

**Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЙ И ОСНАСТКИ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

**для студентов специальности
«Обработка металлов давлением»
всех форм обучения**

Утверждено
на заседании
методического совета
Протокол № 13 от 08.05.2012

Краматорск 2012

УДК 621.7

Системы автоматизированного проектирования технологий и оснастки: конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности «Обработка металлов давлением»)/ сост. М.В. Косенко. – Краматорск: ДГМА, 2012.- с.40

В учебном пособии приведены краткие теоретические сведения о теории строения редкого, кристаллического и аморфного состояния вещества. Особое внимание уделено механизмам деформации и возникающих при этом изменениях в строении вещества. Пособие предназначено для студентов специальности «Обработка металлов давлением».

Составитель

М.В. Косенко, ассистент

Ответственный за выпуск

И.С. Алиев, проф.

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей технологии машиностроения является изготовление с наименьшими трудозатратами и отходами металла, с наибольшей производительностью машиностроительных деталей, качество которых удовлетворяет условиям эксплуатации. Для решения этой основной задачи на предприятиях предусмотрены такие производства как литейное, прокатное, кузнечно-штамповочное, сварочное, механической обработки резанием, термическое и др.

В зависимости от сложности формы детали, ее размеров, типа материалов, требуемых эксплуатационных свойств, серийности производства применяют технологию того или иного производства для получения машиностроительных заготовок, предназначенных для последующей механической обработки резанием с целью получения заданных размеров и шероховатости поверхности детали.

Ковку и штамповку применяют для получения изделий, называемых поковками, из металлов и сплавов, обладающих, как правило, весьма высокой пластичностью в холодном или нагретом до определенной температуры состоянии. Масса поковок может быть от нескольких граммов до сотен тонн. Под высокопластичными материалами понимают такие, которые могут быть деформированы без разрушения при испытании на осадку со степенями деформации 80% и более.

В процессековки или штамповки заготовку подвергают пластическому деформированию, что позволяет весьма существенно повысить КИМ и производительность и уменьшить трудозатраты при последующей механической обработке резанием.

В процессековки или штамповки кроме формы заготовки изменяется ее внутреннее строение, определяемое макро- и микроструктурой, а в результате и механические и физические свойства. Для понимания процессов, происходящих в металле при его пластическом деформировании в условиях различных температур, и управления этими процессами для получения заданных механических и физических свойств необходимо знать строение металлов и сплавов, механизм пластической деформации и разрушения, влияние высоких температур на изменение внутреннего строения металлов, влияние скорости деформирования, продолжительности нагружения и др.

Для выбора или проектирования кузнечно-штамповочного оборудования, расчета на прочность и жесткость деталей технологической оснастки необходимы расчеты по определению деформирующей силы, работы деформации, давлений на контактных поверхностях деформируемой заготовки и ее предельного формоизменения в процессе выполнения технологической операции. Для решения этих задач нужны знания из области механики пластической деформации. Изучение данного курса основано на знаниях высшей математики, физики, теоретической механики, сопротивление материалов и материаловедение.

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ САПР

Инженерная деятельность в современных условиях тесно связана с использованием персональных электронных вычислительных машин (ПЭВМ) и микропроцессоров. В последние годы в инженерной практике вычислительная техника широко применяется для выполнения расчетов, автоматизации проектирования, организации и планирования экспериментальных исследований, для обработки результатов испытания машин, механизмов, аппаратов и для многих других целей. В настоящее время инженеры любой специальности должны приобрести в вузе умения и навыки решения производственных и научных задач с помощью ЭВМ. С этой целью в учебные планы всех инженерных специальностей введены дисциплины, обеспечивающие углубленное изучение математики, программирования, вычислительной техники, новых информационных технологий.

Сейчас обучение в технических вузах поставлено таким образом, что студенты с первого курса пользуются персональными электронными вычислительными машинами. Если раньше своего рода символом инженерного труда была логарифмическая линейка, то теперь все большее и большее количество студентов имеют в своем личном пользовании ПК.

Термин САПР "Система автоматического проектирования" (в английской нотации CAD) появился в конце пятидесятих годов, когда Д.Т.Росс начал работать над одноименным проектом в Массачусетском Технологическом Институте (MIT). Первые CAD - системы появились десять лет спустя.

За последние 25 лет CAD - системы, как системы геометрического моделирования, были значительно усовершенствованы: появились средства 3D-поверхностного и твердотельного моделирования, параметрического конструирования, был улучшен интерфейс.

Несмотря на все эти усовершенствования, касающиеся, в основном, геометрических функций, CAD - системы оказывают конструктору слабую помощь с точки зрения ВСЕГО процесса конструкторского проектирования. Они обеспечивают описание геометрических форм и рутинные операции, такие как образмеривание, генерация спецификаций и т.п. Эти ограничения и чисто геометрический интерфейс оставляет методологию конструкторской работы такой же, какой она была при использовании чертежной доски. Развитие получили также системы автоматизации проектирования технологических процессов (CAPP) и программирования изготовления деталей на станках с ЧПУ (CAM). Однако, подобно CAD - системам, эти усовершенствования не затронули ПРОЦЕСС проектирования: CAPP - системы могут генерировать технологические процессы, но только при условии предварительного специального описания изделия с помощью конструкторско-технологических элементов. CAM -системой может быть использована

геометрическая модель САД - системы, но все функции САПР - системы (проектирование технологии обработки)- перекладываются на инженера.

Помимо проектирования, инженерная деятельность связана с инженерным бизнесом и менеджментом. Сюда, в частности, входят автоматизированные системы управления производством (АСУПр). Эти системы обычно развиваются без какой-либо интеграции с САПР.

Итак, до последнего времени концепция автоматизации труда конструктора базировалась на принципах геометрического моделирования и компьютерной графики. При этом, системы компьютеризации труда конструкторов, технологов, технологов - программистов, инженеров - менеджеров и производственных мастеров развивались автономно и Инженерные Знания - основа проектирования, оставались вне компьютера. Такое положение не удовлетворяет современным требованиям к автоматизации. Сейчас необходима комплексная компьютеризация инженерной деятельности на всех этапах жизненного цикла изделий, которая получила название CALS (Computer Aided Life-cycle System) технологии. Традиционные САПР с их геометрическим, а не информационным ядром, не могут явиться основой для создания таких систем. Сегодня каждое изделие в процессе своего жизненного цикла должно представляться в компьютерной среде в виде иерархии информационных моделей, составляющих единое целое и имеющих соподчиненность.

В промышленном производстве давно царит жесткая конкуренция. Чтобы выжить в этих нелегких условиях предприятиям приходится как можно быстрее выпускать новые изделия, снижать их себестоимость и повышать качество. В этом им помогают современные системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие облегчить весь цикл разработки изделий — от выработки концепции до создания опытного образца и запуска его в производство. Тем самым значительно ускоряется процесс создания новой продукции без ущерба качеству.

Поэтому сейчас без САПР не обходится ни одно конструкторское или промышленное предприятие. И хотя на долю указанных систем приходится лишь около 3% рынка ПО, они играют очень важную роль, поскольку помогают создавать товары, без которых невозможно представить нашу повседневную жизнь: автомобили, самолеты, бытовые приборы, промышленное оборудование и, следовательно, являются одной из движущих сил современной промышленности и мировой экономики.

Термин «САПР для машиностроения» в нашей стране обычно используют в тех случаях, когда речь идет о пакетах программ для автоматизированного проектирования (CAD), подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE). Существуют САПР и для других областей — разработки электронных приборов, строительного проектирования.

Идея автоматизировать проектирование зародилась в конце 50-х годов прошлого века, почти одновременно с появлением коммерческих

компьютеров. А уже в начале 60-х ее воплотила компания General Motors в виде первой интерактивной графической системы подготовки производства. В 1971 г. создатель этой системы доктор Патрик Хэнретти (Patrick Hanratty) основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS) и разработал методики, которые составили основу большинства современных САПР. Вскоре появились и другие CAD-пакеты. В то время они работали на мэйнфреймах и мини-компьютерах и стоили очень дорого — в среднем 90 тыс. долл. за одно рабочее место. Очевидно, что лишь крупные предприятия могли позволить себе идти в ногу со временем.

Одновременно стали появляться и первые САМ-программы, позволяющие частично автоматизировать процесс производства с помощью программ для станков с ЧПУ, и САЕ-продукты, предназначенные для анализа сложных конструкций. Так в 1971 г. компания MSC.Software выпустила систему структурного анализа MSC.Nastran, которая до сих пор занимает ведущее положение на рынке САЕ.

К середине 80-х годов системы САПР для машиностроения обрели форму, которая существует и сейчас. Но впереди их ждало много любопытных перемен. Появление микропроцессоров положило начало революционным преобразованиям в области аппаратного обеспечения — наступила эра персональных компьютеров. Но для трехмерного моделирования мощности первых ПК не хватало. Поэтому в 80-е годы поставщики «серьезных» средств автоматизации проектирования ориентировались на компьютеры на базе RISC-процессоров, работавшие под управлением ОС Unix, — они были намного дешевле мэйнфреймов и мини-машин. Параллельно снижалась стоимость ПО, и к началу 90-х средняя цена рабочего места снизилась до 20 тыс. долл. — САПР становились доступнее. Но в массовый продукт они превратились лишь тогда, когда компания Autodesk разработала свой знаменитый пакет AutoCAD стоимостью всего 1 тыс. долл. Правда, в те времена ПК были 16-разрядными, и их мощности хватало лишь для двумерных построений — черчения и создания эскизов. Однако это не помешало новинке иметь огромный успех у пользователей.

Наиболее бурное развитие САПР происходило в 90-х годах, когда Intel выпустила процессор Pentium Pro, а Microsoft — систему Windows NT. Тогда на поле вышли новые игроки «средней весовой категории», которые заполнили нишу между дорогими продуктами, обладающими множеством функций, и программами типа AutoCAD. В результате сложилось существующее и поныне деление САПР на три класса: тяжелый, средний и легкий. Такая классификация возникла исторически, и хотя уже давно идут разговоры о том, что грани между классами постепенно стираются, они продолжают существовать, так как системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям. Следует добавить, что кроме универсальных САПР также выпускаются и различные специализированные продукты, например, для инженерного

анализа, расчета трубопроводов, анализа литья металлов, проектирования металлоконструкций и множества других конкретных задач.

На основе проведенного анализа структуры экспертной системы, можно утверждать, что такая вычислительная среда имеет прямое применение для инженерной деятельности как средство автоматизации проектных работ, если проектирование ведется от прототипа, по восходящей технологии или на высших иерархических уровнях той или иной системы проектирования. Однако, если объект проектирования можно формально описать, возникает потребность, с одной стороны, использовать приемы, характерные для инженерной деятельности, а с другой - привлечь знания математиков для использования формальных методов принятия решения. Кроме того, дальнейшее развитие САПР, по мнению многих разработчиков, должно идти по пути создания вычислительных систем, которые "лояльны" к пользователю, легко тиражируются и обладают свойством развития. В ближайшее время при построении САПР необходимо обеспечить решение следующих задач: обучение пользователя, которое сводится к обучению входным языкам, представлению справочной информации, адаптированной к характеру запроса, диагностике ошибок и сопровождению пользователя в процессе проектирования; обучение САПР, предполагающее настройку системы на конкретную предметную область или класс проектных процедур; организация диалога в процессе проектирования с целью описания объекта проектирования, технологического задания и заданий на выполнение проектных процедур; изготовление проектной и справочной документации, оформляющей проектные решения; контроль за функционированием системы и отображение статистических данных о количестве и качестве проектных решений.

Одни из наиболее мощных САПР – Unigraphics NX компании EDS, CATIA французской фирмы Dassault Systemes (которая продвигает ее вместе с IBM) и Pro/Engineer от PTC (Parametric Technology Corp.). Главная особенность таких мощных САПР — обширные функциональные возможности, высокая производительность и стабильность работы — все это результат длительного развития.

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.

Первая чертежная система Sketchpad была создана еще в начале 60-х годов, 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. Пионером в этой области стала компания Autodesk, которая в 1983 г. выпустила САПР для ПК под названием AutoCAD.

Таким образом, развитие Систем автоматического проектирования идет двумя путями — эволюционным и революционным. В свое время революционный переворот произвели первые САПР для ПК и системы среднего класса. Сейчас рынок развивается эволюционно: расширяются функциональные возможности продуктов, повышается производительность, упрощается использование. Но, возможно, вскоре нас ждет очередная революция. Аналитики из Cambashi считают, что это произойдет, когда поставщики САПР начнут использовать для хранения инженерных данных (чертежей, трехмерных моделей, списков материалов и т. д.) не файловые структуры, а стандартные базы данных SQL-типа. В результате инженерная информация станет структурированной, и управлять ею будет гораздо проще, чем теперь.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Решение задач при построении сапр

СИСТЕМА - целостное образование, состоящее из взаимосвязанных (взаимодействующих) компонент, (элементов, частей) и обладающее свойствами, не сводимыми к свойствам этих компонент и не выводимыми из них.

МОДЕЛЬ - (некоторой исходной системы) система, в которой отражаются по определенным законам те или иные стороны исходной системы.

Среди различных способов моделирования важнейшее место занимает моделирование с помощью средств математики - математическое моделирование.

Формальное определение системы по существу сводится к определению соответствующей математической модели.

В основу построения математических моделей систем может быть положено следующее определение системы:

СИСТЕМА - определяется заданием некоторой совокупности базисных множеств (элементов, компонент системы), связанных между собой рядом отношений, удовлетворяющих тем или иным правилам (аксиомам) сочетания как элементов множеств, так и самих отношений.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ - комплекс работ по исследованию, расчетам и конструированию нового изделия или нового процесса.

В основе проектирования - первичное описание - техническое задание.

Проектирование называют **АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ**, если осуществляется преобразование первичного описания при взаимодействии

человека с ЭВМ, и автоматическим, если все преобразования выполняются без вмешательства человека только с использованием ЭВМ.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ - организационно-техническая система, представляющая собой подразделения проектной организации и комплекс средств автоматизированного проектирования.

Цель автоматизации — повысить качество проектирования, снизить материальные затраты на него, сократить сроки проектирования и ликвидировать рост числа инженерно-технических работников, занятых проектированием и конструированием.

Научно обоснованное распределение функций между человеком и ЭВМ подразумевает, что человек должен решать задачи, носящие творческий характер, а ЭВМ — задачи, решение которых поддается алгоритмизации.

Существенным отличием автоматизированного проектирования от неавтоматизированного является возможность замены дорогостоящего и занимающего много времени физического моделирования — математическим моделированием. При этом следует иметь в виду одно важнейшее обстоятельство: при проектировании число вариантов необозримо. Поэтому нельзя ставить задачу создания универсальной САПР, а необходимо решать вопросы проектирования для конкретного семейства машин.

CAD, Computer-Aided Design

Автоматизированное проектирование. Термин используется для обозначения широкого спектра компьютерных инструментов, которые помогают инженерам, архитекторам и другим профессионалам в осуществлении проектирования. Являясь ключевым инструментом в рамках концепции управления жизненным циклом изделия, системы автоматизированного проектирования (САПР) включают в себя множество программных и аппаратных средств - от систем двумерного черчения до трехмерного параметрического моделирования поверхностей и объемных тел. По областям применения САПР традиционно разделяются на:

- архитектурно-строительные,
- механические (см. MCAD),
- электронные (см. ECAD)
- технологические (см. CAPP).

CAE, Computer-Aided Engineering

Автоматизированное конструирование. Использование специального программного обеспечения для проведения инженерного анализа прочности и других технических характеристик компонент и сборок, выполненных в системах автоматизированного проектирования (см. CAD). Программы автоматизированного конструирования позволяют

осуществлять динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий и средств их производства. Традиционные области анализа включают в себя:

- анализ напряжений деталей и сборок методом конечных элементов,
- анализ тепловых и жидкостных потоков методами вычислительной гидродинамики,
- анализ кинематики,
- моделирование динамических механических взаимодействий,
- моделирование производственных операций (литье, прессование и проч.).

При проведении любого вида анализа в системах CAE традиционно выделяются три этапа его проведения:

- предварительная обработка данных (построение по геометрической модели изделия - CAD-данным - требуемой модели исследуемого процесса - например, сетки конечных элементов, точек приложения сил и их векторов),
- анализ модели с помощью специализированного решателя,
- заключительная обработка результатов (визуализация результатов расчетов математической модели).

CAM, Computer-Aided Manufacturing

Автоматизированное производство. Термин используется для обозначения программного обеспечения, основной целью которого является создание программ для управления станками с ЧПУ (см. CNC). Входными данными САМ-системы является геометрическая модель изделия, разработанная в системе автоматизированного проектирования (см. CAD). В процессе интерактивной работы с трехмерной моделью в САМ системе инженер определяет траектории движения режущего инструмента по заготовке изделия (так называемые CL-данные, от cutter location - положение резца), которые затем автоматически верифицируются, визуализируются (для визуальной проверки корректности) и обрабатываются постпроцессором для получения программы управления конкретным станком (называемой также G-кодом).

CAPP, Computer-Aided Process Planning

Автоматизированное технологическая подготовка производства (планирование технологических процессов). Используется для обозначения программных инструментов, применяемых на стыке систем автоматизированного проектирования (см. CAD) и производства (см. CAM). Задача технологической подготовки - 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. Технологическая подготовка производства всегда осуществляется по имеющейся базе данных типовых техпроцессов, применяемых на конкретном предприятии. Различают два подхода к автоматизированной технологической подготовке - модифицированный (вариантный) и генеративный. При модифицированном подходе задача САПР-системы 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.

НАЗНАЧЕНИЕ САПР

Системы автоматизированного проектирования (САПР) благодаря быстродействию и надежности вычислительной техники, достоверности математических моделей (ММ) и эффективным методам оптимизации позволяют не только ускорить разработку проектов, освободить инженеров и техников от выполнения рутинных процедур, но и сократить в целом продолжительность создания новых машин и аппаратов, повысить показатели их качества.

Типы инженерных задач

Инженерные задачи делятся на два вида: прямые и обратные.

По определению, предложенному профессором Венцель Еленой Сергеевной, прямая задача отвечает на вопрос: "Что будет, если...?".

Прямая задача - это задача анализа. Она однозначна. Достоверность решения зависит от уровня достоверности математической модели этой задачи.

Уровни достоверности математических моделей

Биргер Исаак Аронович предлагает такую градацию:

Уровень математической модели характеризует ее качество - степень глубины и полноты отображения связей между параметрами входа и выхода. Различают модели нулевого, 1-го, 2-го и т.д. уровней. Разделение на уровни условно.

Модели нулевого уровня - это модели, основанные на статистической обработке параметров, предшествующих или аналогичных изделий.

Модели первого уровня – модели, использующие простейшие одномерные теории или ряды упрощающих предположений.

Модели второго уровня – модели, включающие все инженерные расчеты, проводимые для рассматриваемого элемента узла и т.п.

Модели третьего уровня – сложные модели, использующие двумерные и трехмерные теории, спец. численные методы типа конечных элементов или граничащих элементов и т.п.

В системе автоматизированного проектирования целесообразно использовать ММ нескольких уровней: более простые – для предварительного отбора вариантов, более сложные – для формирования окончательного ММ.

По определению Венцель Е. С обратная задача отвечает на вопрос: "Как поступить, чтобы...?".

Обратная задача - задача синтеза. Это - многозначная задача (задача оптимизации).

Проектирование - это процесс, направленный на создание новых конструкций, сочетающий синтез и анализ.

Мы будем заниматься автоматизацией проектирования технических систем.

Признаки системного объекта

В литературе имеется около двух тысяч определений "системы". Чтобы их не перечислять, воспользуемся признаками системного объекта:

- 1) много уровней и много элементов на каждом уровне;
- 2) многообразие связей между элементами;
- 3) многократное изменение состояния;
- 4) множество показателей качества и критериев.

Эффекты от применения, автоматизированного проектирования:

- 1) ускорение времени на разработку проекта;
- 2) повышение достоверности проектных решений;
- 3) поиск наилучшего решения;
- 4) социальный аспект (интереснее работать).

Пропущено про подсистемы

СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР

Система автоматизированного проектирования (САПР) состоит из семи взаимосвязанных средств обеспечения.

1. Методическое обеспечение:

- 1) правила отбора средств автоматизированного проектирования (АП);
- 2) постановка задачи и схемы решения.

2. Математическое обеспечение:

- 1) математические модели анализа;
- 2) методы, порядок решения поставленной задачи;
- 3) алгоритмы, подробное описание процесса решения.

3. Программное обеспечение:

- 1) общесистемное;
- 2) базовое;
- 3) прикладное.

4. Информационное обеспечение:

- 1) банк данных:
 - база данных;
 - СУБД;
- 2) экспертная система:
 - база знаний;
 - база фактов;
- 3) режим коллективного проектирования.

5. Лингвистическое обеспечение:

- 1) языки программирования;
- 2) языки проектирования.

6. Организационное обеспечение:

- 1) инструкции, приказы, штатное расписание;
- 2) режим коллективного проектирования (средства ведения проекта).

7. Техническое обеспечение:

- 1) средства программной обработки (процессор, память);
- 2) средства ввода-вывода, отображения данных (носители, устройства ввода, принтер, сканер, монитор);
- 3) архив проектных решений (магнитооптические и лазерные устройства);
- 4) средства передачи данных между территориально разнесенными ЭВМ (локальные и корпоративные сети).

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ САПР

Разработка САПР представляет собой крупную научно-техническую проблему, а ее внедрение требует значительных капиталовложений. Накопленный опыт позволяет выделить следующие основные принципы построения САПР.

1. *САПР — человеко-машинная система.* Все созданные и создаваемые системы проектирования с помощью ПК являются

автоматизированными, важную роль в них играет человек — инженер, разрабатывающий проект технического средства.

В настоящее время и по крайней мере в ближайшие годы создание систем автоматического проектирования не предвидится, и ничто не угрожает монополии человека при принятии узловых решений в процессе проектирования. Человек в САПР должен решать, во-первых, все задачи, которые не формализованы, во-вторых, задачи, решение которых человек осуществляет на основе своих эвристических способностей более эффективно, чем современная ЭВМ на основе своих вычислительных возможностей. Тесное взаимодействие человека и ЭВМ в процессе проектирования — один из принципов построения и эксплуатации САПР.

2. *САПР — иерархическая система*, реализующая комплексный подход к автоматизации всех уровней проектирования. Иерархия уровней проектирования отражается в структуре специального программного обеспечения САПР в виде иерархии подсистем.

Следует особо подчеркнуть целесообразность обеспечения комплексного характера САПР, так как автоматизация проектирования лишь на одном из уровней оказывается значительно менее эффективной, чем полная автоматизация всех уровней. Иерархическое построение относится не только к специальному программному обеспечению, но и к техническим средствам САПР, разделяемых на центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места проектировщиков.

3. *САПР — совокупность информационно-согласованных подсистем*. Этот очень важный принцип должен относиться не только к связям между крупными подсистемами, но и к связям между более мелкими частями подсистем. Информационная согласованность означает, что все или большинство возможных последовательностей задач проектирования обслуживаются информационно согласованными программами. Две программы являются информационно согласованными, если все те данные, которые представляют собой объект переработки в обеих программах, входят в числовые массивы, не требующие изменений при переходе от одной программы к другой. Так, информационные связи могут проявляться в том, что результаты решения одной задачи будут исходными данными для другой задачи. Если для согласования программ требуется существенная переработка общего массива с участием человека, который добавляет недостающие параметры, вручную перекомпоновывает массив или изменяет числовые значения отдельных параметров, то программы информационно не согласованы. Ручная перекомпоновка массива ведет к существенным временным задержкам, росту числа ошибок и поэтому уменьшает спрос на услуги САПР. Информационная несогласованность превращает САПР в совокупность автономных программ, при этом из-за неучета в подсистемах многих факторов, оцениваемых в других подсистемах, снижается качество проектных решений.

4. САПР — *открытая и развивающаяся система*. Существует, по крайней мере, две веские причины, по которым САПР должна быть изменяющейся во времени системой. Во-первых, разработка столь сложного объекта, как САПР, занимает продолжительное время, и экономически выгодно вводить в эксплуатацию части системы по мере их готовности. Введенный в эксплуатацию базовый вариант системы в дальнейшем расширяется. Во-вторых, постоянный прогресс техники, проектируемых объектов, вычислительной техники и вычислительной математики приводит к появлению новых, более совершенных математических моделей и программ, которые должны заменять старые, менее удачные аналоги. Поэтому САПР должна быть открытой системой, т. е. обладать свойством удобства использования новых методов и средств.

5. САПР — *специализированная система с максимальным использованием унифицированных модулей*. Требования высокой эффективности и универсальности, как правило, противоречивы. Применительно к САПР это положение сохраняет свою силу. Высокой эффективности САПР, выражаемой прежде всего малыми временными и материальными затратами при решении проектных задач, добиваются за счет специализации систем. Очевидно, что при этом растет число различных САПР. Чтобы снизить расходы на разработку многих специализированных САПР, целесообразно строить их на основе максимального использования унифицированных составных частей. Необходимым условием унификации является поиск общих черт и положений в моделировании, анализе и синтезе разнородных технических объектов. Безусловно, может быть сформулирован и ряд других принципов, что подчеркивает многосторонность и сложность проблемы САПР.

СТАДИИ СОЗДАНИЯ САПР

Создание и развитие САПР осуществляется самой проектной организацией с привлечением (при необходимости) других организаций-соисполнителей, в том числе научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений. Следует подчеркнуть, что создание САПР — сложная и трудоемкая работа, выполнение которой под силу только большому высококвалифицированному коллективу разработчиков.

Процесс создания САПР включает в себя восемь стадий: *предпроектные исследования, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочий проект, изготовление, отладка и испытание, ввод в действие*.

Руководство разработкой, внедрением, эксплуатацией и модернизацией систем и компонентов САПР в проектной организации должно заниматься специализированное подразделение, включающее группы специалистов соответствующих направлений.

Предпроектные исследования проводятся для выявления готовности конкретной проектной организации к внедрению автоматизированных методов. Основу этой работы составляет системное обследование объекта проектирования и используемых в инженерной практике традиционных методов и приемов проектирования, а также объема технической документации, разрабатываемой в процессе проектирования. Процесс обследования осуществляется главным образом опросом опытных проектировщиков и конструкторов.

В результате обследования определяется необходимость и экономическая эффективность создания автоматизированной системы. При этом учитывается объем проектно-конструкторских работ, их периодичность, общие затраты инженерного труда, возможность создания адекватного математического описания и оптимизационных процедур, необходимость повышения качественных показателей проектируемого изделия, сокращение сроков проектирования.

Существенным фактором при решении вопроса о целесообразности создания САПР является подготовленность соответствующего проектного подразделения к созданию и внедрению САПР. Подготовленность может быть оценена по следующим критериям:

- возможность формализации проектно-конструкторских задач и реализации математических методов их решения;
- наличие требуемых технических средств и необходимость приобретения и установки дополнительных агрегатов;
- подготовленность информационных фондов и технических средств хранения и обработки информации.

Кроме того, важно выявить факторы оценки подготовленности кадров для эксплуатации САПР, к которым можно отнести следующие:

- соответствие внедряемой системы принятой организации проектных работ;
- наличие в проектно-конструкторской организации кадров для эксплуатации и поддержания работоспособности САПР;
- отношение руководства организации к созданию системы и уровень организации этих работ;
- психологическая подготовленность коллектива к внедрению САПР.

Техническое задание (ТЗ) является исходным документом для создания САПР и должно содержать наиболее полные исходные данные и требования. Этот документ разрабатывает головной разработчик системы. ТЗ на создание САПР должно содержать следующие основные разделы:

Наименование и область применения, где указывают полное наименование системы и краткую характеристику области ее применения;

Основание для создания, где указывают наименование директивных документов, на основании которых создается САПР;

Характеристика объектов проектирования, где приводят сведения о назначении, составе, условиях применения объектов проектирования;

Цель и назначение, где перечисляют цель создания САПР, ее назначение и критерий эффективности ее функционирования;

Характеристика процесса проектирования, где приводят общее описание процесса проектирования, требования к входным и выходным данным, а также требования по разделению проектных процедур (операции), выполняемых с помощью неавтоматизированного и автоматизированного проектирования;

Требования к САПР, где перечисляют требования к САПР в целом и к составу ее подсистем, к применению в составе САПР ранее созданных подсистем и компонентов и т. п.;

Технико-экономические показатели, где оценивают затраты на создание САПР, указывают источники получения экономии и ожидаемую эффективность от применения САПР.

На стадиях *технического предложения, эскизного и рабочего проектирования* выбираются и обосновываются варианты САПР, разрабатываются окончательные решения. При этом выполняются следующие основные виды работ:

1. выявление процесса проектирования (его алгоритм), т. е. принятие основных технических решений;
2. разработка структуры САПР и ее взаимосвязи с другими системами (определение состава проектных процедур и операции по подсистемам, уточнение состава подсистем и взаимосвязи между ними, разработка схемы функционирования САПР в целом);
3. определение состава методов, математических моделей для проектных операций и процедур, состава языков проектирования, состава информации (объем, способы ее организации и виды машинных носителей информации), состава общего, специализированного общего и специального программного обеспечения;
4. формирование состава технических средств (ЭВМ периферийные устройства и другие элементы);
5. принятие решений по математическому, информационному, программному и техническому видам обеспечения по САПР в целом и отдельно по подсистемам;
6. расчет технико-экономических показателей САПР.

Оформление всей документации, необходимой для создания и функционирования САПР, выполняют на *стадии рабочего проектирования*.

На *стадии изготовления, отладки и испытания* производят монтаж, наладку и испытание комплекса технических средств автоматизации проектирования, на тестовых примерах доводят программное обеспечение и подготавливают проектную организацию к вводу в действие САПР.

Ввод в действие системы осуществляют после опытного функционирования и приемочных испытаний у заказчика.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РАБОЧИЕ МЕСТА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ

Автоматизированное рабочее место (АРМ) проектировщика представляет собой комплекс технических средств, который обеспечивает оперативный и легкий доступ оператора к ЭВМ и помогает реализации итерационных циклов проектирования при диалоговом режиме работы.

АРМ позволяет обмениваться с ЭВМ информацией в графической форме.

Функционально АРМы могут использоваться в качестве основы автономных САПР или подсистем функционально-логического, схемотехнического, приборно-технологического, конструкторского проектирования различных САПР РЭА.

Комплексы АРМ могут быть использованы в качестве:

- одного из уровней многоуровневых САПР,
- рабочих мест на уровне ЦВК,
- технологических комплексов для адаптации конструкторского проекта к различному технологическому оборудованию,
- одного из технологических маршрутов, включая совместную работу с управляющими ЭВМ технологического комплекса в режиме обратной связи,
- инструментальных комплексов для разработки системного и прикладного программного обеспечения для подсистем САПР.

Рассмотрим два режима работы АРМ: *автономный* и *непосредственной связи* с ЦВК.

В *автономном режиме* АРМ используются для решения отдельных проектных задач, не требующих высокой производительности и большого объема оперативной памяти. Как правило, они связаны с редактированием графической и текстовой информации и ее документированием.

В *режиме взаимодействия* с ЦВК осуществляется перераспределение вычислительной работы и обмен информацией между ЭВМ центрального вычислительного комплекса и терминальной ЭВМ.

Несколько АРМ одновременно могут работать в режиме взаимодействия с ЦВК. Следовательно, ЭВМ в составе САПР и их операционные системы должны допускать одновременное решение нескольких задач, т.е. должны работать в режиме мультипрограммирования.

По характеру обмена информацией между пользователем и ЭВМ различают *пакетный* и *диалоговый* режимы работы. Оба эти режима используются в САПР.

В *пакетном* режиме решаются задачи, для которых возможна и целесообразна полная формализация и которые требуют больших затрат машинного времени для решения.

В *диалоговом* (интерактивном) режиме решаются задачи, для которых, во-первых, отсутствуют или являются неэффективными формальные правила принятия решений в точках ветвления алгоритмов, во-вторых, выполняются условия предпочтительности диалогового режима:

- время реакции системы на запрос пользователя не превышает некоторого предела;
- объем информации, вводимой пользователем в ЭВМ в диалоговом режиме, относительно мал, и поэтому процедура общения человека с ЭВМ непродолжительна.

Наличие диалогового режима - характерная черта комплекса ТС в САПР.

Мультипрограммный диалоговый режим работы вычислительной системы называется режимом разделения времени (РРВ). Это режим работы нескольких АРМ во взаимодействии с ЦВК. Наличие РРВ реализует третье из названных выше требований.

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Совершенствование методов проектирования, в частности, использование методов многовариантного проектирования и оптимизации для поиска эффективных вариантов и принятия решений.

2. Повышение доли творческого труда инженера-проектировщика.

3. Повышение качества проектной документации.

4. Совершенствование управления процессом разработки проектов.

5. Частичная замена натурных экспериментов и макетирования моделированием на ЭВМ.

6. Уменьшение объёма испытаний и доводки опытных образцов в результате повышения уровня достоверности проектных решений и, следовательно, снижение временных затрат.

В настоящее время ситуация в области САПР технических систем сложилась таким образом, что образовался очевидный разрыв между специализированным информационным и программным обеспечением, реализующим проектный расчет изделий на различных этапах проектирования (специализированные САПР), и инструментальными средствами проектирования на ПК. Если в первом случае отечественная наука имеет неоспоримые приоритеты как в области математического моделирования технических систем, построения информационного и программного обеспечения, так и в области разработки процедур принятия

решений, то в области построения пространственных геометрических моделей деталей и узлов имеется существенное отставание от зарубежных разработок.

Инструментальные средства - это CAD/CAE/CAM системы, которые в последние годы в двигателестроении получили широкое распространение.

CAD/CAE/CAM системы предназначены для комплексной автоматизации проектирования, конструирования и изготовления продукции машиностроения. В них фактически объединены три системы разного назначения, разработанные на единой базе, аббревиатуры которых расшифровываются следующим образом:

Распределение CAD/CAE/CAM систем по этапам ТПП

Этап конструирования (CAD, CAE) предполагает объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерный анализ на расчётных моделях высокого уровня, оценку проектных решений, получение чертежей.

Функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на функции двухмерного (2D) и трехмерного (3D) проектирования. К функциям 2D относят черчение, оформление конструкторской документации; к функциям 3D — получение трехмерных геометрических моделей, метрические расчеты, реалистичную визуализацию, взаимное преобразование 2D и 3D моделей. Трехмерные модели представляют в виде описания поверхностей, ограничивающих деталь, или указанием элементов пространства, занимаемых телом детали. Модели поверхностей сложной формы получают с помощью разновидностей кинематического метода, к которым относят вытягивание заданного плоского контура по нормали к его плоскости, протягивание контура вдоль произвольной пространственной кривой, вращение контура вокруг заданной оси, натягивание поверхности между несколькими заданными сечениями. В случае построения скульптурных поверхностей, проходящих через заданные точки пространства, применяют модели в форме Безье, а при требованиях высокой гладкости поверхности — модели в форме В-сплайнов. Синтез моделей сборок выполняют применением операций позиционирования и теоретико-множественных операций пересечения, объединения, вычитания к библиотечным элементам и вновь созданным моделям комплектующих деталей. В ряде систем предусмотрено также выполнение операций компоновки и размещения оборудования, проведения соединительных трасс и т.п.

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.

Этап технологической подготовки производства (АСТПП) - на Западе называют CAPP (Computer Automated Process Planing) - предполагает разработку технологических процессов, технологической оснастки, управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ. Сюда входит задача САПР ТП - разработка технологической документации (маршрутной, операционной), доводимой до рабочих мест и регламентирующей процесс изготовления детали.

Конкретное описание обработки на оборудовании с ЧПУ в виде управляющих программ вводится в систему автоматизированного управления производственным оборудованием (АСУПР), которую на Западе называют САМ.

Основные функции САМ-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, расчет норм времени обработки.

Исходными данными для составления программ для станков с ЧПУ являются результаты конструкторского проектирования, поступающие из САД. Но возможно программирование и при наличии в качестве исходных данных лишь чертежа детали и параметров технологического процесса.

При программировании определяют и кодируют геометрию заготовки, траектории движения подвижных органов станка и параметры обработки. Для этих целей используют специализированные языки, примером которых может служить язык АРТ (Automatically Programmed Tools), относящийся к языкам высокого уровня. В языке АРТ имеются следующие группы команд:

- идентифицирующие — для указания названия обрабатываемой детали и типа используемого постпроцессора;
- геометрические — для указания геометрических особенностей детали;
- управляющие перемещениями режущего инструмента;
- управляющие режимами обработки (определяющие скорость подачи, скорость вращения шпинделя, включение охлаждения и т.п.);
- дополнительные (например, выбор инструмента).

Полученный исходный код на языке АРТ преобразуется в программу перемещений инструмента, управления подачей и т.п., представляемую в виде аппаратно независимого файла CLData (Cutter Location Data). Файл CLData поступает в постпроцессор, который переводит программу на язык, требуемый для конкретного типа контроллера. Этими языками пользуются не профессиональные программисты, а заводские технологи, поэтому желательно, чтобы языки были достаточно простыми, построенными на визуальных изображениях ситуаций. Во многих системах дополнительно используются различные схемные языки. Ряд языков стандартизован и представлен в международном стандарте IEC 1131-3.

Особое место в CAD/CAM-системах занимает процедура прототипирования — изготовления прототипов деталей или шаблонов, по которым детали будут изготавливаться.

Прототипирование — непосредственная реализация разработанной геометрической модели.

Для прототипирования широко используется стереолитография, основанная на построении трехмерного объекта из ряда слоев фотополимера, избирательно отверждаемого при облучении.

Процесс стереолитографии реализуется с помощью установки, в которой имеется ванна с жидким полимером и вертикально перемещаемая платформа. Платформа при формировании очередного слоя прототипа располагается ниже поверхности жидкого полимера на толщину одного слоя. Луч лазера перемещается по участку поверхности, повторяющему форму сечения прототипа. Этот участок затвердевает. Последовательно слой за слоем, начиная с нижнего слоя, формируется твердый прототип.

Процесс стереолитографии может быть использован для окончательного изготовления детали, если для нее полимер является подходящим материалом.

Наряду с стереолитографией используются и другие способы прототипирования, например, ламинирование (ЛОМ — Laminated Object Manufacturing), основанное на последовательном склеивании слоев рабочего материала, поступающего в форме рулона. В установке ламинирования лазер вырезает слой по форме требуемого сечения

САЕ системы

Системы, используемые для анализа и оценки функциональных свойств проектируемых двигателей, их систем, узлов и деталей, охватывают широкий круг задач моделирования упруго-напряженного, деформированного, теплового состояния, колебаний конструкции, стационарного и нестационарного газодинамического и теплового моделирования с учетом вязкости, турбулентных явлений, пограничного слоя и т.п. Наиболее распространены САЕ-системы, использующие решение систем дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов (МКЭ). Они делятся на универсальные системы анализа с использованием МКЭ и специализированные. В авиадвигателестроении наиболее известны такие универсальные системы, как Nastran, Ansys, отечественные ИСПА, КОСМОС и другие, позволяющие выполнять различные виды анализа на распределенном уровне. Специализированные системы МКЭ ориентированы на конкретные виды анализа. Примерами таких систем могут служить пакеты Flotran, Fluid, предназначенные для моделирования гидрогазодинамических процессов, OPTRIS - для моделирования деформаций и др.

Функции САЕ-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. В состав машиностроительных САЕ-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;

- расчет состояний моделируемых объектов и переходных процессов в них средствами макроуровня;

- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор.

Библиотеки конечных элементов (КЭ) содержат модели КЭ — их матрицы жесткости. Очевидно, что модели КЭ будут различными для разных задач (анализ упругих или пластических деформаций, моделирование полей температур, электрических потенциалов и т.п.), разных форм КЭ (например, в двумерном случае — треугольные или четырехугольные 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 КЭ 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.

PDM системы

Используются на всех этапах проектирования, позволяя осуществлять режим коллективного проектирования, автоматизируя функции управления, связанные с этим режимом: назначение и обеспечение качества ответственности, прав доступа, ведение базы данных проекта и т.д.

PDM, Product Data Management

Управление данными об изделии. Категория программного обеспечения, позволяющая сохранять данными об изделии в базах данных. К данным об изделии прежде всего относят инженерные данные, такие как CAD-модели и чертежи, цифровые макеты, спецификации материалов. Метаданные содержат информацию о создателе файла и текущем статусе соответствующей компоненты. Система PDM позволяет организовать совместный доступ к этим данным, обеспечивая их постоянную целостность, обеспечивает внесение необходимых изменений во все версии изделия, модифицировать спецификацию материалов, помогать конфигурировать варианты изделия. Однако самым важным преимуществом системы PDM является ее использование на протяжении всего жизненного цикла изделия в рамках концепции управления этим циклом. Большинство PDM-систем позволяют одновременно работать с инженерными данными, полученными от разных CAD-систем.

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

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. 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.

Интеграция с другими системами

С целью устранения избыточности данных и уменьшение временного цикла их передачи от проектировщиков на производство PDM-системы интегрируют с системами САХ в рамках PLM-систем.

УРОВНИ CAD/CAE/CAM СИСТЕМ

В зависимости от функциональных возможностей, набора модулей и структурной организации CAD/CAE/CAM системы можно условно разделить на три группы: легкие, средние и тяжелые системы.

Легкие системы. Это первый в сложившемся историческом развитии класс систем. К этой категории можно отнести такие системы, как AutoCAD, CAD-KEY, Personal Designer, ADEM, КОМПАС. Они, как правило, используются на персональных компьютерах отдельными пользователями. Такие системы предназначены в основном для качественного выполнения чертежей. Также они могут использоваться для двухмерного (2D) моделирования и несложных трёхмерных построений.

Эти системы достигли в последнее время высокого уровня совершенства. Они просты в использовании, содержат множество библиотек стандартных элементов, поддерживают различные стандарты оформления графической документации.

Системы среднего класса. Сравнительно недавно появившийся класс относительно недорогих трёхмерных CAD систем. К нему относятся системы AMD, Solid Edge, Solid Works и т.д. Их появление связано с увеличением мощности персональных компьютеров и развитием операционной системы. С их помощью можно решать до 80% типичных машиностроительных задач, не привлекая мощные и дорогие CAD/CAM системы тяжёлого класса.

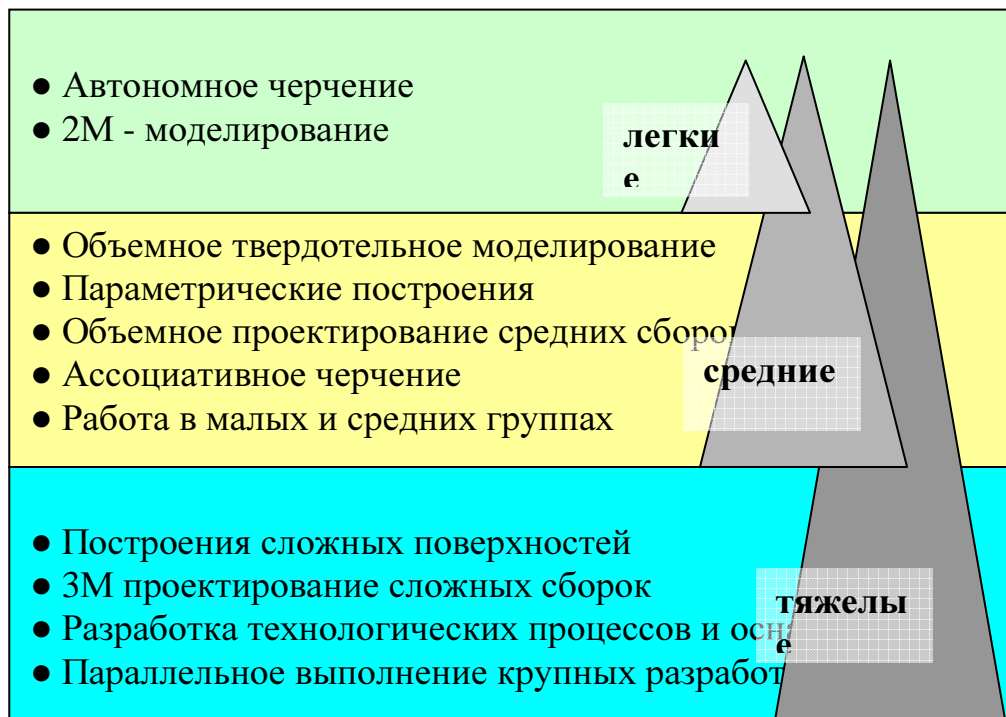
Большинство систем среднего класса основываются на трёхмерном твёрдотельном моделировании. Они позволяют проектировать большинство деталей общего машиностроения, сборочные единицы среднего уровня сложности, выполнять совместную работу группам конструкторов. В этих системах возможно производить анализ пересечений и зазоров в сборках

Системы тяжёлого класса. Такие системы предоставляют полный набор интегрированных средств проектирования, производства, анализа изделий. В эту категорию систем попадают CATIA, Unigraphics, Pro/ENGINEER, CADD5, EUCLID, Cimatron. Они используют мощные аппаратные средства, как правило, рабочие станции с операционной системой UNIX.

Системы тяжёлого класса позволяют решать широкий спектр конструкторско-технологических задач. Кроме функций, доступных системам среднего класса, тяжёлым CAD/CAM системы доступно:

- проектирование деталей самого сложного типа, содержащих очень сложные поверхности;
- выполнение построения поверхностей по результатам обмера реальной детали, выполнения сглаживания поверхностей и сложных сопряжений;
- проектирование массивных сборок, требующих тщательной компоновки и содержащих элементы инфраструктуры (кабельные жгуты, трубопроводы);
- работа со сложными сборками в режиме вариантного анализа для быстрого просмотра и оценки качества компоновки изделия.

Классы CAD/CAM систем и объёмы выполняемых функций



Можно утверждать, что в будущем для автоматизированной разработки двигателей преимущественно будут использоваться тяжелые системы во взаимодействии со специализированными САПР, поскольку они значительно снижают трудоемкость проектирования и конструирования.

CAD/CAE/CAM системы и системы класса PDM позволяют организовать параллельное проектирование - коллективный режим работы над проектом, когда одновременно большое количество специалистов работает над различными частями и стадиями проекта изделия как в рамках ОКБ, так и в рамках виртуальной корпорации (с распределёнными смежниками). Все это дает новое качество - проектирование и изготовление превращается в виртуальную технологию изготовления компьютерного макета изделия.

МОДУЛЬНОСТЬ CAD/CAE/CAM СИСТЕМ

Значительная часть современных САПР состоит из нескольких модулей: сборки, механообработки, управления инженерными данными и т.п. Их объединяет общая методология и инструментальные средства. Высокая степень интеграции модулей конструирования и технологической подготовки производства обеспечивает преобразование графической информации об объекте в табличную, используемую при технологическом проектировании. Геометрические объекты, имеющие математическое описание, аппроксимируются с заданной точностью кривыми и поверхностями.

Объединение модулей конструкторских и технологических разработок в единую САПР снижает стоимость и уменьшает время выхода новой продукции на рынок, позволяет конструировать детали с учетом их технологичности и используемого материала (пластмасса, металлический лист).

Модульная архитектура САПР облегчает расширение системы и адаптирование ее в соответствии с требованиями пользователя, позволяет приобретать только необходимые компоненты. Многие САПР снабжены контекстно-зависимыми справочниками и собственными базами данных или предлагают интерфейс с существующими базами данных. Использование языков программирования позволяет вам создавать собственные специализированные приложения.

Для современных CAD/CAM систем характерен модульный принцип построения. Ниже перечислен состав базовых модулей для CAD, CAM и PDM систем.

Модули CAD систем:

- создание объемной модели детали и узлов со статическим анализом собираемости изделий;
- проектирование поверхностей любой сложности;
- параметризация размеров деталей;
- оформление сборочных и моделировочных чертежей по объемным моделям в соответствии со стандартами;
- фотореалистичское отображение изделия с учетом текстуры материала, цвета и шероховатости поверхности;
- вывод изображения на плоттер;
- импорт-экспорт модели между различными CAD через интерфейсы.

Модули CAM систем:

- проектирование технологических процессов изготовления продукции и оснастки;
- динамический контроль процесса сборки;
- выбор параметров холодной штамповки (имитируется весь процесс штамповки, в том числе «наложение» штамповочных приспособлений на поверхность детали);
- создание и отладка программ для станков с ЧПУ (моделируется кинематика станка, его рабочая зона, стойка управления, заготовка, ее крепление и инструмент; на экране подробно отображается процесс обработки);
- оптимизация параметров процессов литья деталей из пластмасс;
- модули программирования для станков с ЧПУ;
- создание, редактирование и моделирование программ измерения и контроля соответствия детали ее объемной модели с помощью координатно-измерительной машины.

Модули PDM систем:

- управление общей для разработчиков базой данных;
- информационно-поисковая система документирования;
- автоматизированное распределение задач между разработчиками;
- задание статуса каждого разработчика;
- определение структуры информационных потоков;
- определение комплекта документации;
- контроль изменений;
- контроль выполнения сетевого план-графика проекта;
- контроль полноты разнородной информации об изделии:
- геометрические данные (модель с размерами и допусками);
- чертежи;
- характеристики материалов;
- спецификации;
- результаты прочностных расчетов;
- технологические процессы изготовления;
- программы для станков с ЧПУ;
- стоимости компонентов;
- фотореалистические изображения и пр.;
- автоматизированное создание отчетов о проектах по этим данным;
- архивирование.

Уровни архивирования модели изделия

Электронная модель изделия, состоящая из перечисленных данных, проходит в процессе создания три уровня архивирования:

- архив разработчика;
- архив группы разработчиков;
- общий архив готовых проектов.

Перемещение информации на более высокий уровень происходит в результате «электронной подписи» лица, принимающего решение.

ИНТЕГРАЦИЯ В CAD/CAE/CAM СИСТЕМАХ

Определение геометрических моделей объектов

Сущность интеграции состоит в способности создавать данные для одного приложения и при малых изменениях использовать их для другого приложения. CAD/CAE/CAM являются интегрированными системами. Интеграция в них осуществляется через геометрические модели объектов, которые подвергаются соответствующим преобразованиям. Компьютерные геометрические модели – это способ представления данных о проектируемом объекте, его форме, размерах, ориентации в пространстве, связях с другими деталями и пр.

Интеграция геометрических и конечно-элементных моделей

Интеграция CAD и CAE систем заключается в том, что конечно-элементная модель, необходимая для инженерного расчёта в CAE системе, строится по геометрической модели в CAD системе. Для такого построения в CAD системах используется приложение FEM (Finite Element Modeling – конечно-элементное моделирование). При преобразовании геометрической модели в модель конечных элементов пользователь наносит на геометрическую модель сетку, то есть разбивает её на конечное число элементов, каждый из которых идентифицируется координатами своих узлов X, Y, Z и взаимосвязью с соседними элементами (см. рисунок).

Для более точного представления областей высоких нагрузок в этих областях элементы сетки измельчаются, что означает размещение в этой области большего числа элементов, чем это предполагается равномерным разбиением. Затем указываются места закрепления детали и точки приложения векторов сил. Эта информация воспринимается программой, которая имитирует возникновение нагрузок на модель. Затем по модели конечных элементов создаются данные, представляющие координаты узлов сетки и другую информацию, которая необходима для программ анализа (ANSYS, STAR-CD и др.). Эти программы осуществляют анализ. В зависимости от запросов результаты анализа могут представлять данные о давлении и напряжении на каждый элемент, температуре, видах колебаний, деформации модели. Информацию о результатах можно представить графически.

Процесс анализа часто является итерационным – тем самым оптимизируется проект. В результате анализа, например, может быть выявлена концентрация напряжений, которая выходит за пределы допустимых характеристик материала детали. Эти факты, обнаруживаемые в процессе анализа, обуславливают конструкторские изменения, такие, как размещение добавочных опор, утолщение, переопределение нагрузки, изменение типа материала или другие корректирующие действия. После выполнения этих исправлений геометрия модели может измениться.

Использование геометрической модели для технологической подготовки производства

Интеграция CAD/CAM систем заключается в том, что геометрическая модель объекта используется для разработки технологических процессов изготовления и контроля реальной детали, для проектирования заготовки – путём добавления к ней технологических припусков и расчёта размерных технологических цепей, для проектирования литейной и штамповой технологической оснастки.

При проектировании литейной и штамповой технологической оснастки на первом этапе осуществляется доработка геометрической модели детали с учётом термодинамических свойств материала детали, т.е. конструктор определяет усадку материала, в соответствии с которой вводятся различные коэффициенты масштаба по осям координат. На

втором этапе производится назначение литейных или штамповочных припусков на механическую обработку и вновь корректируется геометрическая модель. Таким образом производится переход от геометрической модели детали к геометрической модели заготовки – отливки или штамповки. На третьем этапе в CAD/CAM системах, например, в Power Mill, по полученным геометрическим моделям заготовки конструируется технологическая оснастка:

- строятся поверхности и линии разъемов;
- определяются формирующие элементы - полуформы для отливок, вставки для пресс-форм, комплекты «матрица – пуансон» для штамповок;
- формируются управляющие программы для станков с ЧПУ для изготовления оснастки;
- производится изготовление оснастки, причём формообразующие поверхности изготавливаются либо механической обработкой на станках с ЧПУ, либо электроэрозионной обработкой также на станках с ЧПУ;
- производится получение изделия в соответствии с разработанным технологическим процессом, контроль на контрольно – измерительных машинах и сравнение полученных контуров с геометрической моделью детали.

При удовлетворительных результатах следует изготовление опытно – промышленной партии деталей, сборка и испытание изделия.

Одним из современных способов использования геометрических моделей в технологической подготовке производства является стереолитография (технология Quick Cast). Этот метод предполагает получение в CAD/CAM системе по геометрической модели стереолитографической модели (файл типа .stl) и выращивание тела детали из жидкого полимера под воздействием луча лазера, движение которого осуществляется на основе .stl - модели. Точность такого макета $\pm 0,05$ мм. Такие макеты могут использоваться как слепки для последующего литья восковых моделей, применяемых в литейном производстве. Для лопаток, например, полимерные модели, полученные методом стереолитографии, можно использовать для аэродинамических испытаний, предварительных прочностных испытаний и проверки на собираемость лопаточных решёток.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ (ЦИФРОВЫХ) ДОКУМЕНТОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ

Практически все, с чем мы сталкиваемся в повседневной жизни (и особенно - на работе), пришло в этот мир в виде технической документации, описаний и чертежей различного формата. Инженерная мысль - чем дальше, тем больше - нуждается в инструментах, которые бы

соответствовали уровню решаемых проблем. Цифровая конструкторская документация по сравнению с традиционными, выполненными на бумаге, обладают следующими преимуществами.

1. Повышение производительности труда

В САПР повторяющиеся операции можно выполнить одной командой, симметричные части можно начертить в определенной области чертежа, а затем для копирования использовать операции симметрии, проще осуществляется исправление (редактирование чертежа) - при этом результат исправления незаметен. После выполнения чертежа можно получить его копию на принтере или плоттере. Чертеж получается в полном соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД, чистым и аккуратным.

В САПР цифровой документ легко вызвать, изменить и вновь сохранить на диске компьютера. Легко создаются различные варианты проектов, труд проектировщика становится в значительной мере творческим. САПР берет на себя выполнение рутинной работы и делает труд чертежника и конструктора более производительным.

2. Точность

САПР обеспечивает большую точность выполнения чертежа и трехмерных моделей. Пространственное положение можно задать с точностью до четырнадцати значащих цифр, все линии чертежа ясные и чистые, весь текст четкий. Измерения можно проводить непосредственно на чертеже, не прибегая к использованию масштабного множителя.

3. Хранение чертежей, выполненных в САПР, требует существенно меньше физического пространства по сравнению с хранением традиционных чертежей. Электронные документы "вечны", срок их жизни практически не ограничен.

Резервное копирование содержимого электронного архива чертежей и введение автоматизированной системы доступа к информации гарантирует сохранность документов.

4. Простой доступ к чертежу и легкость его передачи

Процесс поиска и просмотра чертежей значительно проще, если он выполнен в САПР. Чертеж может быть передан электронным способом в любую точку страны или по всему миру, тогда как твердые копии (чертежи на бумаге) потребуют для этого дни и недели. Резко упрощается тиражирование электронных чертежей.

5. Цифровые документы могут содержать гиперссылки на связанные с ними материалы, звук, видео и т.п.

6. В современных условиях многие организации, особенно иностранные, не принимают бумажные копии конструкторской документации.

Этапы жизненного цикла изделия и деятельность по их реализации

Современный этап развития производственных сил характеризуется высоким уровнем конкуренции между производителями. Главным направлением в конкурентной борьбе становится не снижение себестоимости продукции, а повышение ее качества и максимальное ее соответствие конкретным требованиям конкретного потребителя.

Этапы жизненного цикла (ЖЦ) изделия и деятельность по их реализации

Этапы жизненного цикла	Деятельность
Замысел и проектирование	Маркетинг Формирование портфеля заказов
Производство	Планирование производства Организация производства Оперативное управление производством
Эксплуатация и ремонт	Хранение Сбыт Обеспечение и подтверждение соответствия изделия заданным характеристикам Сервисное обслуживание
Утилизация	Демонтаж Переплавка Захоронение

Процессы, обеспечивающие жизненный цикл изделия, сопровождаются мощными информационными и материальными потоками. Для их изучения и управления служит логистика.

Логистика – наука об управлении информационными и материальными потоками.

Информация об изделии по этапам его ЖЦ

Весь объем информации об изделии можно распределить по этапам его жизненного цикла.

1. *Конструктивные данные об изделии (КДИ)* – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе проектирования изделия. Содержат сведения о составе изделия, о геометрических моделях изделия, об отношениях компонентов в структуре изделия, о допусках на изготовление деталей и т.д.

2. *Технологические данные об изделии* – совокупность информационных объектов, порождаемых на стадии технологической подготовки производства и ассоциированных с конструкторскими данными об изделии. Содержат сведения о способах изготовления и контроля изделия и его компонентов, описание маршрутных и операционных технологий, нормы времени и расхода материала и т.д.

3. *Производственные данные об изделии* – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе производства,

ассоциированная с КДИ. Содержит сведения о статусе конкретных экземпляров изделия и его компонентов в производственном цикле (серия, номер серии, дата производства, место хранения).

4. *Данные о качестве изделия* – совокупность информационных объектов, порождаемых при выполнении всех видов контроля, ассоциированная с КДИ. Содержит информацию о степени соответствия конкретных экземпляров изделия и его компонентов заданным технологическим требованиям, требованиям стандартов и других нормативно-технических документов.

5. *Логистические данные* – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе проектирования и производства. Содержит сведения, необходимые для интегрированной логистической поддержки изделия на постпроизводительных стадиях жизненного цикла изделия.

6. *Эксплуатационные данные об изделии* – совокупность информационных объектов, содержащая необходимые сведения для организации обслуживания, ремонта и других действий, обеспечивающих работоспособность изделия.

Необходимость увязки огромного количества разнородной информации вызвало к жизни новую информационную технологию – CALS-технологию.

Аббревиатура CALS

Расшифровка CALS менялась со временем.

1985 год – Computer Aided of Logistics Support (Автоматизированные логистические системы)

1988 год - Computer Aided Acquisition and Support (Автоматизированные поставки и поддержка)

1993 год - - Computer Aided Acquisition and Life-Cycle Support (Автоматизация непрерывных поставок и жизненного цикла)

1995 год – Commerce At Life Speed (Бизнес в высоком темпе)

Определение 2. Под CALS-технологией понимается принципиально новая компьютерная система электронного описания процессов разработки, комплектации, производства, модернизации, сбыта, эксплуатации, сервисного обслуживания и утилизации продукции военного, гражданского и двойного назначения.

Назначение и области применения CALS – технологий

CALS-технологии предназначены для применения в различных областях:

- в производстве промышленной продукции;
- банковской деятельности;
- здравоохранении;
- строительстве и т.д.

Для обеспечения взаимопонимания разработчиков, поставщиков материалов и комплектующих изделий, изготовителей и потребителей продукции, применяющих системы электронного обмена данными, разработан комплекс международных стандартов по CALS-технологиям.

Существующие сегодня в промышленности технологии относятся к определенным этапам ЖЦИ (конструирование, разработка технологии, планирование производства и т.п.). При этом отсутствует возможность информационного взаимодействия между ними. Возникающие при этом издержки западными аналитиками оцениваются для США в десятки миллионов долларов в год.

Внедрение международных стандартов по CALS-технологиям позволяет интегрировать в одну систему комплекс материальных и информационных потоков, существующих на всех этапах жизненного цикла.

Концепция CALS-технологий на первом этапе ее разработки заключалась в унификации и объединении разнотипных компьютерных сетей промышленных корпораций с целью создания глобальной системы закупок и материально-технического снабжения, используемой при создании сложной машинотехнической продукции, в том числе вооружения и военной техники. В ходе выполнения программы реализации CALS-технологий ее первоначальный замысел существенно трансформировался и в настоящее время превратился в инструмент компьютерного проектирования, производства, поставок, эксплуатации сложных технических изделий, а также профилактических и ремонтных работ в процессе их эксплуатации.

Одна из основных идей CALS – это возможность включения описания всех видов изделий в единую общую структуру, допускающую обработку различных типов данных и порожденных производных описаний свойств изделий в этой единой структуре.

Современные направления развития CALS

В настоящее время в CALS выделяют следующие направления:

методы анализа бизнес-процессов;

методы и средства параллельного проектирования;

технологии логистики;

практическое использование технологий Интернет;

электронная документация на изделие;

информационная безопасность;

унифицированная модель изделия от проектирования до утилизации (ISO 10303-STEP);

юридические вопросы информационного взаимодействия предприятий.

Цели использования CALS-технологий:

сокращение затрат на реализацию ЖЦИ в целом;

повышение эффективности и сокращение затрат в бизнес-процессах;

повышение конкурентоспособности и рыночной привлекательности производимой продукции;
создание предпосылок для сохранения и расширения рынков сбыта.

Стандарты CALS

Основной стратегией разработки и внедрения CALS является создание единой индустриальной информационной инфраструктуры. При этом приоритет отдается разработке международных стандартов, подготовка и принятие которых проводится через международный комитет по стандартизации (ISO). Затем эти стандарты адаптируются в каждом государстве на законодательном уровне.

Типы стандартов:

1. Функциональные стандарты (ФС) – определяют процессы и их взаимосвязи, исходя из целевых потребностей пользователя. ФС включают описания информационного содержания процессов (функций) конкретных проблемных областей, формирующих требования к информации, необходимой для реализации этих процессов.

Пример. MIL-HDBK-99 - «Руководство по программе применения компьютерного обеспечения и технологического оборудования министерства обороны» (США).

2. Технические стандарты (ТС) – предлагают общий набор правил для цифрового обмена информацией.

Пример. ISO 9660 и MIL-SID-1840B.

3. Информационные стандарты управления (ИСУ) – дают общее определение информационных элементов, атрибутов, отношений, защиты данных и достижимости данных.

Пример. SGML, STEP, CGM.

Стандарты CALS обеспечивают единое представление текста, графики, информационных структур и данных о проекте, производстве и сопровождении. Также CALS-стандарты обеспечивают единый интерфейс к информации прикладных программ.

STEP-стандарт для описания данных об изделии

С середины 80-х годов многие страны вели и ведут в рамках ISO работы по созданию международного стандарта по описанию, передаче и хранению данных об изделии, а также программных инструментов, обеспечивающих поддержку такого стандарта.

Наилучшее решение в этой области реализовано в фундаментальном стандарте CALS-ISO 10303 (неофициальное название STEP – Standart of the Exchange of Product model data).

Цель стандарта – предоставить нейтральный механизм описания данных о продукте на всех стадиях его жизненного цикла.

На сегодняшний день STEP обеспечивает обмен информацией между CAD/CAM системами и системами управления проектами и охватывает:

с точки зрения технологии – механообработку и электронику;

с точки зрения этапов ЖЦ – этап проектирования;
с точки зрения описания свойств изделия – геометрию (форму и размеры).

Основными компонентами STEP являются:

Язык Express - это язык информационного моделирования, предназначенный для описания структуры информационной модели и накладываемых ограничений. Язык обеспечивает описание информационных сущностей (объектов), их атрибутов и связей.

Стандартные решения – структура физического ASCII-файла для хранения модели (так называемый «обменный файл»).

Базовые информационные модели – готовые Express схемы для разных прикладных областей. Для специальных приложений могут быть разработаны свои схемы, и такая работа в рамках ISO ведется постоянно.

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ

PLM, Product Lifecycle Management

Управление жизненным циклом изделия. Данный термин используется для обозначения процесса управления полным циклом изделия - от его концепции, через проектирование и производство до продаж, послепродажного обслуживания и утилизации. PLM - это набор возможностей, которые позволяют предприятию эффективно обновлять свои продукты и релевантные услуги на протяжении полного бизнес-цикла. PLM - это один из четырех краеугольных камней в ИТ-структуре любого производственного предприятия. Всем компаниям необходимо уметь работать с клиентами и поставщиками, а также управлять ресурсами предприятия. В дополнение к этому машиностроительным компаниям необходимо уметь разрабатывать, описывать, управлять и распространять информацию об их изделиях, для чего нужно PLM. Ключевые компоненты PLM - это управление данными об изделии (см. PDM), совместное проектирование изделия, управление производственными процессами.

Внедрение PLM позволяет:

- сократить время выхода изделия (или его модификации) на рынок,
- улучшить качество изделия,
- уменьшить стоимость прототипирования,
- повторно использовать оригинальные данные об изделии,
- проводить оптимизацию изделия,
- уменьшить отходы и ущерб окружающей среде,
- сэкономить благодаря полной интеграции инженерных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Полухин, П.И.** Физические основы пластической деформации : учебное пособие для вузов / П.И. Полухин, С.С. Горелик, В.К. Воронцов. – М. : Металлургия, 1982. – 584 с.
2. **Громов, Н.П.** Теория обработки металлов давлением / Н.П. Громов. – М.: Металлургия, 1967. – 340 с.
3. **Сторожев, М.В.** Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов.– 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 424 с.
4. **Евстратов, В.А.** Теория обработки металлов давлением /В.А. Евстратов.– Харьков: Высшая школа, 1981. – 248с.
5. **Овчинников, А.Г.** Физико-технологическая механика. Учебное пособие. Раздел «Физическая природа пластической деформации» / А.Г. Овчинников.– М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1980. – 70 с.

Навчальне видання

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОСНАЩЕННЯ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

ДЛЯ СТУДЕНТІВ ВСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

СПЕЦІАЛЬНОСТІ

“ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ”

(Російською мовою)

Укладач: КОСЕНКО Максим Вікторович
Редактор О.М. Болкова

75/2008. Підп. до друку . Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Ум.друк.арк. Обл.-вид. арк.
Тираж прим. Зам. №

Видавець і виготовник
«Донбаська державна машинобудівна академія»
84313, м. Краматорськ, вул.. Шкадінова, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.03.