обеспечение (совокупность технических документов, регламентирующих функционирование системы в целом, а также поведение человека в рамках этой системы);математическое обеспечение***;***
- лингвистическое обеспечение (использование словарей, определений, позволяющее идентифицировать различные элементы системы).

3 PLM-системы в машиностроении

3.1 Системы САПР: CAD/CAM/CAE

Жизненный цикл промышленных изделий включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до утилизации по окончании срока его использования (рисунок 3).

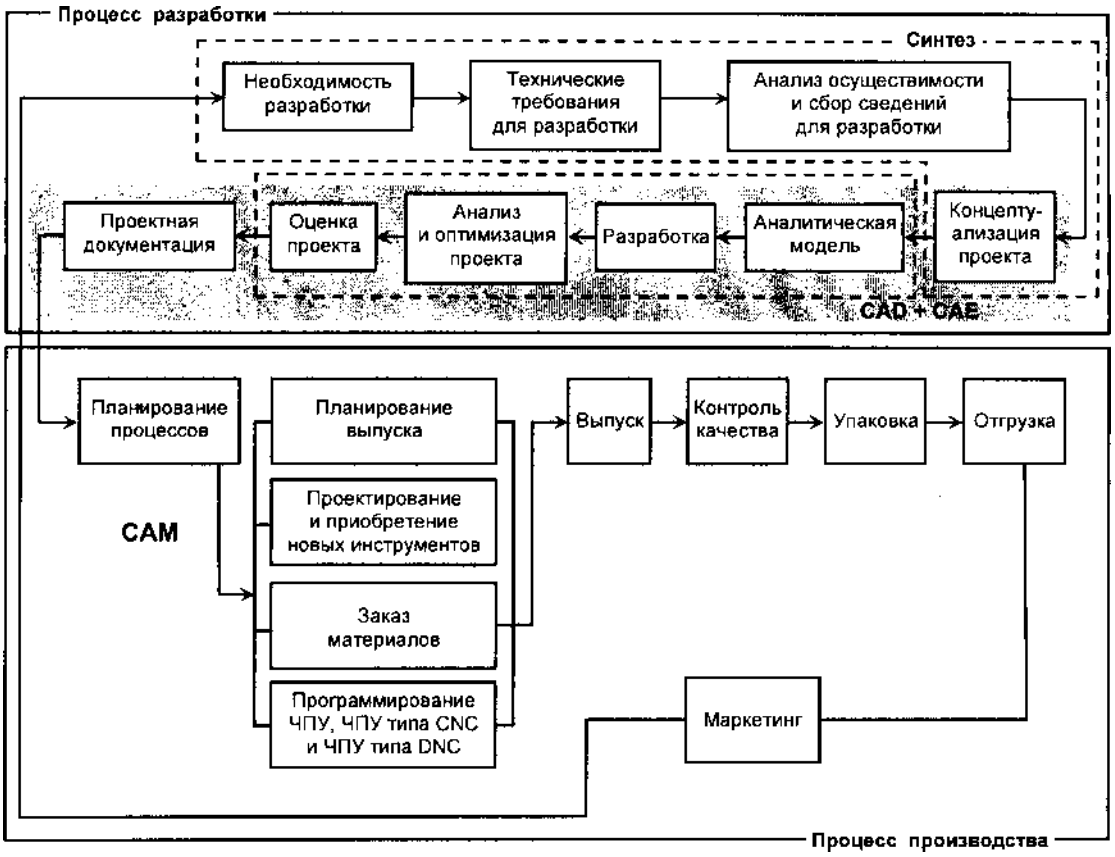


Рисунок 3.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования АИС. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обусловливает разнообразие применяемых АИС. Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР машиностроительных отраслей промышленности системы функционального, конструкторского и технологического проектирования.

Первые из них называют системами расчётов и инженерного анализа или системами CAE (Computer Aided Engineering).

Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design).

Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах CAM (Computer Aided Manufacturing).

Функции координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием возложены на систему управления проектными данными PDM (Product Data Management).

Уже на стадии проектирования требуются услуги системы управления цепочками поставок (SCM - Supply Chain Management), иногда называемой системой Component Supplier Management (CSM). На этапе производства эта система управляет поставками необходимых материалов и комплектующих.

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП). К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning), планирования производства и требований к материалам MRP-2

(Manufacturing Requirement Planning), производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems), а также SCM и система управления взаимоотношениями с заказчиками CRM (Customer Requirement Management).

Структура САПР.

САПР состоит из подсистем, которые делят на проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры (подсистемы геометрического трёхмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации и т.д.).

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения CASE (Computer Aided Software Engineering), обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы - ядра САПР.

По *масштабам* различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (software), но и технического (hardware) обеспечений.

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе MCAD появляются CAE/CAD/CAM-системы.

По *характеру базовой подсистемы* различают следующие разновидности САПР.

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер. В настоящее время широко используют унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра Parasolid фирмы EDS Unigraphics и ACIS фирмы Intergraph).

2. САПР на базе СУБД[5]. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчётах перерабатывается большой объём данных (технико-экономических приложения, например, при проектировании бизнес-планов).

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчёта прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Часто такие САПР относятся к системам CAE. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов, например, CAE/CAD/CAM- системы в машиностроении.

CAD-системы.

Функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на функции двумерного и трёхмерного проектирования. К функциям 2D относят черчение, оформление конструкторской документации; к функциям 3D - получение трёхмерных геометрических

[5] Система управления базами данных

моделей, метрические расчёты, реалистичную визуализацию, взаимное преобразование 2D- и 3D-моделей. В ряде систем предусмотрено также выполнение процедур, называемых процедурами позиционирования, к ним относят компоновку и размещение оборудования, проведение соединительных трасс.

Среди CAD-систем различают системы нижнего (легкие САПР), среднего (средние САПР) и верхнего уровней (тяжелые САПР). Первые из них иногда называют «лёгкими» системами, они ориентированы преимущественно на 2D-графику, сравнительно дёшевы, основной аппаратной платформой для их использования являются персональные ЭВМ. Системы верхнего уровня, называемые также «тяжёлыми», дороги, более универсальны, ориентированы на геометрическое твёрдотельное и поверхностное 3-D-моделирование, оформление чертёжной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трёхмерных геометрических моделей. Системы среднего уровня по своим возможностям занимают промежуточное положение между «лёгкими» и «тяжёлыми» системами.

К важным характеристикам CAD-систем относятся параметризация и ассоциативность. Параметризация подразумевает использование геометрических моделей в параметрической форме, т.е. при представлении части или всех параметров объекта не константами, а переменными. Параметрическая модель, находящаяся в базе данных, легко адаптируется к разным конкретным реализациям и потому может использоваться во многих конкретных проектах. При этом появляется возможность включения параметрической модели детали в модель сборочного узла с автоматическим определением размеров детали, диктуемых пространственными ограничениями. Эти ограничения в виде математических зависимостей между частью параметров сборки отражают ассоциативность моделей. Параметризация и ассоциативность играют важную роль при проектировании конструкций узлов и блоков, состоящих из большого числа деталей. Действительно, изменение размеров одних деталей оказывает влияние на размеры и расположение других. Благодаря параметризации и ассоциативности изменения, сделанные конструктором в одной части сборки, автоматически переносятся в другие части, вызывая изменения соответствующих геометрических параметров в этих частях.

Значительное место в жизненном цикле изделия, а именно его становлении, принадлежит технологии машиностроения, которая включает в себя производство заготовок, изготовление деталей, сборку, контроль и испытание готовых изделий, а также их ремонт и восстановление в процессе эксплуатации.

Причем, чем раньше в этом цикле будут задействованы технологии, тем выше эффективность и конкурентоспособность изделий машиностроения. Еще на предварительной стадии маркетинга и проработки технологи могут оценить конкурентоспособность технологического процесса, для которого предполагается выпуск изделия. Проведение НИР и опытно-конструкторских работ без учета технологических аспектов практически неэффективно, так как себестоимость, а следовательно и конкурентоспособность изделий во многом определяются их технологической себестоимостью.

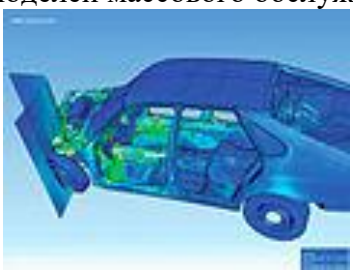
CAM (англ. computer-aided manufacturing или Computer Aided Mechanical Process, «компьютерная помощь в механообработке») — средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивающие автоматизацию программирования и управления оборудования с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем). Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства. Основные функции CAM-систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчёт норм

времени обработки. Геометрическая модель изделия, которая используется в качестве входных данных в системах CAM, и на основе которой в системах CAE формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса создаётся с помощью CAD-средств.

CAPP (англ. computer-aided process planning) — средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM систем. Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными.

Функции CAE-систем (системы автоматизации инженерных расчетов CAE (Computer Aided Engineering, «компьютерная помощь в инженерных расчетах) и трехмерного моделирования» (в том числе геометрического)) довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решении. В состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для выполнения следующих процедур:

- моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего выполняется в соответствии с МКЭ;
- расчёт состояний моделируемых объектов и переходных процессов в них средствами макроуровня;
- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.



Визуализация результатов моделирования столкновения, выполненная в NTNU (Норвежский технологический университет)

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор. Библиотеки конечных элементов содержат их модели - матрицы жёсткости. Очевидно, что модели конечных элементов будут различными для разных задач (анализ упругих или пластических деформаций, моделирование полей температур, электрических потенциалов и т.п.), разных форм конечных элементов (например, в двумерном случае - треугольные или четырёхугольные элементы), разных наборов координатных функций. Исходные данные для препроцессора - геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования. Основная функция препроцессора - представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде, т.е. в виде множества конечных элементов. Решатель - программа, которая ассемблирует (собирает) модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему одним из методов разреженных матриц. Постпроцессор служит для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР - это графическая форма. Пользователь может видеть исходную (до нагружения) и деформированную формы детали, поля напряжений, температур, потенциалов и т.п. в виде цветных изображений, в которых палитра цветов или интенсивность свечения характеризуют значения фазовой переменной.

В состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для следующих процедур: моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности (Nastran, Ansys и др.); расчёт состояний и переходных процессов на

макроуровне (Adams и LS-Dyna); имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Тяжёлые САПР

Это системы, которые, во-первых, обеспечивают весь цикл создания изделия от концептуальной идеи до реализации, а во-вторых, создают проектно-технологическую среду для одновременной работы всех участников создания изделия с единой виртуальной электронной моделью этого изделия. Эти системы применяются для решения наиболее трудоемких задач - моделирования поведения сложных механических систем в реальном масштабе времени, оптимизирующих расчетов с визуализацией результатов, расчетов температурных полей и теплообмена и т.д. Обычно в состав системы входят как чисто графические, так и модули для проведения расчетов и моделирования, постпроцессоры для станков с ЧПУ[6].

Тяжёлые САПР применительны к созданию сложных изделий машиностроения, в основе организации компьютерной технологии лежит создание полного электронного макета изделия, так как именно создание трехмерных электронных моделей, адекватных реально проектируемому изделию, открывает колоссальные возможности для создания более качественной продукции (особенно сложной, наукоемкой продукции) и в более сжатые сроки. В процессе проектирования и производства сложных и многокомпонентных изделий все участвующие в проектировании должны, работая одновременно и наблюдая работу друг друга, могут создавать сразу на компьютерах электронные модели деталей, узлов, агрегатов, систем и всего изделия в целом.

Одновременно решаются задачи концептуального проектирования, всевозможных видов инженерного анализа, моделирования ситуаций, а также компоновки изделия и формирования внешних обводов. Не дожидаясь полного окончания разработки нового изделия, эту информацию используют для технологической подготовки производства и производства как такового. Кроме того, возможно автоматизировано управлять и всеми создаваемыми данными электронной модели (то есть структурой изделия), и самим процессом создания изделия, и к тому же иметь возможность управлять структурой процесса создания изделия.

В настоящее время на рынке осталось в основном три САПР верхнего ценового класса - Unigraphics NX компании EDS, CATIA французской фирмы Dassault Systemes (которая продвигает ее вместе с IBM) и Pro/Engineer от PTC (Parametric Technology Corp.). Все три поставщика предлагают для своих САПР системы управления инженерными данными (PDM), позволяющие управлять всей конструкторско-технологической документацией и предоставлять дополнительные данные, экспортированные из других корпоративных систем.

Примеры тяжелых САПР[7]

1 ANSYS

2 CATIA

3 EUCLID

4 MSC.ADAMS

---

[6] ЧПУ - компьютеризованная система управления, управляющая приводами технологического оборудования, включая станочную оснастку

[7] Системы, которые, во-первых, обеспечивают весь цикл создания изделия от концептуальной идеи до реализации, а во-вторых (и это самое главное), создают проектно-технологическую среду для одновременной работы всех участников создания изделия с единой виртуальной электронной моделью этого изделия.

5 NX Unigraphics

6 Pro/ENGINEER

Система Unigraphics - универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчётов и подготовки конструкторской документации. Система многомодульная. В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твёрдотельного конструирования, геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3D-модели, проектирования сборок (в том числе с сотнями и тысячами компонентов) с учётом ассоциативности, анализа допусков и др. В технологической части (подсистема CAM) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и электроэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента при фрезерной трёх- и пятикоординатной обработке, при проектировании пресс-форм, штампов и др. Для инженерного анализа (подсистема CAE) в систему включены модули прочностного анализа с использованием МКЭ с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений, анализа литьевых процессов пластических масс.

Unigraphics NX – это CAD/CAM/CAE система. Систем твердотельного трехмерного моделирования, базируется на ядре PARASOLID и включает в себя весь комплекс конструкторско-технологических модулей.

Основные особенности системы

- Пакет твердотельного гибридного моделирования с полным набором функций работы с твердым телом, поверхностью или каркасной моделью, основанный на полностью ассоциативном, параметрическом дереве построения.
- Мощные средства визуализации, анимации и построения прототипов.
- Мощные возможности по созданию и управлению крупными сборками, содержащими десятки и сотни тысяч компонентов.
- Модули высокоскоростной технологической обработки для любых типов оборудования.
- Модули инженерного анализа, базирующиеся на встроенных решателях таких пакетов как MSC.Nastran, MSC.Adams, которые позволяют проводить оценку различных сценариев поведения разрабатываемых конструкций, а также исследование таких типов задач как линейная статистика, равновесная теплопередача, потеря устойчивости, анализ собственных частот, кинематический анализ и симуляция практически любого 3-х-мерного механизма и т.д.
- Открытый мощный программный интерфейс с возможностью разрабатывать собственное прикладное программное обеспечение, которое будет полностью интегрировано в Unigraphics NX.
- Эффективный обмен данными с другими системами. Поддержка внешних форматов данных IGES, STEP, DXF и прямых интерфейсов к наиболее известным пакетам.

Другая система верхнего уровня CATIA— система автоматизированного проектирования французской фирмы Dassault Systèmes - позволяет заказчику генерировать собственный вариант САПР сквозного проектирования - от создания концепции изделия до технологической поддержки производства и планирования производственных ресурсов. В системе реализовано поверхностное и твёрдотельное 3D-моделирование и оптимизация характеристик изделий. Возможны фотореалистичная визуализация, восстановление математической модели из материального макета. Система масштабируема. Предлагаются типовые конфигурации, в том числе варианты для полнофункционального сквозного проектирования сложных изделий и проектирования комплектующих на небольших и средних предприятиях.

3D-модель, созданная и визуализированная в CATIA

Средний класс САПР

Средние САПР заняли промежуточное положение между тяжелым и легким классами, унаследовав от первых трехмерные параметрические возможности, а от вторых - невысокую цену и ориентацию на платформу Windows. Важную роль в становлении среднего класса сыграли два ядра твердотельного параметрического моделирования ACIS и Parasolid, которые появились в начале 90-х годов и сейчас используются во многих ведущих САПР. Геометрическое ядро служит для точного математического представления трехмерной формы изделия и управления этой моделью. Полученные с его помощью геометрические данные используются системами CAD, CAM и CAE для разработки конструктивных элементов, сборок и изделий.

В России получили распространение системы компаний Autodesk, Solid Works Corporation, Beantly, Топ Системы, Аскон, Интермех, Bee-Pitron и некоторых других. Все эти системы имеют подсистемы: конструкторско-чертёжную 2D, твёрдотельного 3D-моделирования, технологического проектирования, управления проектными данными, ряд подсистем инженерного анализа и расчёта отдельных видов машиностроительных изделий, а также библиотеки типовых конструктивных решений.

Примеры средних САПР.

Линия современных программных систем конструкторского проектирования фирмы Autodesk включает ряд систем, среди которых наиболее развитыми являются системы AutoCAD Mechanical Desktop и Inventor. Система Inventor предназначена для твердотельного параметрического проектирования, ориентирована на разработку больших сборок с сотнями и тысячами деталей, имеет развитую библиотеку стандартных элементов. В основе системы лежит графическое ядро ACIS. Построение 3D -моделей возможно выдавливанием, вращением, по сечениям, по траекториям. Из 3D-модели можно получить 2D-чертежи и спецификации материалов. Поддерживается коллективная работа над проектом, в том числе в пределах одной и той же сборки. Предусмотрена автоматическая проверка кинематики, размеров детали с учётом положения соседних деталей в сборке. Значительные удобства работы конструкторов обусловлены тем, что ассоциативные связи задаются не путём описания операций с параметрами и уравнений, а непосредственно определением формы и положения компонентов.

В число продуктов Autodesk входит ряд других программ автоматизированного проектирования, в том числе Autodesk Data Exchange - набор конверторов для взаимного преобразования данных из форматов DXF и SAT (формат ядра ACIS) в такие форматы, как STEP, IGES, VDA-FS.

Система твердотельного параметрического моделирования механических конструкций Solid Works (компания Solid Works Corporation) построена на графическом ядре Parasolid, разработанном в Unigraphics Solution. Синтез конструкции начинается с построения опорного тела с помощью операций типа выдавливания, протягивания или вращения контура с последующим добавлением и (или) вычитанием тех или иных тел. Используется технология граничного моделирования (B-representation) с аналитическим или сплайновым описанием поверхностей. При проектировании сборок можно задавать

различные условия взаимного расположения деталей, автоматически контролировать зазоры и отсутствие взаимопересечения деталей. Предусмотрены IGES, DXF, D WG-интерфейсы с другими системами.

Среди САПР среднего уровня, наряду с продуктами зарубежных фирм, неплохо зарекомендовали себя системы отечественных разработчиков - это, прежде всего, системы Компас (компания Аскон) и T-Flex CAD (Топ Системы).

В системе Компас для трёхмерного твердотельного моделирования используется оригинальное графическое ядро. Синтез конструкций выполняется с помощью булевых операций над объёмными примитивами, модели деталей формируются путём выдавливания или вращения контуров, построением по заданным сечениям. Возможно задание зависимостей между параметрами конструкции, расчёт масс-инерционных характеристик. Разработка проектно-конструкторской документации, в том числе различных спецификаций, выполняется подсистемой Компас-График. Имеются библиотеки с данными о типовых деталях и графическими изображениями, а также программы специального назначения (проектирование тел вращения, пружин, металлоконструкций, трубопроводной арматуры, штамповой оснастки, выбора подшипников качения, раскроя листового материала и др.). Проектирование технологических процессов выполняется с помощью подсистемы Компас-Автопроект; программирование объёмной обработки на станках с ЧПУ - с помощью подсистемы ГЕММА-3. Ряд необходимых функций управления проектными данными возложено на подсистему Компас-Менеджер.

САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ компании Аскон - это система автоматизации технологической подготовки производства ВЕРТИКАЛЬ (язык интерфейса: только русский). Система ВЕРТИКАЛЬ предназначена для инженеров-технологов.

Функциональные возможности:

- для технологов:

- Конструкторская и технологическая информация — в окне одной программы.
- Использование библиотеки часто повторяемых технологических решений.
- Автоматизированное проектирование техпроцессов с использованием Библиотеки конструкторско-технологических элементов (КТЭ).
- Быстрый поиск необходимой информации, автоматический подбор данных при проектировании ТП.
- Навигация по тексту технологии с использованием 3D-модели или чертежа. Тесная связь конструкторских и технологических данных.
- Автоматизированный расчет временных и материальных затрат.

- для главных технологов:

- Возможность хранения технологических процессов как локально, так и в среде любой PDM-системы.
- Возможность использования любых существующих на предприятии технологических баз данных.
- Различные механизмы быстрого доступа к необходимой информации, проверка и утверждение ТП за считанные минуты.
- Возможность накапливать и использовать технологический опыт при работе в системе.
- Различные варианты защиты информации. Разграничение прав доступа.
- Модули расчета временных и материальных затрат.

- для IT-директоров

- Новый компонент единого информационного пространства предприятия.
- Тесная интеграция с КОМПАС-3D, ЛОЦМАН:PLM.
- Возможность интеграции справочников системы ВЕРТИКАЛЬ с любыми PDM-, ERP-, CAD-, CAM-системами.
- Объектные модели данных.

- Работа системы с СУБД FireBird, Microsoft SQL Server, Oracle.
- Гибкость системы, развитые средства администрирования.

- для разработчиков ПО

САПР ТП "ВЕРТИКАЛЬ" работает только с операционными системами: - Windows 2000 Service Pack 1a и выше, - Windows XP.

САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ позволяет:

- проектировать технологические процессы в нескольких автоматизированных режимах;
- рассчитывать материальные и трудовые затраты на производство;
- рассчитывать режимы резания, сварки и другие технологические параметры;
- автоматически формировать все необходимые комплекты технологической документации в соответствии с ГОСТ РФ и стандартами, используемыми на предприятии (требуется дополнительная настройка);
- вести параллельное проектирование сложных и сквозных техпроцессов группой технологов, в реальном режиме времени;
- осуществлять проверку данных в техпроцессе (на актуальность справочных данных, а также нормоконтроль);
- формировать заказы на проектирование специальных средств технологического оснащения и создание управляющих программ;
- поддерживать актуальность технологической информации с помощью процессов управления изменениями;
- поддерживать процесс построения на предприятии единого информационного пространства для управления жизненным циклом изделия от разработки до утилизации.

Универсальный технологический справочник, входящий в САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, предоставляет пользователям всю необходимую справочную информацию, а также позволяет организовать и развивать базы данных предприятия.

Интеграция ВЕРТИКАЛЬ с ЛОЦМАН:PLM, КОМПАС-3D и другими автоматизированными системами АСКОН решает задачи создания единой электронной среды для совместной разработки изделия, подготовки производства. В результате электронное описание изделия содержит полную информацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла изделия. На этапе подготовки производства обеспечивается накопление данных о результатах конструкторско-технологического проектирования и обмен информацией между инженерными службами.

САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ поддерживает все бизнес-процессы электронного инженерного документооборота, в том числе управление технологическими изменениями и заказ на разработку специальных средств технологического оснащения и управляющих программ для станков с ЧПУ. В системе применен качественно новый интеллектуальный подход к организации данных о технологических процессах, основанный на объектной модели представления и обработки информации. В САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ реализованы новейшие объектно-ориентированные методы организации технологических баз данных, COM-технологии, современные интерфейсные решения, открытая архитектура, основанная на компонентах ActiveX.

Подсистема трёхмерного твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D в САПР T-Flex CAD построена на базе ядра Parasolid. Реализована двунаправленная ассоциативность, т.е. изменение параметров чертежа автоматически вызывает изменение параметров модели и наоборот. При проектировании сборок изменение размеров или положения одной детали ведёт к корректировке положения других. Модель 3D может быть получена непосредственно по имеющемуся чертежу, или с помощью булевых

операций, или путём выталкивания, протягивания, вращения профиля, лофтинга[8] и т.п. Предусмотрен расчёт масс-инерционных параметров. В то же время можно по видам и разрезам трёхмерной модели получить чертёж, для чего используется подсистема T-Flex CAD 3D SE. Для параметрического проектирования и оформления конструкторско-технологической документации служит подсистема T-Flex CAD 2D, для управления проектами и документооборотом - подсистема T-Flex DOCs. В подсистеме технологического проектирования T-Flex/TexHoIIpo выполняются синтез технологических процессов, расчёт технологических размеров, выбор режущего и вспомогательного инструмента, формирование технологической документации, в том числе операционных и маршрутных технологических карт, ведомостей оснастки и материалов, карт контроля. Подготовка программ для станков с ЧПУ осуществляется в подсистеме T-Flex ЧПУ. Кроме названных основных подсистем в состав T-Flex CAD включён ряд программ для инженерных расчётов деталей, проектирования штампов и пресс-форм.

Легкие САПР.

Программы этого вида служат для двумерного черчения и обычно их называют электронной чертежной доской. В настоящее время они пополнились некоторыми трехмерными возможностями, но не имеют средств параметрического моделирования, которыми обладают тяжелые и средние САПР. Эти САПР служат для выполнения почти всех работ с двумерными чертежами и имеют ограниченный набор функций по трехмерному моделированию. С помощью этих систем выполняются порядка 90% всех работ по проектированию. Область их работы — создание чертежей отдельных деталей и сборок.

Первая чертежная система Sketchpad была создана еще в начале 50-х годах, а затем появилось немало других продуктов такого рода, использующих достижения компьютерной графики. Однако подлинный расцвет в этой области наступил лишь в 80-е годы с появлением персональных компьютеров.

Первым в этой области стала компания Autodesk, которая в 1984 г. выпустила САПР для ПК под названием AutoCAD. Сейчас существует множество других «легких» САПР, включая DataCAD одноименной компании, TurboCAD фирмы IMSI, SurfCAM от Surfware и другие.

САПР «тяжелого» уровня не оптимальны для выпуска и корректировки конструкторской документации, которая по-прежнему составляет максимальную долю затрат на проектирование изделия. По мнению экспертов, количество рабочих мест таких САПР должно составлять приблизительно 5-10% от общего количества рабочих мест. Эта цифра подтверждается примерами наиболее успешных внедрений САПР на отечественных предприятиях, например, в САПР ЦКБ МТ «Рубин».

Поэтому в САПР крупных предприятий обычно используют программы разных уровней. Связано это с тем, что более 80% всех процедур конструирования можно выполнить на CAD-системах нижнего и среднего уровней, кроме того, «тяжёлые» системы дороги. Поэтому предприятие приобретает лишь ограниченное число экземпляров (лицензий) программы верхнего уровня, а большинство клиентских рабочих мест обеспечивается экземплярами программ нижнего или среднего уровней.

3.2 Системы PDM

---

[8] Loft-объекты строятся путем формирования оболочки по опорным сечениям, расставляемым вдоль некоторой заданной траектории. Оболочка как бы натягивается на сечения вдоль указанного пути, а в результате получается трехмерная модель

PDM-система (англ. *Product Data Management* — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии, или система управления проектными данными, или единая система документооборота. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолёты и ракеты, компьютерные сети и др.). PDM-системы, задачей которых является предоставление нужных данных в нужное время и в нужной форме в соответствии с правами доступа, являются неотъемлемой частью и играют ключевую роль в PLM-системах (рисунок 4).

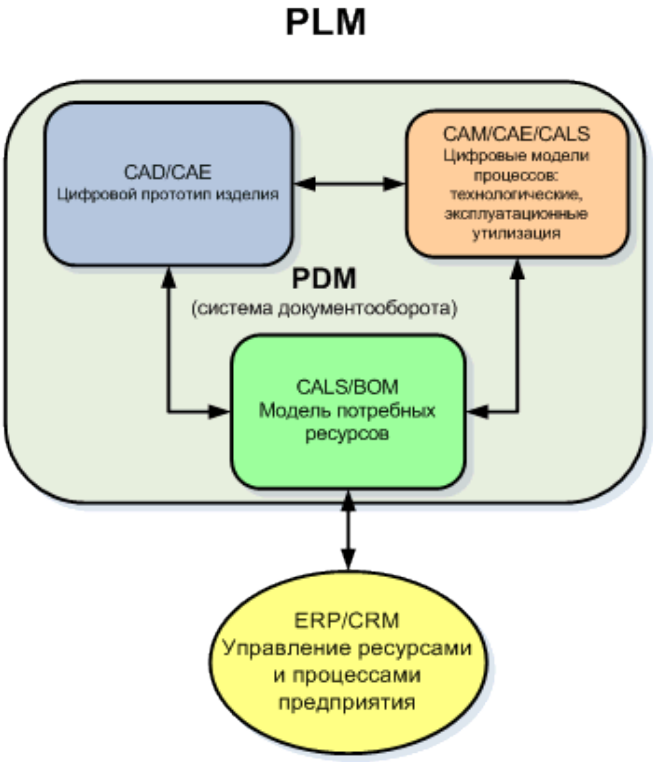


Рисунок 4

В PDM-системах обобщены такие технологии, как:

- управление инженерными данными (engineering data management — EDM);
- управление документами;
- управление информацией об изделии (product information management — PIM) ;
- управление техническими данными (technical data management — TDM) ;
- управление технической информацией (technical information management —TIM);
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

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.

Основными функциями PDM-системы являются:

- хранение данных и документов (включая изменения) и обеспечение быстрого доступа к ним;
- электронный документооборот (управление процессами проектирования);

- управление структурой изделия, включая управление конфигурацией;
- ведение классификаторов и справочников.

Наиболее типичные задачи, решаемые при помощи PDM-систем:

- ведение электронного архива документации (конструкторской, технологической, организационно-распорядительной, проектной, нормативно-технической);
- ведение электронного документооборота (согласование данных и документов, контроль исполнения);
- управление разработкой данных и документации (совместная работа в рабочей группе, управление составами и конфигурацией изделий);
- компьютерная система менеджмента качества;
- электронные справочники (материалы, ПКИ, стандартные изделия и т.д.).

С помощью PDM-систем осуществляется отслеживание больших массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий. Такие данные, относящиеся к одному изделию и организованные PDM-системой, называются цифровым макетом. PDM-системы интегрируют информацию любых форматов и типов, предоставляя её пользователям уже в структурированном виде (при этом структуризация привязана к особенностям современного промышленного производства).

PDM-системы работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями и данными, необходимыми для функционирования автоматических линий, станков с ЧПУ и др, причём доступ к таким данным осуществляется непосредственно из PDM-системы.

С помощью PDM-систем можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых систем, маршрутах прохождения изделий, частях или деталях, а также составлять списки материалов. Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственной или конструкторской системы из одной и той же БД. Одной из целей PDM-систем и является обеспечение возможности групповой работы над проектом, то есть, просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия.

Пример PDM-системы SEARCH представлен на рисунке 5.

ПРИМЕР. Система Team PDM - SmarTeam (фирма IBM)

Система Team PDM - SmarTeam по своей функциональности может быть отнесена к классу CPC с развитой функциональностью, а также рассматриваться как CPD система начального уровня. PDM-система SmarTeam представляет собой быстро внедряемую, масштабируемую, настраиваемую на информационную модель и бизнес–процессы конкретного предприятия систему, относящуюся к классам:

– CPC/CPD (Collaborative Product Commerce/ Collaborative Product Development) – совместная разработка, производство и поставка продукции, техническое обслуживание операционное обслуживание;

– PDM (Product Data Management) – управление данными о продукции, корпоративными данными и бизнес – процессами.

Рисунок 5

Объединение функций PDM, CPC и CPD обеспечивает работу в среде расширенного предприятия. Используя другую терминологию, можно сказать, что SmarTeam принадлежит к классу систем cPDm, т. е. таких PDM, которые наряду с обеспечением управлением данными о продукции и бизнес-процессами на протяжении всего жизненного цикла изделия, также обладают развитыми средствами для обмена информацией со смежниками, заказчиками и поставщиками.

Наиболее развитыми PDM-функциями системы SmarTeam по сравнению с другими системами класса PDM являются:

– Управление документооборотом (TDM);

–·Управление инженерными изменениями (ECO);

–·Управление бизнес-процессами (Workflow);

–·Интеграция с различными CAD-системами.

Особенность SmarTeam состоит в том, что обеспечивается обмен данными как с партнёрами, имеющими системы управления данными о продукции или другие информационные системы, так и с партнёрами, не имеющими подобных систем. В последнем случае используется специальный компонент системы SmarTeam, с помощью которого производится выборка всего или части состава изделия и создается исполняемый модуль. Этот файл передаётся партнёру любым доступным способом, например, по электронной почте или на дискете. Партнёр выполняет этот модуль на ПК и в диалоговом режиме вносит изменения в полученный состав изделия, после чего возвращает модуль-файл отправителю.

Средства разграничения доступа и защиты от несанкционированного доступа обеспечивают предоставление группам пользователей и отдельным пользователям прав на использование только необходимых элементов системы как в смысле ограничения доступа к информации, так и к функциям системы.

Система обеспечивает работу более чем со 150 форматами данных и имеет средства интеграции с наиболее распространенными CAD-системами, а также с MS Office.

3.3. Системы ERP, MRP

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП). К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием (или планирование ресурсов предприятия) ERP (Enterprise Resource Planning), планирования производства и требований к материалам MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning), производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems), а также система управления цепями поставок (supply chain management) SCM и система управления взаимоотношениями с заказчиками CRM (Customer Requirement Management).

ERP — это организационная стратегия интеграции производства и операций, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, ориентированная на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, обеспечивающего общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности. ERP-система — конкретный программный пакет, реализующий стратегию ERP.

В качестве характеристической особенности ERP-стратегии отмечается принципиальный подход к использованию единой транзакционной системы для подавляющего большинства операций и бизнес-процессов организации, вне зависимости от функциональной и территориальной разобщённости мест их возникновения и прохождения, обязательность сведéния всех операций в единую базу для последующей обработки и получения в реальном времени сбалансированных планов. Тиражируемость, то есть возможность применить один и тот же программный пакет для разных организаций (возможно, с разными настройками и расширениями), фигурирует как одно из обязательных условий ERP-системы.

Применимость в различных отраслях накладывает на ERP-системы, с одной стороны, требования к универсальности, с другой стороны — поддержку расширяемости отраслевой спецификой. Основные крупные системы включают готовые специализированные модули и расширения для различных отраслей (известны специализированные решения в рамках ERP-систем для машиностроительных и обрабатывающих производств, предприятий добывающей промышленности, сферы образования и других отраслей).

Модульный принцип организации позволяет внедрять ERP-системы поэтапно, переводя в эксплуатацию один или несколько функциональных модулей на каждом этапе, а также выбирать только те из них, которые актуальны для организации. Кроме того, модульность ERP-систем позволяет строить решения на основе нескольких ERP-систем, выбирая из каждой лучшие в своём классе модули. Разбивка по модулям и их группировка различная, но у большинства основных поставщиков выделяются группы модулей: финансы, персонал, операции.

Модули операционного блока покрывают деятельность организации по созданию продуктов и услуг и необходимые функции по обеспечению этих процессов. Если кадровые и финансовые модули достаточно универсальны для различных организаций, то многие операционные модули более специфичны для различных отраслей, так как подходы к преобразованию ресурсов в разных отраслях существенно отличаются.

Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством,

учётом основных фондов и т.п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством, а системы MES - на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

MRP (*Material Requirements Planning* — планирование потребности в материалах) — система планирования потребностей в материалах, одна из наиболее популярных в мире логистических концепций, на основе которой разработано и функционирует большое число микрологистических систем. На концепции MRP базируется построение логистических систем «толкающего типа»[9]. В России, как правило, представлена различными программными продуктами иностранного производства.

MRP-система применяется при работе с материалами, компонентами, полуфабрикатами и их частями, спрос на который зависит от спроса на специфическую готовую продукцию, то есть спрос на исходные материальные ресурсы сильно зависит от спроса потребителей на конечную продукцию. Также MRP-система может работать с широкой номенклатурой[10] материальных ресурсов.

Обычная практика использования MRP в бизнесе связана с планированием и контролем процедур заказа и снабжения (закупок) материальных ресурсов, как правило, большой номенклатуры, для промышленных предприятий по изготовлению машиностроительной продукции.

Основные цели MRP

- удовлетворение потребности в материалах, компонентах и продукции для планирования производства и доставки потребителям;
- поддержка низких уровней запасов;
- планирование производственных операций, расписаний доставки, закупочных операций.

Система MRP позволяет определить сколько и в какие сроки необходимо произвести конечной продукции. Затем система определяет время и необходимые количества материальных ресурсов для удовлетворения потребностей производственного расписания.

Спецификация (bill of material) представляет собой перечень компонентов и материалов, необходимых для производства готового изделия, с указанием количества и планового времени производства или поставки. Таким образом, готовая продукция описывается вплоть до материалов и компонентов. С учетом спецификаций рассчитываются полные потребности в компонентах. Эти компоненты должны быть готовы к моменту начала «родительского» узла. Алгоритм MRP обрабатывает спецификацию в том же порядке, в каком следуют уровни дерева состава изделия, а на основании главного производственного расписания рассчитываются полные потребности в единицах готовой продукции.

---

[9] Для микрологистической системы "толкающего" типа характерны производство деталей, компонентов, полуфабрикатов и сборка из них готовой продукции в соответствии с жестко заданным производственным расписанием. Это система организации производства, в которой предметы труда, поступающие на производственный участок, непосредственно этим участком у предыдущего технологического звена не заказываются. Материальный поток как бы выталкивается получателю по команде, поступающей на передающее звено из центральной системы управления производством.

[10] Номенклатура — совокупность названий, употребляемых в какой-либо отрасли науки, производства и т. д. для обозначения объектов.

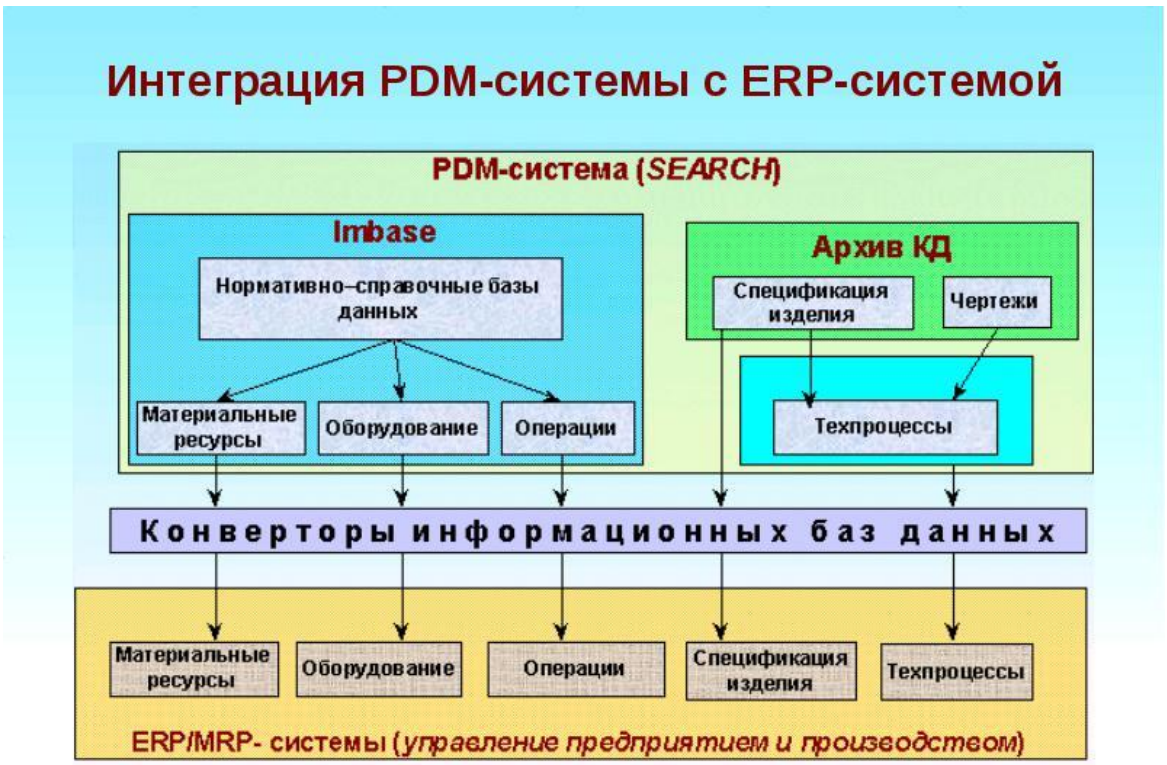


Рисунок 6

MES (*Manufacturing Execution System*, система управления производственными процессами) —. MES-системы относятся к классу систем управления уровня цеха.

Положения работы MES- включают в себя:

1. Активация производственных мощностей на основе детального пооперационного планирования производства.
2. Отслеживание производственных мощностей.
3. Сбор информации, связанной с производством от
    1. Систем автоматизации производственного процесса.
    2. Датчиков.
    3. Оборудования.
    4. Персонала.
    5. Программных систем.
4. Отслеживание и контроль параметров качества.
5. Обеспечение персонала и оборудования информацией, необходимой для начала процесса производства.
6. Установление связей между персоналом и оборудованием в рамках производства
7. Установление связей между производством и поставщиками, потребителями, инженерным отделом, отделом продаж и менеджментом.
8. Реагирование на
    1. Требования по номенклатуре производства.
    2. Изменение компонентов, сырья и полуфабрикатов, применяемых в процессе производства.
    3. Изменение спецификации продуктов.
    4. Доступность персонала и производственных мощностей.
9. Гарантирование соответствия применимым юридическим актам.
10. Соответствие вышеперечисленным индустриальным стандартам.

Функции MES-11

1. RAS (*Resource Allocation and Status*) — Контроль состояния и распределение ресурсов. Управление ресурсами: технологическим оборудованием, материалами, персоналом, обучением персонала, а также другими объектами, такими как документы, которые должны быть в наличии для начала производственной деятельности. Обеспечивает детальную историю ресурсов и гарантирует, что оборудование соответствующим образом подготовлено для работы. Контролирует состояние ресурсов в реальном времени. Управление ресурсами включает резервирование и диспетчеризацию, с целью достижения целей оперативного планирования.
2. ODS (*Operations/Detail Scheduling*) — Оперативное/Детальное планирование. Обеспечивает упорядочение производственных заданий, основанное на очередности, атрибутах, характеристиках и рецептах, связанных со спецификой изделий таких как: форма, последовательность операций и др. и технологией производства. Цель — составить производственное расписание с минимальными перенастройками оборудования и параллельной работой производственных мощностей для уменьшения времени получения готового продукта и времени простоя.
3. DPU (*Dispatching Production Units*) — Диспетчеризация производства. Управляет потоком единиц продукции в виде заданий, заказов, серий, партий и заказ-нарядов. Диспетчерская информация представляется в той последовательности, в которой работа должна быть выполнена, и изменяется в реальном времени по мере возникновения событий на цеховом уровне. Это дает возможность изменения заданного календарного плана на уровне производственных цехов. Включает функции устранения брака и переработки отходов, наряду с возможностью контроля трудозатрат в каждой точке процесса с буферизацией данных.
4. DOC (*Document Control*) — Управление документами. Контролирует содержание и прохождение документов, которые должны сопровождать выпускаемое изделие, включая инструкции и нормативы работ, способы выполнения, чертежи, процедуры стандартных операций, программы обработки деталей, записи партий продукции, сообщения о технических изменениях, передачу информации от смены к смене, а также обеспечивает возможность вести плановую и отчётную цеховую документацию. Также включает инструкции по безопасности, контроль защиты окружающей среды, государственные и необходимые международные стандарты. Хранит историю прохождения и изменения документов.
5. DCA (*Data Collection/Acquisition*) — Сбор и хранение данных. Взаимодействие информационных подсистем в целях получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде предприятия. Функция обеспечивает интерфейс для получения данных и параметров технологических операций, которые используются в формах и документах, прикрепляемых к единице продукции. Данные могут быть получены с цехового уровня как вручную, так и автоматически от оборудования, в требуемом масштабе времени.
6. LM (*Labor Management*) — Управление персоналом. Обеспечивает получение информации о состоянии персонала и управление им в требуемом масштабе времени. Включает отчетность по присутствию и рабочему времени, отслеживание сертификации, возможность отслеживания непроизводственной деятельности, такой, как подготовка материалов или инструментальные работы, в качестве основы для учета затрат по видам деятельности. Возможно взаимодействие с функцией распределения ресурсов, для формирования оптимальных заданий.
7. QM (*Quality Management*) — Управление качеством. Обеспечивает анализ в реальном времени измеряемых показателей, полученных от производства, для гарантированно правильного управления качеством продукции и определения

проблем, требующих вмешательства обслуживающего персонала. Данная функция формирует рекомендации по устранению проблем, определяет причины брака путём анализа взаимосвязи симптомов, действий персонала и результатов этих действий. Может также отслеживать выполнение процедур статистического управления процессом и статистического управления качеством продукции (SPC/SQC), а также управлять выполнением лабораторных исследований параметров продукции. Для этого в состав MES добавляются лабораторные информационно-управляющие системы (LIMS).

8. PM (*Process Management*) — Управление производственными процессами. Отслеживает производственный процесс и либо корректирует автоматически, либо обеспечивает поддержку принятия решений оператором для выполнения корректирующих действий и усовершенствования производственной деятельности. Эта деятельность может быть как внутриоперационной и направленной исключительно на отслеживаемые и управляемые машины и оборудование, так и межоперационной, отслеживающей ход процесса от одной операции к другой. Она может включать управление тревогами для обеспечения гарантированного уведомления персонала об изменениях в процессе, выходящих за приемлемые пределы устойчивости. Она обеспечивает взаимодействие между интеллектуальным оборудованием и MES, возможное благодаря функции сбора и хранения данных.
9. MM (*Maintenance Management*) — Управление техобслуживанием и ремонтом. Отслеживает и управляет обслуживанием оборудования и инструментов. Обеспечивает их работоспособность. Обеспечивает планирование периодического и предупредительного ремонтов, ремонта по состоянию. Накапливает и хранит историю произошедших событий (отказы, уменьшение производительности и др.) для использования в диагностировании возникших и предупреждения возможных проблем.
10. PTG (*Product Tracking and Genealogy*) — Отслеживание и генеалогия продукции. Обеспечивает возможность получения информации о состоянии и местоположении заказа в каждый момент времени. Информация о состоянии может включать данные о том, кто выполняет задачу, компонентах, материалах и их поставщиках, номере лота, серийном номере, текущих условиях производства, а также любые тревоги, данные о повторной обработке и другие события, относящиеся к продукту. Функция отслеживания в реальном времени создает также архивную запись. Эта запись обеспечивает отслеживаемость компонентов и их использование в каждом конечном продукте.
11. PA (*Performance Analysis*) — Анализ производительности. Обеспечивает формирование отчетов о фактических результатах производственной деятельности, сравнение их с историческими данными и ожидаемым коммерческим результатом. Результаты производственной деятельности включают такие показатели, как коэффициент использования ресурсов, доступность ресурсов, время цикла для единицы продукции, соответствие плану и соответствие стандартам функционирования. Может включать статистический контроль качества процессов и продукции (SPC/SQC). Систематизирует информацию, полученную от разных функций, измеряющих производственные параметры. Эти результаты могут быть подготовлены в форме отчета или представлены в реальном времени в виде текущей оценки эксплуатационных показателей.

По состоянию на 2004 год, функции, относящиеся к составлению производственных расписаний (ODS), управлению ТО и ремонтами (MM), а также цеховому документообороту (DOC) — функции, востребованные в дискретных производствах — были исключены из базовой модели MESA-11 применительно к процессным производствам, но они используются в других информационных системах.

Модель Collaborative Manufacturing Execution System (c-MES) дает возможность получить полную картину происходящего, необходимую для принятия решений. В частности, при управлении цепочками поставок и принятии решений c-MES предоставляет информацию о возможностях производства («что»), производительности («сколько»), расписании («когда») и качестве («доступный уровень»).

В зависимости от характера, масштаба и особенностей производственных структур и самих систем, существуют различные комбинации сочетаний корпоративных систем ERP, APS[11] и MES в общей структуре системы управления предприятием. Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством. В некоторых случаях системы SCM и MRP-2 входят как подсистемы в ERP, в последнее время их чаще рассматривают как самостоятельные системы. Промежуточное положение между АСУП и АСУТП занимает производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems), предназначенная для решения оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом. В состав АСУТП входит система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), выполняющая диспетчерские функции (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и помогающая разрабатывать ПО для встроенного оборудования. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC (Computer Numerical Control) на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Системы CNC называют также встроенными компьютерными системами.

4 Элементы управления качеством технологического процесса при помощи компьютерных технологий

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Практически любой технологический процесс можно рассматривать как часть более сложного процесса и совокупность менее сложных (в пределе — элементарных) технологических процессов. Элементарным технологическим процессом или технологической операцией называется наименьшая часть технологического процесса, обладающая всеми его свойствами. То есть это такой ТП, дальнейшая декомпозиция которого приводит к потере признаков, характерных для метода, положенного в основу данной технологии.

Любой технологический процесс создается для того, чтобы обеспечить заданное качество продукции и производительность труда, а также стабильность качества во времени, необходимом для выпуска продукции в требуемом объеме. Таким образом, двумя основными составляющими надежности технологического процесса вибрационной обработки являются обеспечение заданного уровня качества обрабатываемых деталей и стабильность результата обработки во времени. С другой стороны ограничивающими параметрами являются технико-экономические показатели процесса: трудоемкость операции и себестоимость обработки.

Технологическая система и пространство ее состояний

---

[11] APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) - «оптимизированное производственное планирование» - непосредственный инструмент планирования работ на предприятии

Для описания изменяющейся во времени технологической системы должны быть заданы начальные условия, образующие r- мерный вектор, который полностью определяет состояние системы в начальный момент времени t_0. Изменяясь во времени, этот вектор дает полное описание системы. Предполагается, что все входные и возмущающие воздействия известны с момента t_0 и далее. Такой вектор η, называется вектором состояния системы, а его компоненты – переменными состояния. Уравнение, описывающее эволюцию во времени вектора состояния, является уравнением состояния динамической системы. Множество допустимых векторов состояния системы образует пространство состояний. Его размерность равна числу переменных состояния системы, точнее – числу переменных состояния, учитываемых принятой моделью.

В *управляемую технологическую систему* входит управляемый технологический процесс, преобразующий с помощью оператора A(Θ) векторы *управляющих* u, *идентифицирующих воздействий a* и вектор *шума w* в вектор *состояния системы* η.

Измерительное устройство контролирует переменные состояния и выдает информацию о *векторе отклика системы y*. Система оценивания состояния по зашумленным наблюдениям и по модели процесса строит наилучшую в некотором смысле оценку состояния – вектор ή. Управляющее устройство формирует управляющие воздействия u, используя для этого текущие оценки состояния ή. Система идентификации по результатам обработки измерений *y* восста авливает параметры модели процесса Θ, при этом может оказаться необходимым подавать на вход объекта специально создаваемые идентифицирующие воздействия. На практике в состав управляемой технологической системы могут входить не все, а лишь некоторые компоненты.

4.1 Управление надежностью технологического процесса с помощью статистического анализа

Надёжность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Иначе говоря, надёжность объекта заключается в отсутствии непредвиденных недопустимых изменений его качества в процессе эксплуатации и хранения. При обеспечении надежности технологического процесса имеются отличительные особенности в показателях, характеризующих надежность, и в задачах обеспечения надежности.

Каким образом обеспечивается надежность технологического процесса? В первую очередь необходимо обеспечить требуемый уровень качества выпускаемого изделия (показатели качества должны находиться в пределах допуска). Это осуществляется за счет выбора оборудования требуемой точности и жесткости, инструмента соответствующей геометрии и материала режущей части, режимов обработки, выбора соответствующего состава и скорости подачи СОТС[12] и др. Но этого недостаточно, необходимо также обеспечить стабильность во времени этих показателей (то есть значения показателей качества в процессе изготовления партии изделий не должны выходить за пределы допустимых значений), только тогда можно говорить о надежности технологического процесса изготовления изделия.

Для того, чтобы не допустить появления брака, необходимо контролировать некоторые параметры процесса (критерии оценки надежности процесса или качества изделий в партии) и при необходимости влиять на параметры процесса с целью его регулирования, управления технологическим процессом.

---

[12] Смазочно-охлаждающая технологическая среда

Контроль параметров процесса может выполняться по генеральной совокупности (если изготавливается небольшая партия изделий или выход параметра качества за пределы допуска недопустим (например, из условий безопасности эксплуатации изделия или в связи с большими материальными потерями при некачественном изготовлении изделия)), а может осуществляться на основе некоторого количества изделий из партии, взятых из партии подряд или случайным образом (выборки).

Выборка или *выборочная совокупность* — множество случаев (испытуемых, объектов, событий, образцов), с помощью определённой процедуры выбранных из генеральной совокупности[13] для участия в исследовании.

Характеристики выборки:

- Качественная характеристика выборки – что именно мы выбираем и какие способы построения выборки мы для этого используем.
- Количественная характеристика выборки – сколько случаев выбираем, другими словами объём выборки.

Объём выборки — число случаев, включённых в выборочную совокупность. Объем выборки определяется несколькими факторами, но в первую очередь значимостью фактора, его влиянием на экономические характеристики изделия (вероятные потери) и условия безопасности. Также имеет значение размер генеральной совокупности, надежность технологического оборудования и оснастки и др. В ряде случает размер выборки определяется нормативными материалами.

При сравнении двух (и более) выборок важным параметром является их зависимость. Если можно установить гомоморфную пару (то есть, когда одному случаю из выборки X соответствует один и только один случай из выборки Y и наоборот) для каждого случая в двух выборках (и это основание взаимосвязи является важным для измеряемого на выборках признака), такие выборки называются зависимыми. Примеры зависимых выборок (например, два измерения какого-либо признака до и после экспериментального воздействия). В случае, если такая взаимосвязь между выборками отсутствует, то эти выборки считаются независимыми. Соответственно, зависимые выборки всегда имеют одинаковый объём, а объём независимых может отличаться.

Сравнение выборок производится с помощью различных статистических критериев:

- t-критерий Стьюдента[14]
- U-критерий Манна-Уитни[15] и др.

Выборка может рассматриваться в качестве репрезентативной[16] или нерепрезентативной.

---

[13] Генеральная совокупность, генеральная выборка — совокупность всех объектов (единиц), относительно которых учёный намерен делать выводы при изучении конкретной проблемы. Генеральная совокупность состоит из всех объектов, которые подлежат изучению. Состав генеральной совокупности зависит от целей исследования.

[14] t-критерий Стьюдента — общее название для класса методов статистической проверки гипотез (статистических критериев), основанных на распределении Стьюдента. Наиболее частые случаи применения t-критерия связаны с проверкой равенства средних значений в двух выборках. Распределение Стьюдента в теории вероятностей — это однопараметрическое семейство абсолютно непрерывных распределений.

[15] U-критерий Манна — Уитни — статистический критерий, используемый для оценки различий между двумя независимыми выборками по уровню какого-либо признака, измеренного количественно.

[16] Репрезентативность можно определить как свойство выборочной совокупности представлять параметры генеральной совокупности, значимые с точки зрения задач исследования

Наиболее часто применяются вероятностные выборки, например, простая вероятностная выборка. Использование такой выборки основывается на предположении, что каждый элемент с равной долей вероятности может попасть в выборку (например обработанные детали, взятые из тары в случайном порядке с целью определения качества обработки). Результаты исследования можно распространять на изучаемую совокупность. Большинство подходов к получению статистических выводов предусматривают сбор информации с помощью простой случайной выборки.

Однако результаты применения простой случайной выборки могут характеризоваться низкой точностью и большей стандартной ошибкой, чем результаты применения других вероятностных методов при неправильном определении объема выборки (вероятность этого особенно велика при небольшом объеме выборки).

Систематическая вероятностная выборка является вариантом простой вероятностной выборки. Из генеральной совокупности через определённый интервал t или подряд отбираются элементы (например, при контроле стабильности технологического процесса). Величина t определяется задачами исследования. Наиболее достоверный результат достигается при однородной генеральной совокупности, иначе возможны совпадение величины шага и каких-то внутренних циклических закономерностей выборки (смешение выборки).

Для определения необходимой численности выборки исследователь должен знать уровень точности выборочной совокупности с определенной вероятностью. В общем случае необходимая численность выборки прямо пропорциональна дисперсии признака и квадрату коэффициента доверия t. При проведении статистического контроля объем выборки определяется состоянием и характеристиками оборудования, на котором выполняются финишные операции обработки наиболее точных и ответственных операций, и применяемым инструментом и оснасткой. При отсутствии таких данных или их непостоянстве применяются специальные таблицы для определения объема выборки в зависимости от критичности дефекта и объема партии изготавливаемых изделий (генеральной совокупности).

Выборка из совокупности как источник получения числовых оценок

В процессе идентификации моделей, например, технологической системы (ТС), возникает необходимость экспериментального определения величин входных воздействий (сил, режимов и т.п.) и параметров состояния ТС (размерная точность, стабильность и др.). При этом экспериментально определяемые величины, как правило, зашумлены погрешностями того или иного происхождения.

Обычно применяются некоторые допущения относительно выборки (в зависимости от задачи). Часто применяется допущение об однородности выборки, состоящее в том, что она получена из одной совокупности. Кроме того, нежелательно, чтобы выборка содержала систематические ошибки.

С помощью выборочных измерений определяются (или вычисляются) некоторые статистические показатели. Они используются как основа для выводов относительно количественных характеристик исходной совокупности, из которой взята выборка.

Числовые характеристики выборок. Характеристики положения.

- среднее арифметическое (среднее) значение: $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{1}^{n} x_i$,
- медиана – то значение x, которое делит пополам площадь построенной по данным выборки гистограммы или полигона
- мода – наиболее часто встречающееся в выборке значение x
- среднее геометрическое значение: $\bar{x} = \left(\prod_{i=1}^{n} x_i \right)^{\frac{1}{n}}$,

Числовые характеристики выборок. Характеристики рассеяния (разброса)

- выборочное среднеквадратичное отклонение: $s^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right) / (n-1)$
- выборочная дисперсия: $D = \sqrt{s^2}$
- размах : $R = x_{\max} - x_{\min}$.
- выборочное среднее отклонение : $U = \sum_{i=1}^{n}\left|x_i - \bar{x}\right| / n$

Статистическая обработка результатов измерений может производиться с помощью компьютерных технологий, среди которых такие как *Microsoft Excel, Microsoft Access, MathCAD и др*.

Microsoft Excel — программа для работы с электронными таблицами, созданная корпорацией Microsoft для Microsoft Windows, Windows NT и MacOS. Она предоставляет возможности экономико-статистических расчетов, графические инструменты и, за исключением Excel 2008 под Mac OS X, язык макропрограммирования VBA (Visual Basic for Application). Microsoft Excel входит в состав Microsoft Office и на сегодняшний день Excel является одним из наиболее популярных приложений в мире. Excel был первым табличным процессором, позволявшим пользователю менять внешний вид таблицы на экране: шрифты, символы и внешний вид ячеек. Он также первым представил метод умного пересчёта ячеек — обновления только ячеек, зависящих от изменённых ячеек: раньше табличные процессоры пересчитывали все ячейки.

Приложение Microsoft Office Excel 2007 — это мощный инструмент, используемый для создания и форматирования электронных таблиц, анализа данных и обмена информацией для принятия более обоснованных решений. Пользовательский интерфейс Microsoft Office Fluent, наглядная визуализация данных и представления сводной таблицы упрощают создание и использование профессионально оформленных диаграмм. Приложение Office Excel 2007, объединенное со службами Excel, — это новая технология, предоставляемая с Microsoft Office SharePoint Server 2007 и характеризующаяся значительно более удобными средствами обмена данными и повышенным уровнем безопасности, благодаря которому вы сможете более свободно предоставлять сотрудникам, клиентам и бизнес-партнерам безопасный доступ к конфиденциальной коммерческой информации. При совместном использовании электронных таблиц в Office Excel 2007 и службах Excel можно просматривать, сортировать, фильтровать и вводить параметры, а также взаимодействовать с представлениями сводной таблицы непосредственно в веб-браузере. В EXEL имеется достаточно большой встроенный справочник формул, в там числе и формул статистических. Формулы также можно вводить вручную. Формулы представляют собой выражения, по которым выполняются вычисления на листе.

Microsoft Office Access или просто *Microsoft Access* — реляционная СУБД[17] корпорации Microsoft. Имеет широкий спектр функций, включая связанные запросы, связь

---

[17] Реляционная СУБД (РСУБД; иначе Система управления реляционными базами данных, СУРБД) — СУБД, управляющая реляционными базами данных. Эти модели характеризуются простотой структуры данных, удобным для пользователя табличным представлением и возможностью использования формального аппарата алгебры отношений и реляционного исчисления для обработки данных. Реляционная модель ориентирована на организацию данных в виде двумерных таблиц. Каждая реляционная таблица представляет собой двумерный массив и обладает следующими свойствами: каждый элемент таблицы — один элемент данных; все ячейки в столбце таблицы однородные, то есть все элементы в столбце имеют одинаковый тип (числовой, символьный и т. д.); каждый столбец имеет уникальное имя; одинаковые строки в таблице отсутствуют; порядок следования строк и столбцов может быть произвольным.

с внешними таблицами и базами данных. Благодаря встроенному языку VBA, в самом Access можно писать приложения, работающие с базами данных.

Основные компоненты MS Access:

- построитель таблиц;
- построитель экранных форм;
- построитель SQL[18]-запросов;
- построитель отчётов, выводимых на печать.

MS Access позволяет разрабатывать приложения и БД практически «с нуля» или написать оболочку для внешней БД.

Mathcad — система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и применения для коллективной работы. Mathcad имеет интуитивный и простой для использования интерфейс пользователя. Для ввода формул и данных можно использовать как клавиатуру, так и специальные панели инструментов.

Работа осуществляется в пределах рабочего листа, на котором уравнения и выражения отображаются графически. При создании документов-приложений используется принцип WYSIWYG (*What You See Is What You Get* — «что видишь, то и получаешь»). Несмотря на то, что эта программа, в основном, ориентирована на пользователей-непрограммистов, Mathcad также используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования. Также Mathcad часто используется в крупных инженерных проектах, где большое значение имеет трассируемость и соответствие стандартам.

Mathcad достаточно удобно использовать для обучения, вычислений и инженерных расчетов. Открытая архитектура приложения в сочетании с поддержкой технологий .NET[19] и XML[20] позволяют легко интегрировать Mathcad практически в любые ИТ-структуры и инженерные приложения. Есть возможность создания электронных книг (e-Book).

Mathcad содержит сотни операторов и встроенных функций для решения различных технических задач. Программа позволяет выполнять численные и символьные вычисления, производить операции со скалярными величинами, векторами и матрицами, автоматически переводить одни единицы измерения в другие.

Среди возможностей Mathcad можно выделить:

- Решение дифференциальных уравнений, в том числе и численными методами
- Построение двумерных и трёхмерных графиков функций (в разных системах координат, контурные, векторные и т. д.)
- Использование греческого алфавита как в уравнениях, так и в тексте
- Выполнение вычислений в символьном режиме
- Выполнение операций с векторами и матрицами
- Символьное решение систем уравнений
- Аппроксимация кривых
- Выполнение подпрограмм

---

[18] Универсальный компьютерный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных.

[19] Патентованная технология корпорации Microsoft, официально рассчитанная на работу под операционными системами семейства Microsoft Windows.Назначение .NET Framework — служить средой для поддержки разработки и выполнения сильно распределенных компонентных приложений.

[20] Язык с простым формальным синтаксисом, удобный для создания и обработки документов программами и одновременно удобный для чтения и создания документов человеком, с подчёркиванием нацеленности на использование в Интернете.

- Поиск корней многочленов и функций
- Проведение статистических расчётов и работа с распределением вероятностей
- Поиск собственных чисел и векторов
- Вычисления с единицами измерения
- Интеграция с САПР-системами, использование результатов вычислений в качестве управляющих параметровС помощью Mathcad инженеры могут документировать все вычисления в процессе их проведения.

Регрессия — зависимость среднего значения какой-либо случайной величины от некоторой другой величины или нескольких величин (в последнем случае — имеем множественную регрессию). Следовательно, при регрессионной связи одному и тому же значению x величины X (в отличие от функциональной связи) могут соответствовать разные случайные значения величины Y. Распределение этих значений называется условным распределением Y при данном $X = x$. Уравнение, связывающее эти величины, называется уравнением регрессии, а соответствующий график — линией регрессии величины Y по X. Переменная x называется регрессионной переменной или регрессором. Точность, с которой линия регрессии Y по x передает изменение Y в среднем при изменении x, измеряется дисперсией величины Y, вычисляемой для каждого значения x:

Регрессионные модели часто применяются в качестве моделей процессов, построенных на основе экспериментальных данных.

Mathcad включает ряд функций для вычисления регрессии. Обычно эти функции создают кривую или поверхность определенного типа, которая в некотором смысле минимизирует ошибку между собой и имеющимися данными. Функции отличаются прежде всего типом кривой или поверхности, которую они используют, чтобы аппроксимировать данные. Эти функции не требуют, чтобы аппроксимирующая кривая или поверхность проходила через точки данных. Функции регрессии гораздо менее чувствительны к ошибкам данных, чем функции интерполяции. Конечный результат регрессии — функция, с помощью которой можно оценить значения в промежутках между заданными точками.

Линейная регрессия. Эти функции возвращают наклон и смещение линии, которая наилучшим образом приближает данные в смысле наименьших квадратов.

Эти функции полезны не только, когда данные по существу должны представлять линейную зависимость, но и когда они представляют экспоненциальную зависимость. Тогда можно применить эти функции к логарифму данных и использовать тот факт, что $\log(y) = \log(A) + kx$. Такое приближение взвешивает ошибки по-другому, нежели приближение показательной функцией в смысле наименьших квадратов, но обычно это — хорошая аппроксимация.

Полиномиальная регрессия. Эти функции полезны, когда есть набор измеренных соответствующих значений y и x, между которыми ожидается полиномиальная зависимость, и нужно приблизить эти значения с помощью полинома наилучшим в определённом смысле образом. На практике не следует использовать степень полинома выше $n = 4$.

4.2 Решение задач оптимизации с помощью компьютерных технологий

Оптимизация в широком смысле слова находит применение в науке, технике и в любой другой области человеческой деятельности. Оптимизация - целенаправленная деятельность, заключающаяся в получении наилучших результатов при соответствующих условиях.

При постановке задачи оптимизации необходимо:

1. Наличие объекта оптимизации и цели оптимизации. При этом формулировка каждой задачи оптимизации должна требовать экстремального значения лишь одной

величины, то есть одновременно системе не должно приписываться два и более ***критерия*** оптимизации, так как практически всегда экстремум одного критерия не соответствует экстремуму другого. Типичный пример неправильной постановки задачи оптимизации: «Получить максимальную производительность при минимальной себестоимости». Ошибка заключается в том. что ставится задача поиска оптимума двух величин, противоречащих друг другу по своей сути. Правильной постановкой задачи может быть: либо получить максимальную производительность при заданной себестоимости, либо получить минимальную себестоимость при заданной производительности. В первом случае критерий оптимизации - производительность, а во втором - себестоимость.

2. Наличие ресурсов оптимизации, под которыми понимают возможность выбора значений некоторых ***параметров*** оптимизируемого объекта. Объект должен обладать определенными степенями свободы - управляющиеся воздействиями.

3. Возможность количественной оценки оптимизируемой величины, поскольку-только в этом случае можно сравнивать эффекты от выбора тех или иных управляющих воздействий.

4. Учет ограничений (ограничения в основном определяют о какой оптимизации идет речь: условной или безусловной, ищем глобальный оптимум или локальный).

Обычно оптимизируемая величина связана с экономичностью работы рассматриваемого объекта (технология, участок, цех и др.). Оптимизируемый вариант работы объекта должен оцениваться какой-то количественной мерой — *критерием оптимальности.* Критерием оптимальности называется количественная оценка оптимизируемого качества объекта.

На основании выбранного критерия оптимальности составляется *целевая функция,* представляющая собой зависимость критерия оптимальности от параметров, влияющих на ее значение. Вид критерия оптимальности или целевой функции определяется конкретной задачей оптимизации. Таким образом, задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции.

Наиболее общей постановкой оптимальной задачи является выражение критерия оптимальности в виде экономической оценки (производительность, себестоимость продукции и т.п.). Однако в частных задачах иногда не удается или не всегда целесообразно выделять прямой экономический показатель, который бы полностью характеризовал эффективность работы рассматриваемого объекта. В таких случаях критерием оптимальности может служить технологическая характеристика, косвенно оценивающая экономичность работы. Например, устанавливается оптимальная температура в зоне резания при обработке поверхности детали.

Требования, которые должны предъявляться к критерию оптимальности:

1. Критерий оптимальности должен выражаться количественно.

2. Критерий оптимальности должен быть единственным.

3. Критерий оптимальности должен отражать наиболее существенные стороны процесса.

4. Желательно чтобы критерий оптимальности имел ясный физический смысл и легко рассчитывался.

Если случайные возмущения в оптимизируемом процессе достаточно велики и их необходимо учитывать, то следует применять экспериментально-статистические методы, которые позволят получить модель объекта в виде функции, которая справедлива только для изученной локальной области.

В задачах оптимизации различают простые и сложные критерии оптимизации. Критерий оптимальности называется *простым,* если требуется определить экстремум целевой функции без задания условий на какие-либо другие величины. Такие критерии обычно используются при решении частных задач оптимизации. Критерий оптимальности называется *сложным*. если необходимо установить экстремум целевой функции при некоторых условиях, которые накладываются на ряд других величин (например,

определение максимальной производительности при заданной себестоимости, определение оптимальной температуры при ограничениях по термостойкости катализатора и др.).

Процедура решения задачи оптимизации обязательно включает, помимо выбора управляющих параметров, еще и установление ограничений на эти параметры (пределы подач и чисел оборотов металлорежущего станка, максимально допустимая температура в зоне резания и др.). Ограничения могут накладываться как по технологическим, так и по экономическим соображениям.

Для решения задачи оптимизации необходимо:

1. Составить математическую модель объекта оптимизации.
2. Выбрать критерий оптимальности и составить целевую функцию.
3. Установить возможные ограничения, которые должны накладываться на переменные.
4. Выбрать метод оптимизации, который позволит найти экстремальные значения искомых величин.

Принято различать задачи статической оптимизации для процессов, протекающих в установившихся режимах, и задачи динамической оптимизации. В первом случае решаются вопросы создания и реализации оптимальной модели процесса, во втором - задачи создания и реализации системы оптимального управления процессом при неустановившихся режимах эксплуатации.

Вообще говоря, общая запись задач оптимизации задаёт большое разнообразие их классов. От класса задачи зависит подбор метода (эффективность её решения). Классификацию задач определяют: целевая функция и допустимая область (задаётся системой неравенств и равенств или более сложным алгоритмом). Методы оптимизации классифицируют в соответствии с задачами оптимизации:

- Локальные методы: сходятся к какому-нибудь локальному экстремуму целевой функции. В случае унимодальной целевой функции, этот экстремум единственен, и будет глобальным максимумом/минимумом.
- Глобальные методы: имеют дело с многоэкстремальными целевыми функциями. При глобальном поиске основной задачей является выявление тенденций глобального поведения целевой функции.

Существующие в настоящее время методы поиска можно разбить на три большие группы:

1. детерминированные;
2. случайные (стохастические);
3. комбинированные.

По критерию размерности допустимого множества, методы оптимизации делят на методы *одномерной оптимизации* и методы *многомерной оптимизации*.

По виду целевой функции и допустимого множества, задачи оптимизации и методы их решения можно разделить на следующие классы:

- Задачи оптимизации, в которых целевая функция $f(\vec{x})$ и ограничения $g_i(\vec{x}),\ i = 1, \ldots, m$ являются линейными функциями, разрешаются так называемыми методами *линейного программирования*.
- В противном случае имеют дело с задачей *нелинейного программирования* и применяют соответствующие методы.

Помимо того, оптимизационные методы делятся на следующие группы:

- аналитические методы[21];
- численные методы[22];

---

[21] Символьные вычисления — это преобразования и работа с математическими равенствами и формулами как с последовательностью символов.

- графические методы.

Поиски оптимальных решений привели к созданию специальных математических методов и уже в 18 веке были заложены математические основы оптимизации (вариационное исчисление, численные методы и др.). Однако до второй половины 20 века методы оптимизации во многих областях науки и техники применялись очень редко, поскольку практическое использование математических методов оптимизации требовало огромной вычислительной работы, которую без ЭВМ реализовать было крайне трудно, а в ряде случаев - невозможно. Особенно большие трудности возникали при решении задач оптимизации из-за большого числа параметров и их сложной взаимосвязи между собой. При наличии ЭВМ ряд задач оптимизации поддается решению.

Градиентные методы оптимизации относятся к численным методам поискового типа. Они универсальны, хорошо приспособлены для работы с современными цифровыми вычислительными машинами и в большинстве случаев весьма эффективны при поиске экстремального значения нелинейных функций с ограничениями и без них, а также тогда, когда аналитический вид функции вообще неизвестен. Вследствие этого градиентные, или поисковые, методы широко применяются на практике. Сущность указанных методов заключается в определении значений независимых переменных, дающих наибольшие изменения целевой функции. Обычно для этого двигаются вдоль градиента, ортогонального к контурной поверхности в данной точке.

Различные поисковые методы в основном отличаются один от другого способом определения направления движения к оптимуму, размером шага и продолжительностью поиска вдоль найденного направления, критериями окончания поиска, простотой алгоритмизации и применимостью для различных ЭВМ. Техника поиска экстремума основана на расчетах, которые позволяют определить направление наиболее быстрого изменения оптимизируемого критерия.

Наряду с определением направления градиентного вектора основным вопросом, решаемым при использовании градиентных методов, является выбор шага движения по градиенту. Величина шага в направлении gradF в значительной степени зависит от вида поверхности. Если шаг слишком мал, потребуются продолжительные расчеты; если слишком велик, можно проскочить оптимум. Размер шага Δx_i должен удовлетворять условию, при котором все шаги от базисной точки лежат в том же самом направлении, что и градиент в базисной точке.

Несмотря на существующие различия между градиентными методами, последовательность операций при поиске оптимума в большинстве случаев одинакова и сводится к следующему:

а) выбирается базисная точка;

б) определяется направление движения от базисной точки;

в) находится размер шага;

г) определяется следующая точка поиска;

д) значение целевой функции в данной точке сравнивается с ее значением в предыдущей точке;

е) вновь определяется направление движения и процедура повторяется до достижения оптимального значения.

Метод градиента вместе с его многочисленными модификациями является распространенным и эффективным методом поиска оптимума исследуемых объектов. Рассмотрим одну из модификаций метода градиента – метод крутого восхождения.

Метод крутого восхождения, или иначе метод Бокса-Уилсона, объединяет в себе достоинства трех методов - метода Гаусса-Зейделя, метода градиентов и метода полного

---

[22] Вычислительные (численные) методы — методы решения математических задач в численном виде. Представление как исходных данных в задаче, так и её решения — в виде числа или набора чисел.

(или дробного) факторного экспериментов, как средства получения линейной математической модели. Задача метода крутого восхождения заключается в том, чтобы шаговое движение осуществлять в направлении наискорейшего возрастания (или убывания) выходной переменной, то есть по grad y(X). В отличии от метода градиентов, направление корректируется не после каждого следующего шага, а при достижении в некоторой точке на данном направлении частного экстремума целевой функции, как это делается в методе Гаусса-Зейделя. В точке частного экстремума ставится новый факторный эксперимент, определяется математическая модель и вновь осуществляется крутое восхождение. В процессе движения к оптимуму указанным методом регулярно проводиться статистический анализ промежуточных результатов поиска. Поиск прекращается, когда квадратичные эффекты в уравнении регрессии становятся значимыми. Это означает, что достигнута область оптимума.

Эффективность метода крутого восхождения зависит от выбора масштаба переменных и вида поверхности отклика. Поверхность со сферическими контурами обеспечивает быстрое стягивание к оптимуму.

К недостаткам метода крутого восхождения следует отнести:

1. Ограниченность экстраполяции. Двигаясь вдоль градиента, мы основываемся на экстраполяции частных производных целевой функции по соответствующим переменным. Однако форма поверхности отклика может изменяться и необходимо изменять направление поиска. Другими словами, движение на плоскости не может быть продолжительным.

2. Трудность поиска глобального оптимума. Метод применим для отыскания только локальных оптимумов.

Метод Монте-Карло — общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи. Иначе говоря это метод статистических испытаний, численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных процессов и событий.

С помощью средств *Mathcad* можно решать задачи оптимизации процессов производства, в том числе технологических процессов. На практических занятиях будет рассмотрен пример решения оптимизационной задачи.

Задачи оптимизации решаются и с помощью пакета MATLAB.

4.3 Моделирование систем с помощью системы Matlab

Одной из основных задач при создании системы MATLAB всегда было предоставление пользователям мощного языка программирования, ориентированного на технические и математические расчеты и способного превзойти возможности традиционных языков программирования, которые многие годы использовались для реализации численных методов. При этом особое внимание уделялось как повышению скорости вычислений, так и адаптации системы к решению самых разнообразных задач пользователей.

MATLAB (сокращение от англ. «Matrix Laboratory», в русском языке произносится как Матла́б) — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете. MATLAB работает на большинстве современных операционных систем, включая Linux, Mac OS, Solaris. Программы, написанные на MATLAB, бывают двух типов — функции и скрипты[23].

[23] Сцена́рный язы́к (англ. scripting language, в русской литературе принято название язык сценариев) — высокоуровневый язык программирования для написания сценариев — кратких описаний действий, выполняемых системой.

Функции имеют входные и выходные аргументы, а также собственное рабочее пространство для хранения промежуточных результатов вычислений и переменных. Скрипты же используют общее рабочее пространство. Как скрипты, так и функции не компилируются в машинный код и сохраняются в виде текстовых файлов. Существует также возможность сохранять так называемые *pre-parsed* программы — функции и скрипты, обработанные в вид, удобный для машинного исполнения. В общем случае такие программы выполняются быстрее обычных, особенно если функция содержит команды построения графиков. Основной особенностью языка MATLAB являются его широкие возможности по работе с матрицами.

MATLAB - это высокопроизводительный язык для технических расчетов. Он включает в себя вычисления, визуализацию и программирование в удобной среде, где задачи и решения выражаются в форме, близкой к математической. Типичное использование MATLAB - это математические вычисления, создание алгоритмов, моделирование, анализ данных, исследования и визуализация, научная и инженерная графика, разработка приложений, включая создание графического интерфейса. MATLAB - это интерактивная система, в которой основным элементом данных является массив. Это позволяет решать различные задачи, связанные с техническими вычислениями, особенно в которых используются матрицы и вектора, в несколько раз быстрее, чем при написании программ с использованием "скалярных" языков программирования.

В университетской среде, MATLAB представлял собой стандартный инструмент для работы в различных областях математики, машиностроении и науки. В промышленности - это инструмент для высокопродуктивных исследований, разработок и анализа данных.

MATLAB реализует три важные концепции программирования:

• процедурное модульное программирование, основанное на создании модулей – процедур и функций;

• объектно-ориентированное программирование, особенно ценное в реализации графических средств системы;

• визуально-ориентированное программирование, направленное на создание средств графического интерфейса пользователя GUI (Graphics User Interface).

Язык программирования MATLAB относится к классу интерпретаторов. Это значит, что любая команда системы распознается (интерпретируется) по ее имени (идентификатору) и немедленно исполняется в командной строке, что обеспечивает легкую проверку по частям любого программного кода. Одновременно интерпретирующий характер языка программирования MATLAB означает, что с первых строк описания средств этой системы фактически описывается ее язык программирования.

В MATLAB важная роль отводится специализированным группам программ, называемых toolboxes. Они очень важны для большинства пользователей MATLAB, так как позволяют изучать и применять специализированные методы. Toolboxes - это всесторонняя коллекция функций MATLAB (М-файлов), которые позволяют решать частные классы задач. Toolboxes применяются для обработки сигналов, систем контроля, нейронных сетей, нечеткой логики, вэйвлетов, моделирования и т.д.

Система MATLAB состоит из пяти основных частей.

Язык MATLAB. Это язык матриц и массивов высокого уровня с управлением потоками, функциями, структурами данных, вводом-выводом и особенностями объектно-ориентированного программирования.

Среда MATLAB. Это набор инструментов и приспособлений, с которыми работает пользователь или программист MATLAB. Она включает в себя средства для управления переменными в рабочем пространстве MATLAB, вводом и выводом данных, а также создания, контроля и отладки М-файлов и приложений MATLAB.

Управляемая графика. Это графическая система MATLAB, которая включает в себя команды высокого уровня для визуализации двух- и трехмерных данных, обработки изображений, анимации и иллюстрированной графики. Она также включает в себя команды низкого уровня, позволяющие полностью редактировать внешний вид графики, также как при создании Графического Пользовательского Интерфейса (GUI) для MATLAB приложений.

Библиотека математических функций. Это обширная коллекция вычислительных алгоритмов от элементарных функций, таких как сумма, синус, косинус, комплексная арифметика, до более сложных, таких как обращение матриц, нахождение собственных значений, функции Бесселя, быстрое преобразование Фурье.

Программный интерфейс. Это библиотека, которая позволяет писать программы на Си и Фортране, которые взаимодействуют с MATLAB. Она включает средства для вызова программ из MATLAB (динамическая связь), вызывая MATLAB как вычислительный инструмент и для чтения-записи MAT-файлов.

Simulink, сопутствующая MATLAB программа, - это интерактивная система для моделирования нелинейных динамических систем, иными словами - это интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Simulink представляет собой среду, управляемую мышью, которая позволяет моделировать процесс путем перетаскивания блоков диаграмм на экране и их манипуляцией. Simulink работает с линейными, нелинейными, непрерывными, дискретными, многомерными системами. Blocksets - это дополнения к Simulink, которые обеспечивают библиотеки блоков для специализированных приложений, таких как связь, обработка сигналов, энергетические системы. Real-Time Workshop - это программа, которая позволяет генерировать С код из блоков диаграмм и запускать их на выполнение на различных системах реального времени.

Пакет Simulink представляет собой мощнейший инструмент для создания, исследования и практического использования моделей широкого круга систем, включая линейные и нелинейные с дискретным и непрерывным временем. Являясь расширением системы Matlab, Simulink использует все его графические и вычислительные средства, добавляя возможности:

А. быстро создать символическую схему моделируемого устройства

Б. гибкого изменения параметров каждого используемого блока, создания субблоков, а также их векторизации и регистрации пересечения нуля.

В. наблюдения динамики поведения любых переменных модели с помощью гибко настраиваемых средств визуализации.

Г. генерации кода разработанных моделей на языках С и С++, откомпилировав который, пользователь получает полноценное автономное Windows-приложение.

Д. анимации движущихся систем и создания видеоклипов.

Графический интерфейс программы позволяет создать и отладить модель исследуемого процесса.

Библиотека основных модулей Simulink включает шесть отделов:

Источники– модули, создающие сигнал возбуждения различной амплитуды, формы, периодичности, сдвига по фазе. В зависимости от точки, куда подводится этот сигнал, он может быть по своей природе силой, скоростью, давлением, информационным сигналом и т.д.

Стоки – элементы, на которые подается выходной сигнал, и благодаря этому, может быть зарегистрирован.

Дискретные элементы – элементы, воспринимающие и трансформирующие дискретные (цифровые) сигналы, распространяющиеся через равные дискретные интервалы времени.

Линейные элементы - элементы, воспринимающие и трансформирующие непрерывные (аналоговые) сигналы.

Нелинейные элементы – в основном, представляют собой функции или функционалы, структурно входящие в модель.

Соединители – элементы, служащие для объединения сигналов, задания начальных условий, установления точек начала и окончания работы модели.

Внешние блоки и расширения – позволяют подключить внешние библиотеки, сложные и специализированные модули, а также выполнить компиляцию в C и C++ созданных моделей.

Применение/

Математика и вычисления.

MATLAB предоставляет пользователю большое количество (несколько сотен) функций для анализа данных, покрывающие практически все области математики, в частности:

• Матрицы и линейная алгебра — алгебра матриц, линейные уравнения, собственные значения и вектора, сингулярности, факторизация матриц и другие.

• Многочлены и интерполяция — корни многочленов, операции над многочленами и их дифференцирование, интерполяция и экстраполяция кривых и другие.

• Математическая статистика и анализ данных — статистические функции, статистическая регрессия, цифровая фильтрация, быстрое преобразование Фурье и другие.

• Обработка данных — набор специальных функций, включая построение графиков, оптимизацию, поиск нулей, численное интегрирование (в квадратурах) и другие.

• Дифференциальные уравнения — решение дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений с запаздыванием, уравнений с ограничениями, уравнений в частных производных и другие.

• Разреженные матрицы — специальный класс данных пакета MATLAB, использующийся в специализированных приложениях.

• Целочисленная арифметика — выполнение операций целочисленной арифметики в среде MATLAB.

Разработка алгоритмов

MATLAB предоставляет удобные средства для разработки алгоритмов, включая высокоуровневые с использованием концепций объектно-ориентированного программирования. В нём имеются все необходимые средства интегрированной среды разработки, включая отладчики профайлер. Функции для работы с целыми типами данных облегчают создание алгоритмов для микроконтроллеров и других приложений, где это необходимо.

Визуализация данных.

В составе пакета MATLAB имеется большое количество функций для построения графиков, в том числе трёхмерных, визуального анализа данных и создания анимированных роликов. Встроенная среда разработки позволяет создавать графические интерфейсы пользователя с различными элементами управления, такими как кнопки, поля ввода и другими.

Независимые приложения.

Программы MATLAB, как консольные, так и с графическим интерфейсом пользователя, могут быть собраны с помощью компоненты MATLAB Compiler в независимые от MATLAB исполняемые приложения или динамические библиотеки, для запуска которых на других компьютерах, однако, требуется установка свободно распространяемой среды MATLAB Compiler Runtime (MCR).