

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И Н С Т И Т У Т
И Н Ф О Р М А Ц И И
А В Т О М О Б И Л Ь Н О Й
П Р О М Ы Ш Л Е Н Н О С Т И**



0 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

**СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ
СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ
ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ
(Основные концепции)**

Обзорная информация

Москва 1984

МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ
АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(НИИНАВТОПРОМ)

0 Общие вопросы автомобилестроения

УДК 658.512.2.011.56:681.3

Е.П. ВЕЛИХОВ, В.Б. БЕТЕЛИН, Ю.С. ВИШНЯКОВ,
В.Д. КАЛЬНЕР, А.И. СТАВИЦКИЙ

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ
СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ
ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ
(Основные концепции)

Обзорная информация

Москва 1984

В работе рассмотрены основные концепции построения интерактивной графической системы, позволяющей конструктору на разных этапах проектирования использовать ЭВМ для создания и накопления компьютерных машиностроительных изделий



Научно-исследовательский институт информации
автомобильной промышленности
(НИИНавтопром), 1984

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Повышение технического уровня современных изделий машиностроения при сокращении сроков их создания не может быть достигнуто без оптимизации параметров конструкции на ранних стадиях проектирования и широкой автоматизации инженерного труда на основе использования электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Применение для этих целей ЭВМ во всех сферах управления производством уже давно стало привычным делом. Что же касается рационализации труда в конструкторских и проектно-технологических службах, то использование вычислительной техники для выполнения инженерных расчетов было на протяжении длительного периода практически единственной формой компьютерной поддержки проектирования.

Разработка в последние годы различных интерактивных графических устройств, используемых совместно с ЭВМ, коренным образом изменила положение дел и создала предпосылки для автоматизации труда конструктора на всех этапах его работы. В тот же период возникло понятие о системе автоматизации проектирования (САПР), которое первоначально толковалось прежде всего как обработка графической информации в режиме диалога человека с ЭВМ.

Сейчас термин САПР (и это достаточно справедливо) употребляется в широком смысле – от механизации расчета шестерен до полной автоматизации отдельных этапов проектирования (например, автоматизация построения внешних поверхностей автомобиля, самолета, судна и т.д.). Однако при этом часто упускается из вида то обстоятельство, что несмотря на высокую оснащенность современных КБ средствами вычислительной техники и развитыми расчетными системами программного обеспечения, традиционные способы работы конструкторских служб до настоящего времени практически не изменились. Реальные перемены могут возникнуть при создании новых способов проектирования, основанных на интерактивной обработке графических данных, которые составляют 80–90 % всей информации, возникающей на стадии создания объектов машиностроения.

Поэтому в данной работе под САПР понимается человеко-машинная система, основанная на графическом и текстовом взаимо-

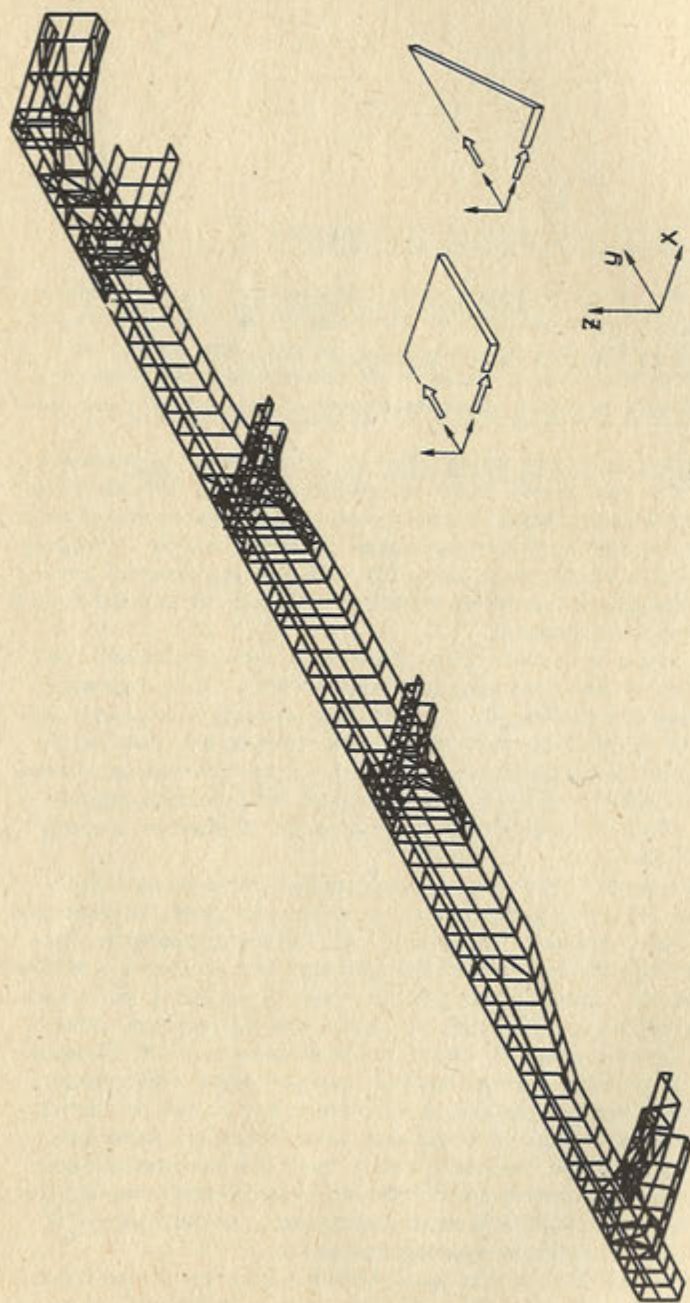


Рис. 1. Конечнo-элементная модель рамы автомобиля ЗИЛ-130

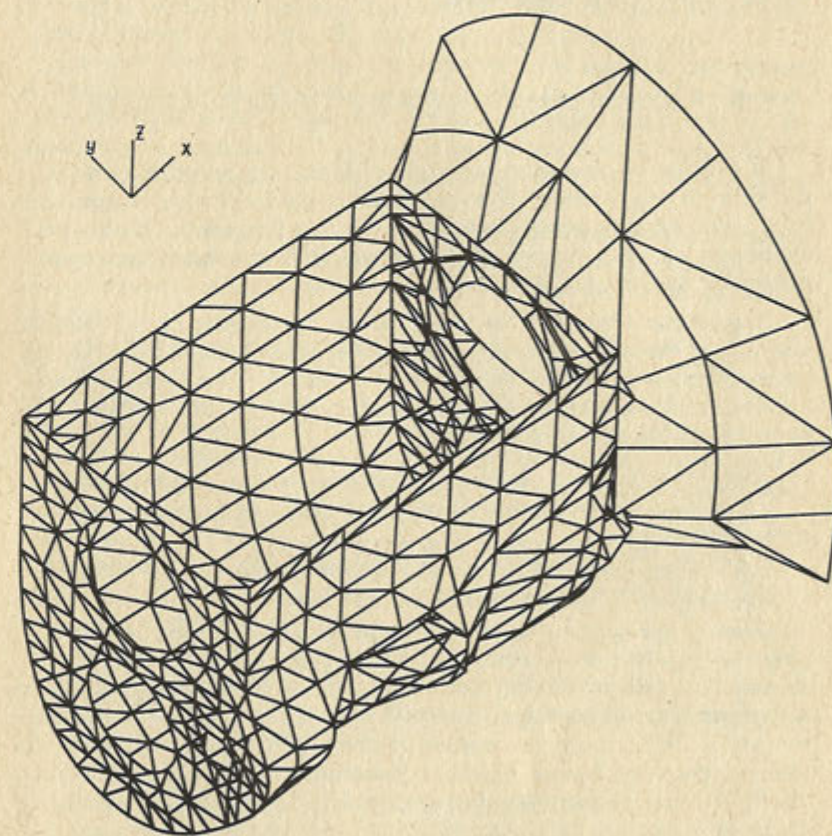


Рис. 2. Конечнo-элементная модель картера коробки передач автомобиля ЗИЛ-130

действии конструктора с электронной вычислительной машиной на стадиях проектирования и конструирования.

Цель САПР – создание и накопление компьютерных моделей машиностроительных изделий, которые содержат данные, необходимые для работ по подготовке их производства. Здесь и в дальнейшем под моделью мы будем понимать модель изделия в широком смысле, т.е. всю совокупность геометрических (в частности, конечно-элементных, рис. 1, 2), прочностных, кинематических, сборочных и других моделей изделия, которые создаются конструкторами и технологами. Например, “компьютерный чертеж изделия” или его вспомогательные модификации будут широко использованы при разработке технологии и конструировании

технологической оснастки. Это позволит, в частности, упразднить наиболее трудоемкую стадию создания программ (описание геометрии) для станков с числовым программным управлением.

Другим примером может служить использование компьютерных моделей в качестве исходных для управления контрольными автоматами или гибкими производственными линиями. Конечно, и здесь технолог или технолог-конструктор будет применять технические средства и программное обеспечение САПР, дополняя с их помощью единую инженерную базу данных предприятия.

Учитывая, что САПР – комплексное использование вычислительной техники для решения самых разнообразных задач, возникающих на стадии проектирования, рассмотрим только вопросы создания основного компонента – интерактивной системы обработки графической информации.

II. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время процесс разработки конструкции условно делится на ряд этапов. В этом разделе рассматриваются возможные направления автоматизации наиболее рутинных работ, возникающих на этих этапах, и формулируются проблемы, которые являются ключевыми при создании САПР.

Для этапа эскизного проекта, когда определяются основные концепции будущей машины, значение интерактивных графических систем невелико. Основную роль на данном этапе будут играть системы моделирования и информационные системы на базе ЭВМ, которые должны обеспечить:

эффективный поиск наиболее подходящего прототипа изделия; модельный просчет основных характеристик и параметров будущего изделия;

прогнозирование ресурсов, необходимых для проектирования, конструирования и перестройки производства.

Этап технического проекта содержит значительное число задач, где требуется использовать автоматизированные рабочие места, тем самым осуществив качественные изменения в работе конструктора. Замена кульмана на графический дисплей, подключенный к ЭВМ, дает конструктору возможность, используя трехмерные геометрические модели объектов, осуществить многовариантную компоновку изделия, которая в сочетании с математическими моделями позволит получать оптимальную конструкцию. На этапе создания рабочей конструкторской документации, используя двухмерные возможности САПР, можно будет повысить производительность и качество работы конструктора, связанных с выпуском и изменением рабочих чертежей.

II.1. Основные задачи автоматизации

Одной из основных задач конструктора является создание геометрических моделей изделия и всех его компонентов. Геометрические модели существенно используются при проведении прочностных, кинематических и других конструкторских расчетов, при моделировании процесса сборки, а также при создании значительной части документации для изготовления изделия. Традиционным способом задания геометрической модели изделия является чертеж.

Основные инструменты, используемые конструктором в настоящее время в процессе проектирования, – линейка, циркуль, карандаш, иногда лекала или трафареты. С помощью этих инструментов создается чертеж как совокупность базовых геометрических объектов: точек, отрезков, дуг окружности и др.

Для выполнения чертежа современного изделия от конструктора требуется совершить множество рутинных операций в процессе построения геометрической модели. Традиционно конструирование нового изделия во многих случаях начинается не с "нуля", а в качестве основы используется некоторый уже существующий прототип.

Итак, исходными данными для этапа рабочей конструкторской документации являются чертежи на некоторые аналогичные, ранее разработанные изделия, а выходом – документация на новую машину.

Автоматизация различных этапов создания изделий предполагает наличие во вторичной памяти вычислительной машины трехмерной геометрической модели прототипа изделия. Например, проведение прочностных расчетов требует ввод в ЭВМ конечно-элементного приближения изделия, которое строится на основе его точного геометрического образа. Аналогичная ситуация возникает при моделировании на ЭВМ процессов компоновки или сборки изделия, проведении кинематических расчетов и т.д.

Таким образом, первоочередной задачей автоматизации конструирования представляется задача построения конструктором с помощью ЭВМ указанных параметризованных трехмерных геометрических моделей. Должна быть также решена и другая задача – накопление их во вторичной памяти ЭВМ. Все это вместе с некоторой дополнительной информацией описательного характера образует базу данных конструктора.

II.2. Новая технология работы конструктора

Использование конструктором ЭВМ для построения и хранения геометрической модели проектируемого изделия требует разработки новой технологии его работы.

Можно выделить два основных подхода к решению этой задачи.

Первый наиболее целесообразен при конструировании деталей изделия и изготовлении чертежей. Он основывается на традиционном представлении геометрической модели изделия в виде множества плоских проекций и сечений, по которым ЭВМ может автоматически реконструировать трехмерный образ. Это можно понять, рассматривая детали, образованные телами вращения. Их объемный образ получается поворотом плоского сечения вокруг оси симметрии. Построение этих проекций и сечений ведется конструктором в режиме графического диалога с ЭВМ с помощью набора операции как над базовыми объектами типа точка, отрезок, дуга окружности, так и над составными геометрическими объектами, построенными на базовых. Например, из базы данных конструктора во вторичной памяти ЭВМ можно выбрать фрагмент некоторой ранее созданной параметризованной модели. С помощью задания параметров конструктор может изменить первоначальные размеры или взаимное расположение отдельных компонентов и полученный составной геометрический объект включить в создаваемую модель.

Системы автоматизации этого типа должны обеспечивать конструктору при работе за графическим терминалом следующие основные возможности:

создание или исключение на плоскости базовых геометрических объектов типа точка, отрезок, дуга окружности, кривая, заданная сплайном;

выполнение над базовыми объектами операций сдвига, поворота, масштабирования, копирование базовых объектов; построение двумерных контуров из базовых объектов; построение видов и сечений; полуавтоматическая генерация размерных линий; генерация надписей и штриховок внутренних частей сечений (рис. 3).

Второй подход, который заключается в том, что конструктор в режиме диалога с ЭВМ создает трехмерную геометрическую модель проектируемого изделия. При этом в качестве базовых объектов он использует следующее:

объемы, ограниченные поверхностями (конусы, цилиндры, сферы и т.д.); поверхности, ограниченные контурами (конические, сферические и др.); контуры; отрезки, точки.

Набор операций над этими объектами включает операции объединения, пересечения, поворота, сдвига, изменения масштаба и т.д.

Можно выделить три типа трехмерных геометрических моделей:

1. Трехмерные "проволочные" модели, построенные из плоских контуров (рис. 4).

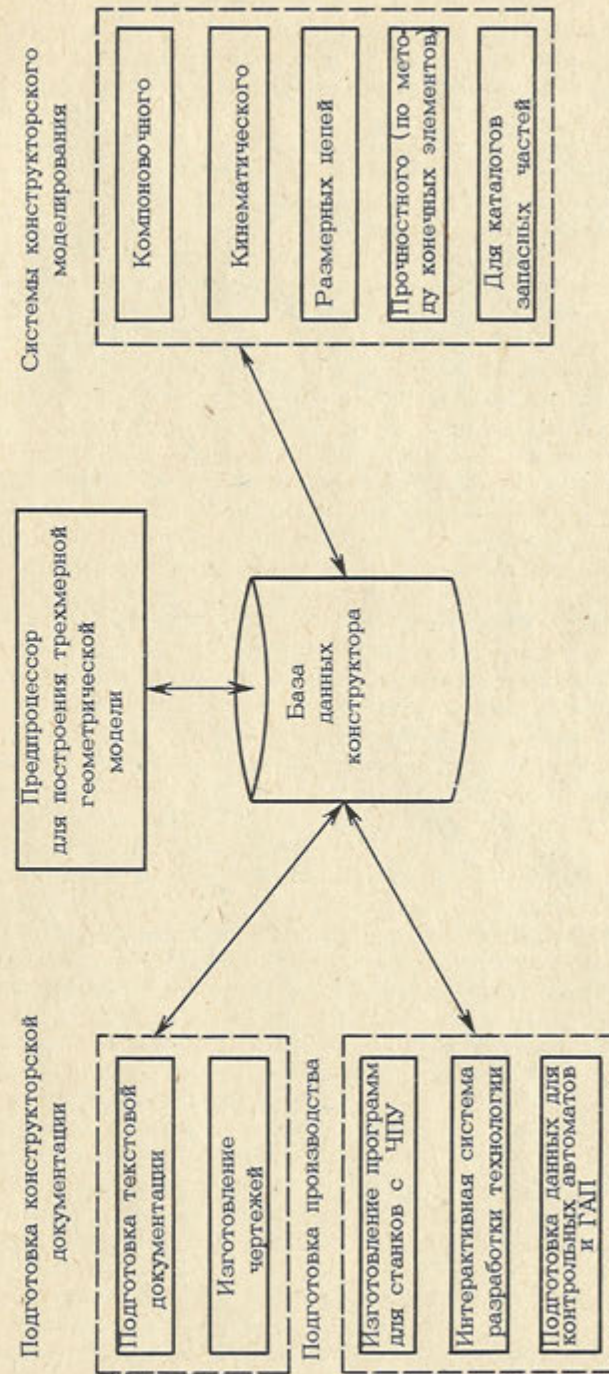


Рис. 3. Структура программных компонентов САПР и систем автоматизации подготовки производства

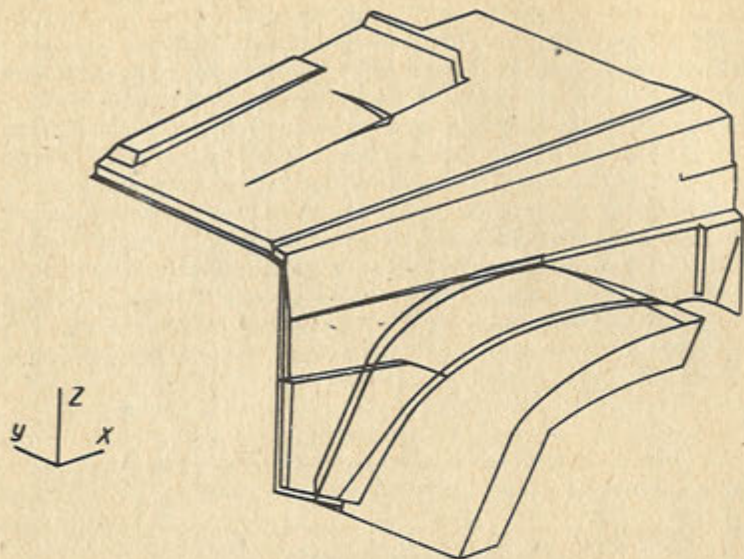


Рис. 4. Проволочная модель оперения автомобиля ЗИЛ-169

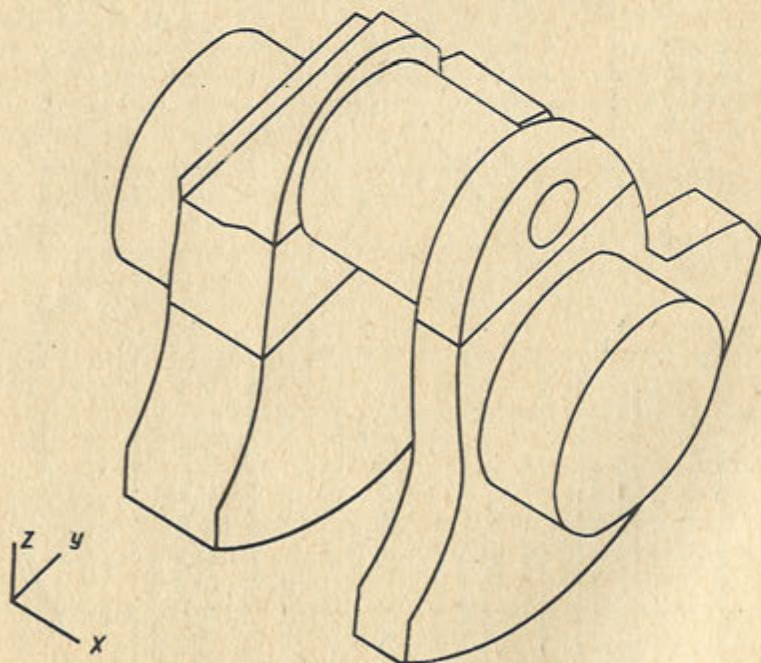


Рис. 5. Трехмерная модель кривошипа коленчатого вала

2. Трехмерные "поверхностные" модели, образованные пересечением линейчатых поверхностей, вращением замкнутых контуров или движением этих контуров вдоль некоторой кривой в пространстве.

3. Трехмерные объемные модели, которые строятся с помощью операций объединения, пересечения, вычитания из базовых тел: конусов, цилиндров, шаров, пирамид, параллелепипедов и т.д. Использование конструктором таких моделей будем называть "объемным проектированием".

К достоинствам объемного проектирования следует отнести то, что конструктор имеет возможность в процессе проектирования непосредственно оперировать с трехмерной геометрической моделью изделия. Например, модель коленчатого вала выглядит как математическое объединение нескольких цилиндров (шеек) и нескольких однотипных сложных тел (противовесов), из которых вычтено несколько цилиндров (масляных каналов) (рис. 5).

Трехмерные объемные модели дают полное и точное описание геометрии детали (что особенно важно для автоматизации всех последующих этапов). Однако реализация программных систем объемного проектирования требует значительно больших усилий, ресурсов и времени, чем реализация систем на основе проволочных или поверхностных моделей, из-за необходимости использовать более сложные структуры данных и алгоритмы обработки.

Следует также отметить, что применение метода объемного проектирования требует разработки и внедрения совершенно новых принципов и методов конструирования, например, методов объемной декомпозиции трехмерной модели детали. Навыки же конструктора, его образ действий в процессе проектирования базируются сейчас на представлении модели изделия как совокупности его проекций и сечений.

Повышение производительности труда конструктора при использовании САПР достигается в первую очередь за счет существенного снижения доли рутинных работ при поиске наиболее подходящего прототипа изделия, внесении изменений в модель изделия, выпуске конструкторской документации, включая рабочие чертежи.

Например, процесс внесения изменений в модель изделия может быть существенно интенсифицирован, если конструктору обеспечены возможности:

расчета и визуализации точек, кривых и поверхностей пересечения геометрических объектов;

вычисления расстояний между геометрическими объектами на плоскости и в пространстве;

определения центров тяжести, моментов инерции, моментов сопротивления;

вычисления площадей и объемов и т.д.;

свободное оперирование свойствами материалов.

При использовании любого из вышеуказанных подходов гео-

метрическая модель в базе данных конструктора существенно точнее модели, получаемой сейчас путем ручного изготовления чертежей. Так как конструктор будет оценивать правильность воплощения своего замысла, рассматривая его пространственное изображение, и избегать неопределенностей, которые иногда возникают в чертежах. Это, в частности, позволит изготавливать с помощью ЭВМ любые чертежные проекции и сечения.

В будущем комплексная автоматизация проектирования, конструирования и производства на основе единой базы данных конструктора и технолога, возможно, приведет к исчезновению потребности в чертеже как средстве представления модели изделия и элементе архива конструктора.

Таким образом, существенным является то, что с помощью САПР на самых ранних стадиях конструирования получается компьютерная модель изделия, которая позволит активно использовать ЭВМ на всех этапах последующей работы.

III. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САПР)

Любая система автоматизации проектирования – это прежде всего программно-аппаратный комплекс, включающий:

программные средства – системы математического и программного обеспечения, которые являются наиболее сложными и трудоемкими компонентами всего комплекса;

технические средства – электронную вычислительную машину (возможно, не одну) с необходимым набором внешних устройств.

Освоение и использование САПР не должны требовать от конструктора специальных знаний в области вычислительной техники и программирования и должны обеспечивать привычный для него образ действий в процессе проектирования.

Существенно важно, чтобы проект САПР создавался по заказу отрасли, объединения или предприятия коллективом разработчиков, в состав которого входят проблемные специалисты заказчика. Выполнение этого требования будет стимулировать создание наиболее эффективных и работоспособных САПР.

III.1. Требования к программным средствам

Условия современного производства, в которых будут работать САПР, требуют, чтобы их программные средства обладали свойствами программного или минимум поставочного продукта. Это означает, что системы программного обеспечения САПР должны быть надежны, хорошо документированы, максимально независимы от технических и базовых программных средств, с помощью которых они были реализованы. Этим системам должно быть обеспечено сопровождение, возможность модификации и развития.

Тиражированием, внедрением и сопровождением таких систем должны заниматься специально выделенные для этой цели коллективы специалистов.

Программные средства САПР представляют собой сложно организованные программные комплексы большого объема. Например, объем системы RUKON (ФРГ) составляет около 300 тыс. строк исходного текста на языке ФОРТРАН.

Разработкой этих систем должны заниматься не конструкторы и технологи, которые освоили программирование, а профессиональные программисты высокой квалификации в тесном сотрудничестве с конструкторами и технологами, особенно на этапе создания внешнего проекта САПР.

Одним из необходимых условий создания программных средств САПР с указанными свойствами является организация их промышленного производства. Для этого необходимо обеспечить в первую очередь:

подготовку значительного количества профессионалов – программистов высокой квалификации;

создание инструментальных систем программного обеспечения (САПР для программистов).

III.2. Требования к техническим средствам рабочего места САПР

Уровень надежности технических средств САПР, их экономические и эксплуатационные характеристики должны быть не ниже аналогичных показателей для традиционного оборудования, применяемого в промышленности.

Чтобы создать необходимые для конструктора условия работы при использовании САПР, требуется широкий спектр аппаратных средств. Приведем требования к характеристикам четырех наиболее важных компонентов технических средств, обеспечивающих функционирование 2–3 автоматизированных рабочих мест конструктора.

III.2.1. Графический дисплей должен обеспечить конструктору не меньше изобразительных возможностей, чем чертежная доска, которую он заменяет. В частности, дисплей не должен существенно искажать геометрические образы и допускать одновременное изображение не менее 100 м линий (объем среднего чертежа). При изготовлении сборочных чертежей конструктор должен иметь возможность выделять различными цветами отдельные функциональные компоненты изделий. Для выполнения этих требований необходим растровый дисплей с разрешением не менее 1024x1024 точек, диагональ экрана не менее 41 см, числом возможных цветов не менее 256.

III.2.2. Универсальный процессор при элементарных операциях с геометрическими моделями (поворот, сдвиг и т.д.) должен обеспечивать время реакции не более 3 с. Рассмотрим в качестве

ве примера раму автомобиля. Топологическая сложность этой детали ниже средней. Тем не менее поворот и визуализация рамы требуют выполнения процессором около 2 млн. операций.

Принципиально необходимой для конструктора является возможность удаления в геометрической модели изделия невидимых линий. В случае рамы автомобиля эта операция требует почти в 70 раз больше операций, чем ее поворот. Чтобы обеспечить требуемую реакцию в первом случае и разумное время ожидания во втором, процессор должен выполнять более 1 млн. операций в секунду с плавающей запятой.

III.2.3. Оперативная память ЭВМ. Описание топологии рамы автомобиля, например, требует около 50 МБ виртуального адресного пространства, в котором фактически будет занято около 1 МБ. Чтобы обеспечить работу с несколькими моделями одновременно, требуется виртуальная организация оперативной памяти с адресом не менее чем 32 разряда и объемом не менее 4 МБ.

III.2.4. Дискровая память. Для оценки ее объема заметим, что для хранения геометрической модели средней сложности (рама автомобиля) требуется около 2 МБ. Одновременно может храниться до 10 модификаций одной модели.

Кроме того, в дискровой памяти располагаются также рабочие файлы различных систем конструкторских расчетов. Размер такого файла для системы прочностного расчета составляет около 100 МБ.

Таким образом, минимальный объем дискровой памяти должен быть не менее 1 ГБ.

III.3. Общая архитектура комплекса технических средств

Имеет в общем случае двухуровневую структуру и должна обеспечить выполнение всех видов работ, связанных с автоматизацией труда инженера (рис. 6).

На верхнем уровне находится супермини-ЭВМ быстродействием 2,5-3 млн. оп./с, оперативной памятью 8-16 МБ и вторичной памятью 4-5 ГБ. К ней подключено несколько мини-ЭВМ нижнего уровня с быстродействием около 1 млн. оп./с, ОЗУ емкостью 4-6 МБ и вторичной памятью 1-2 ГБ. Каждая ЭВМ нижнего уровня обеспечивает работу от 1 до 4 рабочих мест конструктора в автономном режиме либо в режиме связи с центральной ЭВМ.

Рабочее место конструктора включает:

- графический дисплей;
- средства черчения на экране дисплея ("джойстик", планшет и т.д.);

• графопостроитель и сколку на каждые четыре рабочих места. Центральная ЭВМ должна иметь средства подключения к сети ЭВМ, в частности, для связи с супер ЭВМ, которая может эпизодически требоваться для решения отдельных особо сложных задач.

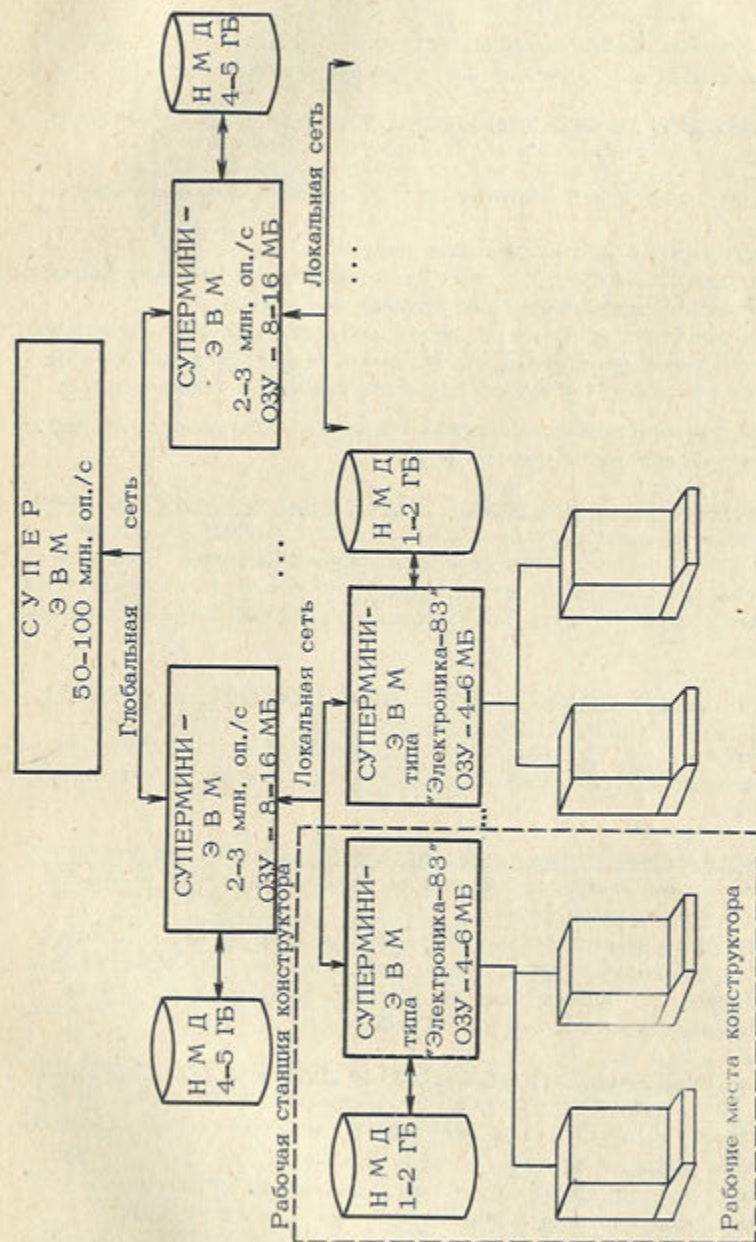


Рис. 6. Структура аппаратных средств САПР

В систему автоматизации инженерных работ должны включаться следующие основные программные компоненты (см. рис. 3).

Диалоговая графическая система построения геометрических моделей обеспечивает конструктору возможности:

- ввода графической информации привычным для него способом;
- графического редактирования моделей;
- объединения геометрических компонентов, нахождения линий и поверхностей пересечения геометрических объектов;
- визуализации трехмерных геометрических моделей на дисплее, удаления невидимых линий, изображения контуров и фрагментов, построения сечений и видов, масштабирования, сдвигов и т.д.

Конструктор взаимодействует с системой посредством графических и текстовых "меню" (рис. 7).

Система управления единой базой данных конструктора. Конструкторы работают с компьютерной базой данных на уровне таких объектов, как изделие или компонент изделия. База данных обеспечивает возможность хранения объектов в параметризованном виде, а также предоставляет средства информационного поиска.

Для машиностроения наиболее общими являются следующие системы конструкторского моделирования: компоновочное, кинематическое, размерных цепей, прочностное (по методу конечных элементов), а также для изготовления каталогов запасных частей.

Система подготовки конструкторской документации включает также интерактивную систему изготовления чертежей с учетом существующих стандартов.

Все указанные системы работают над единой базой данных. Предполагаемый суммарный объем программных компонентов составляет, по оценкам авторов, около полумиллиона строк программного текста на ФОРТРАНе.

Интерактивная система подготовки программ для станков с ЧПУ. В заключение отметим, что создание САПР является неотложной государственной задачей, ее решение потребует значительных усилий и крупных капиталовложений, которые, однако, окупятся в кратчайшие сроки после включения этих систем в процесс создания новых образцов отечественной техники.

Еще раз отметим, что в настоящей работе САПР рассматриваются как системы комплексной автоматизации, в первую

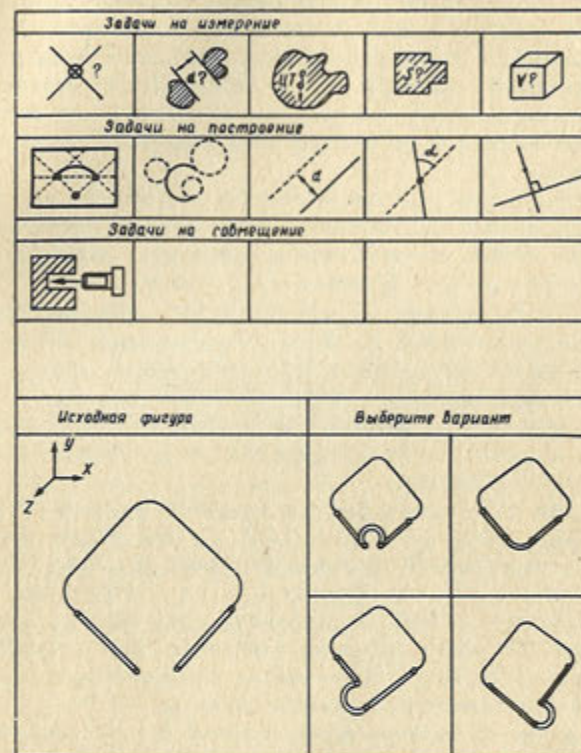


Рис. 7. Пример графического "меню" САПР

очередь наиболее рутинных работ в процессе проектирования и конструирования изделий машиностроения.

Ключевой проблемой САПР в первую очередь считается создание диалоговой графической системы построения трехмерных геометрических моделей и системы управления единой базой данных конструктора.

Система автоматизированного проектирования, создавая геометрическую модель изделия, служит основой для автоматизации при решении целого ряда прикладных задач. В частности, современные методы прочностного расчета (методы конечных элементов) базируются на представлении в компьютере пространственной конечно-элементной геометрии детали, построение которой непосредственно по чертежу связано со значительными затратами ручного труда. Например, создание модели поршня дизельного двигателя для прочностных расчетов требует 6 человеко-месяцев, а рамы грузового автомобиля - 4 человеко-месяца.

Поэтому использование интерактивных графических устройств в сочетании с программным обеспечением САПР дает повышение производительности труда конструктора или расчетчика в 5–10 раз. Внедренная на ЗИЛе автоматизированная система прочностной оптимизации деталей двигателя и автомобиля позволила получить ряд ценных практических результатов по снижению металлоемкости.

Для таких хорошо изученных деталей автомобиля, как поршень, шатун и коленчатый вал, снижение металлоемкости возможно скорее всего только за счет перераспределения масс, что в свою очередь требует знания напряженно-деформированного состояния по всему объему деталей. С использованием автоматизированной системы прочностных расчетов был, например, выполнен анализ и даны рекомендации по снижению массы шатунов различных двигателей автомобилей ЗИЛ на 50–350 г.

Аналогичный анализ лопаток вентилятора ЗИЛ–130 позволил уменьшить их массу на 500 г за счет изменения их толщины и изменения конфигурации.

Интересные результаты удалось получить и при исследовании рамы грузового автомобиля ЗИЛ–130. Анализ напряжений в зоне наиболее нагруженной второй поперечины позволил установить основные направления для оптимизации ее конструкции, а также усовершенствовать способ ее крепления к лонжерону. При этом было изучено 10 конструктивных вариантов. Оптимальный вариант имеет массу, на 20 % меньшую, чем серийный, а уровень напряжений уменьшается в опасных зонах на 50 %.

Таким образом, широкое использование автоматизированных систем анализа прочности конструкций позволяет уже на ранних стадиях проектирования оптимизировать будущее изделие по целому набору противоречивых критериев и получить его рациональные весовые и прочностные показатели.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
II. Система автоматизации проектирования	6
II.1. Основные задачи автоматизации	7
II.2. Новая технология работы конструктора	7
III. Основные требования к машиностроительным системам автоматизации проектирования (САПР)	12
III.1. Требования к программным средствам	12
III.2. Требования к техническим средствам рабочего места САПР	13
III.3. Общая архитектура комплекса технических средств	14
IV. Основные программные системы САПР	16

Редактор Т.И. Емельянова
Технический редактор Л.И. Маслова
Корректор В.И. Большаченкова

Т-10402 Подписано в печать 19/1У 1984 г.
Формат 60x90 1/16 Печ. л. 1,25 Уч.-изд.л. 1,0
Тираж 1050 экз. Изд. № 203 Зак. 67 Цена 20 коп.

НИИНавтопром. 105264. Москва, ул. В. Первомайская, 47