

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ФАКУЛЬТЕТ ЭЛЕКТРОНИКИ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра конструирования электронных средств

В.Г.Ивченко

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭВМ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Таганрог 2001

ВВЕДЕНИЕ

Важность предмета.

Связь конструирования и проектирования.

Определение конструирования:

Конструирование как инженерная деятельность есть процесс поиска, нахождения и отражения в конструкторской документации

- 1) формы,
- 2) размеров и
- 3) состава изделия,
- 4) входящих в него деталей и узлов,
- 4) используемых материалов,
- 5) комплектующих изделий,
- 6) взаимного расположения частей и связей между ними,
- 7) указаний на технологию изготовления.

Определение конструкции:

Конструкция РЭА (наиболее общий класс электронных устройств), как и любого сложного изделия, состоит из множества входящих в нее элементов со строго регламентированными связями, образуя систему с определенной структурой и со свойствами, не равными сумме свойств элементов.

Конструкция РЭА отличается важной особенностью формируемых внутренних связей между частями: кроме пространственных и механических должны быть корректно реализованы электрические и ограничены электромагнитные связи. Эта особенность настолько существенна, что выделяет конструирование РЭА в отдельную область инженерных знаний.

Конструкция современной ЭВМ - комплекс различных по природе деталей, определенным образом объединенных электрически и механически друг с другом и призванных выполнять заданные функции в заданных условиях и режимах эксплуатации.

От правильного выбора этих деталей, материалов, из которых они изготовлены, правильного их размещения, закрепления и объединения зависят важнейшие характеристики машины (быстродействие, объем, масса, потребление мощности, допустимые условия эксплуатации, надежность, стоимость и т. д.).

Широкое внедрение вычислительной техники во все сферы человеческой деятельности предопределяет необходимость разработки таких ЭВМ, которые бы имели широкие возможности применения,

малую стоимость, небольшую длительность этапа разработки и внедрения ее в производство, максимальную технологичность и т. д. Конструктор-разработчик ЭВМ для обеспечения этих часто взаимоисключающих друг друга требований ***в качестве исходных данных имеет электрическую схему*** машины, ***вид объекта установки*** машины и общие сведения ***о серийности производства***, предназначенного для выпуска разработанной машины малыми, средними или большими сериями.

От вида объекта установки ЭВМ зависит, какие из факторов, характеризующих условия эксплуатации, будут в большей степени влиять на ее работоспособность. Уровень производства имеет существенное значение при определении стоимости разрабатываемой ЭВМ, ее надежности, удобства наладки и ремонта, трудоемкости, технологичности и т. д.

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ЭВМ И СИСТЕМ

Последовательность этапов разработки ЭВМ и стадий выпуска конструкторской документации определяется Государственными стандартами. При разработке ЭВМ выпускают большое количество технической документации (конструкторской и технологической), состав которой также определяется Государственными стандартами

Государственные стандарты устанавливают несколько **этапов разработки конструкторской документации** на изделия всех отраслей промышленности (в том числе и на ЭВМ и систему):

Техническое задание

техническое задание (ТЗ) устанавливает основное назначение, тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию;

Техническое предложение

техническое предложение — совокупность конструкторских документов, содержащих техническое и технико-экономическое **обоснование** целесообразности разработки изделия (на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможной реализации изделия, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов);

Эскизный проект

эскизный проект — совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие **общее представление** об устройстве и принципе действия изделия, а также данные, определяющие назначение и основные параметры разрабатываемого изделия;

Технический проект

технический проект — совокупность конструкторских документов, содержащих **окончательные** технические решения, дающие **полное** представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации;

разработка рабочей документации — совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия.

Процесс разработки нового изделия

Процесс разработки нового изделия состоит из двух этапов.

Этап 1 — научно-исследовательская разработка (НИР). На этом этапе производится предварительная аналитическая и расчетная проработка изделия. **Результат НИР** — научно-технический отчет,

содержащий выводы о новых принципах построения изделия, научно обоснованный подход к реализации этих принципов, анализ проведенных исследований. НИР может дать отрицательный результат, показывающий, что на современном уровне развития науки и техники реализация поставленной задачи невозможна или преждевременна.

Этап 2 — опытно-конструкторская разработка (ОКР). Работа на этом этапе основывается на результатах НИР и является процессом инженерного воплощения теоретических результатов, полученных на этапе НИР, в схему и конструкцию изделия.

На этапе ОКР на первый план выступают экономические задачи, так как именно здесь формируются основные параметры изделия, влияющие как на его стоимость, так и на длительность и стоимость его разработки. Во время выполнения ОКР производится теоретическое, расчетное и экспериментальное исследование реализованных в изделии идей. ОКР заканчивается выпуском полного комплекта технической документации на изделие, изготовлением и испытанием его опытного образца (или опытной партии).

Научно - исследовательская разработка (НИР) включает в себя стадии разработки *технического задания* и *технического предложения*, а ОКР — *эскизное* и *техническое проектирование*, а также стадию *разработки рабочей документации*. В зависимости от степени проработанности НИР и степени новизны разрабатываемого изделия стадия *эскизного проектирования* в ОКР может быть опущена.

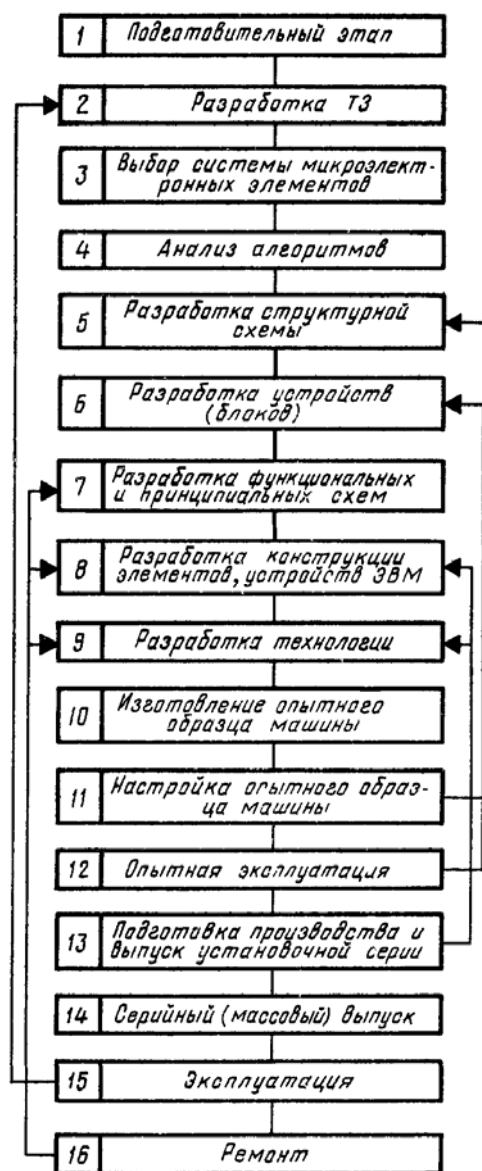


Рис. 1

НИР:

- *техническое задание (ТЗ)*
- *техническое предложение*

ОКР:

- *эскизный проект*
- *технический проект*
- *разработка рабочей документации*

В соответствии с приведенным порядком существуют определенные этапы разработки ЭВМ, последовательность выполнения которых представлена на рис. 1.

Этап 1 — подготовительный. На этом этапе производятся изучение задач, для решения которых предназначена данная ЭВМ, и анализ существующих конструкций машин,

обсуждаются достижения в смежных областях науки и техники и новые принципы. Такой анализ позволяет ориентировочно определить технические характеристики будущей машины.

Этап 2 — **разработка ТЗ**. Оно должно содержать основное назначение, технические и тактико-технические характеристики (быстродействие, разрядность, объем памяти и т. д.), показатели качества и технико-экономические требования, состав конструкторской документации, а также специальные, конструктивные, технологические, эксплуатационные требования и требования по надежности.

В ТЗ указываются предприятие-заказчик и предприятие-разработчик ЭВМ. Взаимоотношения между ними регламентируются договором— юридическим документом, определяющим взаимоотношения на различных этапах разработки. В договоре определяются взаимные обязательства сторон, их ответственность в случае нарушения отдельных его пунктов, сроки выполнения работ и источники финансирования. Кроме ТЗ к договору прилагают сметную калькуляцию работ, в которой общая сумма расхода разбивается по статьям: сырье и основные материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты; зарплата работникам НИИ и рабочим опытного производства, отчисления на капитальные вложения, финансирование сторонних организаций и т. д. В договоре указываются объем и сроки выполнения каждого из этапов работ, за которые предприятие-разработчик отчитывается перед предприятием-заказчиком. Все спорные вопросы, возникающие между разработчиком и заказчиком, разрешаются Государственной арбитражной комиссией.

Составление ТЗ обычно ведется заказчиком совместно с разработчиком-исполнителем, для того чтобы требования к ЭВМ, зафиксированные в ТЗ, являлись практически выполнимыми.

Если заказчик не знает конкретного исполнителя, то он составляет проект ТЗ и рассылает его в организации, занимающиеся разработкой вычислительной аппаратуры, и просит рассмотреть возможность реализации проекта в практической разработке.

Согласование ТЗ начинается после того, как определился конкретный исполнитель или исполнители.

Процесс согласования состоит в том, что исполнитель после получения проекта ТЗ исследует возможность его реализации как с *технической точки зрения*, так и в *указанные заказчиком сроки*. При этом исполнитель обобщает опыт предшествующих разработок, а также опыт родственных организаций, оценивает возможности своего предприятия, проводит подбор и изучение отечественной и иностранной научно-технической литературы, патентов и авторских свидетельств.

Наряду с этим исполнитель предварительно прорабатывает построения блоков и узлов ЭВМ и делает вывод о принципиальной возможности выполнения ТЗ. В процессе предварительной проработки заказчику от разработчика может быть выдан ряд замечаний по отдельным пунктам технических требований или предложены свои формулировки этих пунктов. Если после принятия соответствующих уточнений и изменений договаривающиеся стороны приходят к единому мнению о практической выполнимости требований, указанных в ТЗ, согласование считается законченным.

Утверждение ТЗ происходит после его согласования. При утверждении ТЗ подписывают представители и руководители организаций заказчика и разработчика. После подписания ТЗ становится официальным документом, в соответствии с которым выполняется разработка ЭВМ или системы. В случае необходимости исполнителем проводится корректировка ТЗ, иногда требующаяся по результатам выполнения эскизного и технического проектирования (на рис. 2.2 обратные связи справа и слева). При конкретном проектировании может оказаться, что некоторые требования ТЗ надо изменить.

Заказчик в процессе разработки также может вносить изменения в ТЗ, не приводящие к существенным изменениям в уже проделанной работе. Корректировка проводится по взаимному согласованию между заказчиком и исполнителем.

Этапы 3, 4 — техническое предложение. На этих этапах разрабатывается совокупность конструкторских документов, в которых отображаются различные варианты конструктивного и схемного построения разрабатываемой ЭВМ и дается сравнительная оценка этих вариантов между собой и с аналогами.

Частично эти вопросы уже должны быть рассмотрены в процессе согласования ТЗ.

На этапе 3 разработчиком производится выбор основных комплектующих изделий, обеспечивающих выполнение требований ТЗ.

Сюда относится выбор *элементной базы, носителя информации, оперативной и внешней памяти* и т. д.

Большое внимание на стадии технического предложения уделяют **анализу алгоритмов**, определяющих логическую структуру ЭВМ, последовательность выполнения логических и арифметических операций.

Всем конструкторским документам, выпускаемым на стадии технического предложения, присваивается **литера «П»**.

Этапы 5—7 — эскизное проектирование. На этих этапах принимаются принципиальные конструктивные и технические решения, которые отличаются от технического предложения более *детальной* проработкой устройств в соответствии с ТЗ.

На стадии эскизного проектирования проводятся разработка специальных схем частного применения (например, для управления запоминающим устройством, устройством ввода—вывода и т. д.), испытание разработанных схем, расчет и проверка рабочих режимов комплектующих элементов, выполняется предварительный расчет надежности как отдельных узлов и блоков ЭВМ, так и изделий в целом.

В процессе проработки эскизного проекта, как правило, производится *макетирование* отдельных наиболее сложных узлов и операционных блоков, а иногда и полностью *целых устройств*, таких, как процессор, устройство обмена, запоминающее устройство и др.

Всем конструкторским документам, выпускаемым на стадии эскизного проектирования, присваивается **литера «Э»**.

По завершении эскизного проектирования разработчик защищает эскизный проект перед заказчиком или заказчиками.

Если ЭВМ имеет относительно *несложную структуру* или является *модернизацией своей предыдущей модели*, допускается ***опустить этап эскизного проектирования*** и сразу перейти к техническому проекту.

Этапы 8—9 — техническое проектирование. На этих этапах детально отрабатываются схемные и конструкторские решения, выпускаются чертежи на все элементы, узлы, блоки и устройства ЭВМ, прорабатываются вопросы защиты от механических, климатических и радиационных воздействий, доступа при ремонте и контроле, привязки к объекту установки и т. д., уточняются вопросы технологии и стоимости, особенности предприятия-изготовителя ЭВМ.

В процессе выполнения технического проекта необходимо макетирование как отдельных узлов и устройств разрабатываемой ЭВМ, так и всей машины в целом.

Итог технического проекта — макет ЭВМ, предъявляемый на испытания,

Основная конструкторская документация, которой присваивается литера «Т».

К конструкторской документации относят: сборочные чертежи всех устройств с пояснительной запиской, полный комплект электрических схем, инструкции по эксплуатации, технический отчет.

В отчете приводятся все основные механические и электрические расчеты, результаты исследований и испытаний. По результатам технического проектирования может быть проведена корректировка ТЗ по согласованию с заказчиком.

Этапы 10—12 — *изготовление, настройка и эксплуатация опытного образца.*

После того как заказчик вынес положительное решение по результатам технического проекта, разработчик приступает к разработке рабочей документации, производя окончательную корректировку электрических схем и чертежей, выпуская конструкторскую документацию, по которой производится выпуск опытного образца ЭВМ.

Конструкторской документации присваивается **литера «О»**.

В процессе изготовления ЭВМ проводятся приемосдаточные **испытания отдельных узлов и блоков**, а после изготовления — приемосдаточные испытания **опытного образца** (одного или нескольких) по электрическим, механическим, климатическим и другим требованиям.

Испытания проводятся представителями отдела технического контроля (ОТК) и представителями заказчика в соответствии с *техническими условиями*, которые составляются разработчиком на узлы, блоки и изделие в целом на основе требований ТЗ. *Технические условия обязательно входят в состав конструкторской документации*, передаваемой на завод-изготовитель. По результатам опытной эксплуатации и государственных испытаний проводится окончательная корректировка документации.

Этапы 13—14 — *выпуск установочной серии.*

Откорректированная техническая документация, выпущенная под литерой «О1», передается предприятием-разработчиком предприятию-изготовителю для выпуска установочной серии ЭВМ и запуска в серийное (массовое) производство.

Взаимоотношения между разработчиком и заводом-изготовителем регламентируются договором, который заключается на период освоения

ЭВМ в серийном производстве. Разработчик при этом обязуется передать заводу-изготовителю несколько комплектов копий конструкторской и технологической документации, обучить представителей завода процессам наладки и регулировки, новым технологическим процессам и т. д.

После выпуска и испытания установочной партии ЭВМ (или головного образца для больших машин) разработчик передает все оригиналы технической документации заводу-изготовителю, который при необходимости перевыпускает ее, присваивая **литеру «А»**.

По окончательно отработанной документации производится массовый (серийный) выпуск ЭВМ.

Этапы 15 и 16. В процессе эксплуатации и ремонта ЭВМ, изготовленных в серийном (массовом) производстве, часто возникает необходимость в корректировке функциональных, принципиальных, монтажных и других схем, конструкторской и технологической документации или же ТЗ.

Эти изменения вносятся в установленном порядке,

и по откорректированной документации производится изготовление опытного образца, его испытание в полном объеме; в случае положительных результатов корректируется документация на заводе-изготовителе.

Указанные этапы *необходимы* для такого *сложного изделия*, как ЭВМ, так как нельзя допустить ее запуск в серийное производство по *первичной рабочей документации*, которая всегда содержит какие-то *ошибки*. Последние могут носить принципиальный характер из-за того, что разработчик, например, неверно составил временную диаграмму выполнения какой-либо операции, не учел какого-то фактора в алгоритме той или иной команды или допустил ошибку в принципиальной электрической схеме или элементах конструкции.

Хотя такого рода ошибки при правильной организации разработки и достаточно высокой квалификации разработчиков случаются достаточно редко, они существенно влияют на *затраты и время изготовления* опытных образцов ЭВМ.

Основное количество ошибок (*около 80—90%*) возникает от *недостаточной внимательности и усталости разработчика и копировщика*. Вследствие этого обнаруживаются, например, неверно указанные связи между контактами, приведение не того типа микросхемы, ошибки при копировании документации вследствие нечеткого написания букв и обозначений в оригинале документа и т. п. Существенное уменьшение такого рода ошибок достигается использованием *автоматизированных* с помощью ЭВМ методов **разработки** и **обработки** технической документации, и применением САПР (PCAD, AutoCad, OrCad, Mentor Graphics, Cadence, Compass и др.)

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТРЕБОВАНИЯ К ЭВА

План лекции:

1. Факторы, влияющие на работоспособность ЭВА
2. Влияние условий эксплуатации на работоспособность ЭВА
3. Требования, предъявляемые к конструкции ЭВА
4. Показатели качества конструкции ЭВА

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭВА

Условия эксплуатации электронно-вычислительной аппаратуры имеют различную физико-химическую природу и изменяются в весьма широких пределах.

Факторы, воздействующие на работоспособность ЭВМ, разделяют на **климатические, механические и радиационные**.

К **климатическим факторам** относят: изменение температуры и влажности окружающей среды; тепловой удар; увеличение или уменьшение атмосферного давления; наличие движущихся потоков пыли, песка; присутствие активных веществ в окружающей атмосфере; наличие солнечного облучения, грибковых образований (плесень), микроорганизмов, насекомых и грызунов; взрывоопасной и воспламеняющейся атмосферы, дождя или брызг; присутствие в окружающей среде озона.

К **механическим факторам** относят: воздействие вибрации, ударов, линейного ускорения, акустического удара; наличие невесомости.

К **радиационным факторам** относят: космическую радиацию; ядерную радиацию от реакторов, атомных двигателей; облучение потоком гамма-фотонов, быстрыми нейтронами, бета-частицами, альфа-частицами, протонами, дейтронами.

Некоторые факторы могут проявлять себя независимо от остальных, а некоторые факторы — в совместном действии с другими факторами той или другой группы

(например, наличие движущихся потоков песка неизбежно приводит к возникновению вибраций в конструктивных элементах ЭВМ).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭВА

Характер и интенсивность **воздействия** рассмотренных климатических (в меньшей степени), механических и радиационных (в большей степени) **факторов зависят** от тактики использования и объекта установки ЭВМ.

Классифицируя любую ЭВМ по этому признаку, можно разделить их на **стационарные** и **транспортируемые**. Каждая из групп, в свою очередь, включает в себя ЭВМ различных классов и назначения.

По совокупности значений климатических, механических и радиационных факторов **стационарные** и **транспортируемые** ЭВМ делятся на следующие группы:

группа 1 — стационарные ЭВМ и системы, работающие в отапливаемых наземных и подземных сооружениях;

группа 2 — стационарные ЭВМ и системы, работающие на открытом воздухе или в неотапливаемых наземных и подземных сооружениях;

группа 3 — транспортируемые (возимые), установленные в автомобилях, мотоциклах, в сельскохозяйственной, дорожной и строительной технике и работающие на ходу;

группа 4 — возимые, установленные во внутренних помещениях речных судов и работающие на ходу;

группа 5 — транспортируемые (возимые), установленные в подвижных железнодорожных объектах и работающие на ходу;

группа 6 — транспортируемые и портативные, предназначенные для длительной переноски людьми на открытом воздухе или в неотапливаемых наземных и подземных сооружениях; работающие и не работающие на ходу;

группа 7 — портативные, предназначенные для длительной переноски людьми на открытом воздухе или в отапливаемых наземных и подземных сооружениях, работающие на ходу.

Каждой из групп аппаратуры соответствует совокупность климатических и механических факторов, которой она должна соответствовать.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ ЭВА

Вновь разрабатываемая ЭВМ должна отвечать **тактико-техническим, конструктивно-технологическим, эксплуатационным, надежностным и экономическим** требованиям.

Все эти требования взаимосвязаны, и оптимальное их удовлетворение представляет собой сложную инженерную задачу.

Тактико-технические требования.

Эти требования обычно содержатся в техническом задании на машину и включают в себя такие характеристики, как **быстродействие**, объем **оперативной**, **постоянной** и **внешней** памяти, **адресность** команд, **разрядность** машинного числа, **точность** выполнения операций и т. д.

В основном данные требования удовлетворяются на ранних этапах разработки ЭВМ, когда определяются состав машины, ее структура,

математическое обеспечение, основные требования к отдельным устройствам.

Конструктивно-технологические требования.

К этим требованиям относят: обеспечение *функционально-узлового принципа построения* конструкции ЭВМ, *технологичность*, *минимальную номенклатуру комплектующих* изделий, *минимальные габариты и массу*, *предусмотрение мер защиты от воздействия климатических и механических факторов*, *ремонтоспособность*.

Функционально-узловой принцип конструирования используется для машин третьего и последующего поколений. Он заключается в разбиении принципиальной схемы вычислительной машины на такие функционально законченные узлы, которые могут быть выполнены в виде идентичных конструктивно-технологических единиц.

Применение этого принципа конструирования позволяет автоматизировать процессы изготовления и контроля конструктивных единиц и упростить их сборку, наладку и ремонт.

Технологичность конструкции ЭВМ и системы в существенной степени определяется рациональным выбором ее структуры, которая должна быть разработана с учетом автономного, отдельного изготовления и наладки ее основных элементов, узлов, блоков. Конструкция ЭВМ тем более технологична, чем меньше доводочных и регулировочных операций приходится выполнять после ее окончательной сборки.

Понятие технологичности тесно связано с понятием экономичности воспроизведения в условиях производства. Наиболее технологичные конструкции, как правило, и наиболее экономичны не только с точки зрения затрат материальных ресурсов и рабочей силы, но и с точки зрения сокращения сроков освоения в производстве.

В технологичной конструкции максимально используются **взаимозаменяемость**, **регулируемость**, **контролепригодность**, инструментальная доступность элементов и узлов.

В технологичной конструкции должны максимально использоваться **унифицированные, нормализованные и стандартные** детали и материалы. Машина считается также более технологичной, если в ней предусматривается **минимальная номенклатура комплектующих изделий, материалов, полуфабрикатов**.

Необходимость разработки новых материалов с улучшенными свойствами или новых технологических процессов определяется технико-экономическим эффектом их использования в данной ЭВМ.

Конструкция ЭВМ должна иметь **минимальные габариты и массу**, что особенно важно для бортовой аппаратуры, где ее объем и масса ограничиваются размерами и мощностью летательного аппарата.

В конструкции ЭВМ и системы необходимо предусматривать **меры защиты** от воздействия **климатических** и **механических** факторов, состав и значение которых определяются объектом, где будет эксплуатироваться разрабатываемая ЭВМ.

Важная характеристика конструкции ЭВМ и системы — **ремонтоспособность** — качество конструкции к восстановлению работоспособности и поддержанию заданной долговечности.

Для повышения ремонтоспособности в конструкции ЭВМ предусматривают:

- а) доступность ко всем конструктивным элементам для осмотра и замены без предварительного удаления других элементов;
- б) наличие контрольных точек для подсоединения измерительной аппаратуры при настройке и контроле за работой машины;
- в) применение быстросъемных фиксаторов и т. д.

Конструкция ЭВМ тем ремонтоспособнее, чем меньшую конструктивную единицу она позволяет оперативно заменять.

Эксплуатационные требования.

К эксплуатационным требованиям относят: простоту управления и обслуживания, предусмотрение различных мер сигнализации опасных режимов работы (выход из строя, открывание дверей шкафов, обрыв заземления и т. д.), наличие в комплекте машины аппаратуры, обеспечивающей профилактический контроль и наладку конструктивных элементов (стенды, имитаторы сигналов и т. д.). В последнее время развивается направление построения систем высокой надежности и живучести, имеющих в своем составе средства самодиагностики и автореконфигурации системы.

С эксплуатационными требованиями тесно связаны требования обеспечения нормальной работы оператора. Важна также такая организация органов управления ЭВМ, которая бы отвечала современным эргономическим требованиям и требованиям инженерной психологии.

Требования по надежности.

Данные требования включают в себя обеспечение:

- 1) *вероятности безотказной работы,*
- 2) *наработки на отказ,*
- 3) *среднего времени восстановления работоспособности,*
- 4) *долговечности,*
- 5) *сохраняемости.*

Вероятность безотказной работы ЭВМ есть вероятность того, что в заданном интервале времени при заданных режимах и условиях работы в машине не произойдет ни одного отказа.

Наработкой на отказ ЭВМ называют среднюю продолжительность ее работы между отказами.

Среднее время восстановления работоспособности ЭВМ определяет среднее время на обнаружение и устранение одного отказа. Эта характеристика надежности является также важным эксплуатационным параметром.

Долговечностью ЭВМ называют продолжительность ее работы до *полного износа* с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Под **полным износом** при этом понимают состояние машины, не позволяющее ее дальнейшую эксплуатацию.

Сохраняемость ЭВМ — ее способность сохранять все технические характеристики после заданного срока хранения и транспортирования в определенных условиях.

Экономические требования.

К экономическим требованиям относят:

1) *минимально возможные затраты времени, труда и материальных средств* на разработку, изготовление и эксплуатацию ЭВМ;

2) *минимальную стоимость машины после освоения ее в производстве.*

Тесная связь предъявляемых к ЭВМ требований приводит к тому, что стремление максимально удовлетворить одному из них ведет к необходимости снизить значение других. Так, желание увеличить надежность ЭВМ введением структурной избыточности неизбежно влечет за собой увеличение габаритов, массы, мощности потребления, стоимости. В данном случае выходом служит дальнейшее повышение степени интеграции микросхем.

Точная связь между такими взаимно противоречивыми требованиями достаточно сложна и устанавливается статистическим анализом параметров разработанных и изготавливаемых ЭВМ.

Соотношение между различными требованиями может быть установлено исходя из типа, назначения и характера эксплуатации проектируемой ЭВМ.

Для большой универсальной ЭВМ наиболее важное требование — обеспечение максимального быстродействия, поскольку оно в существенной степени определяет ее производительность; наименее важное требование — обеспечение небольших габаритов и массы.

Для управляющих (встраиваемых) ЭВМ наиболее важные требования — высокая надежность и малая стоимость (при производстве большими сериями).

Настольные ЭВМ, рассчитываемые для массового потребления, должны прежде всего иметь малую стоимость. Достижение высокого быстродействия для этого класса машин — желательное, но не обязательное требование. Обычно стремятся достичь относительного

высокого быстродействия, доступного в определенной ценовой категории.

Бортовые ЭВМ, устанавливаемые на военные и гражданские объекты, должны обладать высокой степенью надежности. При этом стоимость машин в некоторых случаях не имеет существенного значения.

Применение ЭВМ в военной технике накладывает на их конструкцию дополнительные жесткие требования. Это связано с тем, что в условиях военных действий жизнь экипажа самолета, танка или корабля, а также успех целой операции могут зависеть от правильной, безотказной работы вычислительной аппаратуры.

Использование ЭВМ в ракетах стратегического и тактического назначения требует их постоянной готовности к работе во всех климатических зонах Земли и атмосфере.

О ремонте вычислительной аппаратуры в самолете, танке, управляемом снаряде, ракете, ИСЗ не может быть и речи; здесь должна быть обеспечена возможность быстрой замены вышедших из строя блоков запасными.

Поэтому основным требованием к ЭВМ, установленным на военном объекте, является надежность. Не менее важные требования— способность работать практически во всех известных условиях эксплуатации, ремонтоспособность, малые габариты, масса, мощность потребления. Следовательно, стоимость ЭВМ военного применения по сравнению с машиной с аналогичными характеристиками, используемой на гражданских объектах, выше.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИИ ЭВА

Степень соответствия ЭВА предъявляемым требованиям может быть оценена на основе показателей качества конструкции ЭВА.

К таким показателям прежде всего следует отнести:

1. Сложность конструкции ЭВМ

$$C_{\text{ЭВМ}} = k_1(k_2 N_{\text{э}} + k_3 M_{\text{с}}), \quad (1)$$

где $N_{\text{э}}$ — число составляющих ЭВМ элементов; $M_{\text{с}}$ —число соединений; k_1 , k_2 и k_3 — коэффициенты масштабный и весовые.

Выражение (1) связывает число составляющих ЭВМ элементов (микросхем, полупроводниковых приборов, пассивных компонентов, элементов коммутации) с числом разъемных и неразъемных соединений между ними, что определяет массу, габаритные размеры, надежность и другие общие параметры ЭВМ.

2. Число элементов, составляющих ЭВМ.

$$N_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{k_n} \sum_{j=1}^{N_y} n_{ij},$$

где N_y , k_n , n_{ij} — соответственно число устройств ЭВМ, типов элементов, элементов i -го типа, входящих в j -е устройство

3. Объем ЭВМ

$$V = V_N + V_{Mc} + V_n + V_{yt}, \quad (2)$$

где V_N — общий объем всех ИС, дм^3 ; V_{Mc} — объем соединений, дм^3 ; V_n — объем несущей конструкции, обеспечивающей прочность и защиту ЭВМ, дм^3 ; V_{yt} — объем устройства теплоотвода, дм^3 .

4. Степень использования физического объема ЭВМ

Отношение $q_n = V_n/V$ характеризует степень использования физического объема ЭВМ элементами, несущими полезную функциональную нагрузку,

т. е. непосредственно определяющими электрическую схему ЭВМ, и называется *коэффициентом интеграции* или *коэффициентом использования физического объема* (Он всегда меньше 1 и равен 1 в случае применения однокристалльной микро-ЭВМ).

5. Общая масса ЭВМ

Общая масса ЭВМ определяется суммой масс всех входящих в ЭВМ устройств:

$$m = m_N + m_{Mc} + m_n + m_{yt}$$

(обозначения в индексах аналогичны обозначениям в (2)).

6. Общая мощность потребления ЭВМ

$$P = \sum_{i=1}^{N_y} p_i,$$

где p_i — мощность потребления i -го устройства.

Для цифровых устройств потребляемая ими мощность зависит от средней мощности потребления ИС. Известно, что 80—90% мощности потребления рассеивается в виде теплоты и определяет тепловой режим ЭВМ и соответствующие перегревы элементов конструкции.

7. Общая площадь, занимаемая ЭВМ,

$$Q = \sum_{i=1}^{N_y} Q_i,$$

где Q — площадь, требуемая для эксплуатации i -го устройства ЭВМ, м^2 ; N_y — число устройств, составляющих ЭВМ.

8. Собственная частота колебаний конструкции

$$f_0 = [1/(2\pi)](k_{\text{ж}}/m)^{1/2},$$

где $k_{\text{ж}}$ — коэффициент жесткости конструкции; m — масса конструкции, кг.

Эффективность защиты конструкции ЭВМ от вибраций и ударов оценивается:

для амортизированной аппаратуры — коэффициентами вибро- и удароизоляции;

для неамортизированной аппаратуры — коэффициентами динамичности на низких и высоких частотах внешних воздействий;

Для амортизированной аппаратуры следует как можно больше уменьшать собственную частоту, а для неамортизируемой, наоборот, увеличивать, приближая ее к верхней границе возмущающих воздействий или превышая ее.

9. Степень герметичности конструкции

Степень герметичности конструкции, определяемая истечением газа из определенного объема блока за известный отрезок времени,

$$D = V \Delta P / \tau$$

где V — объем блока, дм^3 ; ΔP — избыточное давление газа в блоке, Па; τ — срок службы блока, с.

10. Вероятность безотказной работы ЭВМ

Вероятность безотказной работы ЭВМ — параметр, определяющий надежность ЭВМ.

Перечисленные показатели конструкции ЭВМ определяются в основном элементной базой, на которой строится машина.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЭВА И ВЫПУСКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. ПОНЯТИЕ О ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (ЕСКД)

План лекции:

1. Стандартизация конструкций ЭВА
2. Единая система конструкторской документации (ЕСКД)
3. Общие термины в ЕСКД

СТАНДАРТИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭВА

Решение перечисленных выше задач удовлетворения различным требованиям к конструкции ЭВА в значительной степени упрощается применением стандартизации конструкций, этапов разработки и документации ЭВА.

Последовательность этапов разработки ЭВМ и стадий выпуска конструкторской документации определяется Государственными стандартами.

При разработке ЭВМ выпускают большое количество технической документации (конструкторской и технологической), состав которой также определяется Государственными стандартами.

Как известно, из нескольких вариантов конструкции, решающей одинаковые функции, оптимальным является только один, который и должен быть принят к разработке. Он используется в следующих разработках, пока не будет создан новый, более качественный вариант. Такой принцип положен в основу **стандартизации** и создает благоприятные условия для составляющих стандартизации - **преемственности, повторяемости, типизации и унификации** элементов конструкции.

Преемственность – это объем применения в новом изделии ранее разработанных и освоенных производством деталей и узлов.

Снижает сроки разработки конструкции и стоимость подготовки производства (за счет использования имеющегося инструмента).

Повторяемость – характеризуется числом одинаковых узлов и деталей в изделии.

Упрощается конструкция и стоимость ее изготовления.

Типизация – это процесс целесообразного сокращения многообразия конструкций за счет создания типовых широко применяемых деталей и узлов.

Наивысшая степень типизации – унификация.

Унификация – это процесс сокращения многообразия типовых деталей и узлов или изделий путем объединения их в группы по определенным признакам и функциям.

Унифицированные элементы конструкции позволяют создавать различные приборы и устройства на базе исходных моделей с минимальными затратами времени и средств.

Это осуществляется путем создания унифицированных *рядов* функциональных изделий, схожих по форме и отличающихся между собой параметрами, либо размерами. Эти ряды образуют соответственно *параметрические* и *размерные ряды*.

Параметрические ряды охватывают элементы с вариацией параметров. В таких рядах параметры представляются в виде мощности, емкости, сопротивления, коэффициента усиления, количества определенных возможностей цифрового устройства и т.д.

Степень унификации оценивают коэффициентом унификации:

$$K_y = N_y / N,$$

где N_y – количество унифицированных деталей; N – общее количество деталей.

Нормализация – метод внедрения в пределах предприятия, объединения или ведомства норм, рационально ограничивающих разнообразие типоразмеров конструкции, материалов, полуфабрикатов, обрабатывающего и измерительного инструмента и других норм общей применимости.

Документом, регламентирующим обязательное применение какой-либо из норм, является *нормаль*. Нормали ограничивают также и общие ГОСТы.

Стандартизация – метод обеспечения единства качества параметров массовой промышленной продукции, снижения трудоемкости ее изготовления путем установления обязательных норм на параметры изделий или производственные процессы.

Документами, регламентирующими указанные нормы, являются *государственные стандарты* (ГОСТ), которые обязательны к применению наравне с установленными государством законами.

Отраслевые стандарты (ОСТ) обязательны для отдельных отраслей промышленности.

Главными в стандартизации являются общетехнические нормы, в том числе Единая система конструкторской документации (ЕСКД).

ЕДИНАЯ СИСТЕМА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (ЕСКД)

В настоящее время в России действует Единая система конструкторской документации (ЕСКД) — система Государственных стандартов, которые устанавливают правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения технической документации,

разрабатываемой и применяемой предприятиями и организациями России.

Применение ЕСКД при разработке ЭВА обеспечивает:

а) возможность взаимобмена техническими документами между различными предприятиями внутри страны и между государствами без их переоформления;

б) сокращение типов и упрощение форм технических документов и графических изображений, снижающих трудоемкость проектирования;

в) механизацию и автоматизацию обработки технических документов и содержащейся в них информации.

Требования стандартов ЕСКД распространяются на все виды конструкторской документации и научно-техническую литературу.

Несоблюдение стандартов ЕСКД запрещается законом.

ЕСКД — своего рода язык конструктора, и его должен знать и умело применять разработчик любого вида изделий.

ОБЩИЕ ТЕРМИНЫ В ЕСКД

Изделие — любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают **изделия основного производства**, предназначенные для поставки (реализации), и **изделия вспомогательного производства**, предназначенные для собственного потребления предприятием-изготовителем.

Деталь — изделие, не имеющее составных частей и изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. К деталям относят также изделия, изготавливаемые с применением местной сварки, пайки, склеивания и т. д.

Пример деталей: печатная плата, ферритовый сердечник, лепесток разъема, держатель транзистора и т. д.

Сборочная единица — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склейкой, сшивкой и т. п.).

Пример сборочных единиц: ячейка, микросхема, разъем и т. д.

К сборочным единицам также относят:

а) изделия, конструкция которых выполнена в виде, позволяющем разбирать их на составные части для удобства упаковки, транспортирования и т. д.;

б) совокупность изделий, имеющих общее функциональное назначение и совместно монтируемых в другой сборочной единице;

в) совокупность изделий, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных в тот или иной вид упаковки и предназначенных для использования совместно с другими упакованными изделиями.

Комплекс — изделие, составленное из двух (или более) сборочных единиц, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Каждое из изделий, входящих в комплекс, может служить как для выполнения одной или нескольких основных функций, так и для выполнения вспомогательных функций.

В первом случае примером комплекса является система, состоящая из ЭВМ, входных и выходных устройств, изготавливаемых на специализированных предприятиях-изготовителях и стыкующихся с остальными устройствами машины только на месте эксплуатации.

Во втором случае в комплекс могут входить, например, детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа, ремонта и эксплуатации ЭВМ по месту установки: комплект запасных частей, укладочных средств, испытательной аппаратуры, тары и т. д.

Комплект — два (или более) изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера.

К комплектam относят также деталь или сборочную единицу, поставляемую вместе с набором других деталей или сборочных единиц, предназначенных для выполнения вспомогательных функций при эксплуатации этой детали или сборочной единицы (например, осциллограф в комплекте с укладочной тарой, запасными частями, монтажным инструментом, сменными частями).

Неспецифицированные изделия — детали, не имеющие составных частей.

Специфицированные изделия — сборочные единицы, комплексы, комплекты, имеющие в своем составе две (или более) составные части.

Покупные изделия — изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им в готовом виде.

КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

План лекции:

1. Виды конструкторских документов
2. Требования к выполнению конструкторских графических документов
3. Требования к выполнению текстовых конструкторских документов

ВИДЫ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Государственные стандарты устанавливают виды и комплектность конструкторских документов на изделия всех отраслей промышленности.

Конструкторские документы (КД) — документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

По форме представления КД разделяют на графические и текстовые.

Графические конструкторские документы

Графические конструкторские документы — документы, в которых с помощью установленных стандартом символов и правил поясняются устройство, принцип действия, состав и связи между отдельными частями изделия. К ним относят:

чертеж детали — изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

сборочный чертеж — изображение изделия и данные, необходимые для его сборки (изготовления) и контроля;

чертеж общего вида — изображение конструкции изделия, дающее представление о взаимодействии его основных частей и принципе работы;

теоретический чертеж — геометрическая форма изделия и координаты его основных частей;

габаритный чертеж — контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

монтажный чертеж — контурное (упрощенное) изображение изделия, содержащее данные для его установки (монтажа);

схему — условные изображения или обозначения составных частей изделия и связей между ними;

спецификацию — состав сборочной единицы, комплекса или комплекта.

Текстовые конструкторские документы

Текстовые конструкторские документы — документы, содержащие описание устройства, принципа действия и эксплуатационных показателей изделия. К ним относят:

ведомость спецификаций — перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости;

ведомость ссылочных документов — перечень ссылочных документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия;

ведомость покупных изделий — перечень покупных изделий, примененных в составе разрабатываемого изделия;

ведомость согласования применения изделий — подтверждение согласования с соответствующими организациями применения определенных покупных изделий в разрабатываемом изделии;

ведомость держателей подлинников — перечень предприятий, на которых хранятся подлинники документов, разработанных для данного изделия;

ведомость технического предложения (эскизного, технического проекта) — перечень документов, вошедших в техническое предложение (эскизный, технический проект);

пояснительную записку — описание устройства и принципа действия разработанного изделия, а также обоснование принятых при его разработке технико-экономических решений;

технические условия — потребительские- (эксплуатационные) показатели изделия и методы контроля его качества;

программу и методику испытаний — технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля;

расчет — расчеты параметров и величин, например расчет размерных цепей электрических режимов и т. д.

Классификация КД по способу выполнения и характеру использования

По способу выполнения и характеру использования КД делят на:

оригиналы — документы, выполненные на любом материале и предназначенные для изготовления по ним подлинников;

подлинники — документы, оформленные подлинными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий;

дубликаты — документы, идентичные подлиннику и выполненные на любом материале, позволяющем снятие с них копии;

копии — документы, выполненные способом, обеспечивающим их идентичность с подлинником (дубликатом), и предназначенные для

непосредственного использования при разработке, изготовлении, ремонте и эксплуатации изделий.

Проектные КД – КД, выполненные на этапах технического предложения, эскизного и технического проектов.

Рабочие КД – КД, выполненные на этапе выпуска рабочей документации.

Обозначения (шифры) КД:

Сборочный чертеж	СБ
Чертеж общего вида	ВО
Теоретический чертеж	ТЧ
Габаритный чертеж	ГЧ
Монтажный чертеж	МЧ
Схема электрическая структурная	Э1
Схема электрическая функциональная	Э2
Схема электрическая принципиальная	Э3
Схема электрическая соединений	Э4
Схема электрическая подключений	Э5
Схема электрическая общая	Э6
Схема электрическая расположения	Э7
Чертеж электромонтажный	МЭ
Спецификация	СП
Таблица соединений	ТБ
Таблица сигналов	ТБ
Схема распайки	Д1
Таблицы	ТБ
Расчеты	РР

Особенности ЭВМ как отдельного, самостоятельного класса продукции привели к созданию некоторых специфических конструкторских документов: схем алгоритмов; диаграмм временных и микропрограммной логики; таблиц сигналов, идентификаторов сигналов, проверки параметров.

Особую группу документов составляет КД на программное обеспечение. Правила составления программной документации устанавливается **единой системой программной документации** (ЕСПД).

Единая система технологической документации (ЕСТД) включает в себя группу стандартов, определяющих правила составления и обращения технологических документов.

Широкое внедрение автоматизированных методов проектирования средств вычислительной техники не изменяет комплект конструкторской документации. Однако одна часть документов выполняется в обычном, традиционном виде (на бумаге, кальке), а другая — на машинных носителях (перфоленте, магнитных ленте, дисках).

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНСТРУКТОРСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Стандарты ЕСКД устанавливают основные требования к выполнению конструкторских графических документов: выбору формата чертежей и масштабов изображения, правилам простановки размеров и введения обозначений, выполнения чертежей различных видов изделий и построения спецификаций.

Основными форматами приняты 11 – А4 (размеры сторон 297 X 210), 12 – А3 (297 X 420), 22 – А2 (594 X 420), 24 – А1 (594X841) и 44 – А0 (1189X841).

В графических КД определены:

масштабы уменьшения (1:2, 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10;

1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50;

1:75; 1:100; 1:200; 1:400;

1:500; 1:800; 1:1000);

масштабы увеличения (2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1).

Основные правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах следующие:

а) общее число размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия;

б) размеры, не обеспечиваемые при изготовлении изделия по данному чертежу и указанные для удобства пользования, называют *справочными* и отмечают знаком «*» с помещением записи «Размеры для справок»;

в) линейные размеры и их допустимые отклонения указывают на чертежах в миллиметрах без обозначения единицы измерения;

г) при обозначении размеров простые дроби не применяют, за исключением размеров в дюймах;

д) повторение размеров одного и того же элемента изделия на разных видах не допускается;

е) нанесение размеров в виде замкнутой цепи не допускается;

ж) при указании радиуса перед размерным числом помещают прописную букву *R*, при указании размера диаметра – знаки \varnothing ;

з) предельные отклонения размеров указывают непосредственно после номинальных значений.

Стандарты устанавливают правила нанесения размеров для всех встречающихся на практике случаев, и при выполнении чертежей изделий следует пользоваться его правилами и положениями.

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕКСТОВЫХ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Государственные стандарты ЕСКД устанавливают основные требования к выполнению конструкторских текстовых документов (ТД).

Текстовые документы выполняют на установленных соответствующими стандартами формах машинописным, рукописным или типографским способом.

Вписывать отдельные слова, формулы, условные знаки, вносить схемы и рисунки необходимо черным цветом.

Для размещения утверждающих и согласовывающих подписей к ТД рекомендуется составлять один или несколько титульных листов.

Содержание ТД разбивают на разделы и подразделы, а при большом объеме — на части. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами в пределах всего документа. Подразделы в пределах каждого раздела должны иметь составные номера, первая часть которых означает номер раздела, а вторая, отделенная от первой точкой — номер подраздела. В пределах подраздела допускается разбивать текст на пункты и подпункты. Номер пункта должен состоять из номера раздела, подраздела и пункта, разделенных точками.

В документах большого объема содержание рекомендуется располагать в начале, а список литературы и документации, использованной при составлении документа, — в конце. Если в документе была принята специфическая терминология, то в нем необходим перечень принятых терминов с пояснениями. Сокращения слов в тексте и под иллюстрациями не допускается.

СХЕМНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

План лекции:

1. Виды и типы схем
2. Правила выполнения электрических схем

ВИДЫ И ТИПЫ СХЕМ

По виду элементов, входящих в состав изделия, связей между ними и назначения схемы подразделяют на виды и типы

Вид схемы	Обозначение	Тип схемы	Обозначение
Электрическая	Э	Структурная	1
Гидравлическая	Г	Функциональная	2
Пневматическая	П	Принципиальная	3
Кинематическая	К	Соединений (мон	4
Оптическая	О	тажная)	
Комбинированная	С	Подключений	5
		Общая	6
		Расположения	7
		Прочие	8
		Совмещенная	9

Структурные схемы определяют основной состав изделия и его функциональные части, их назначение и взаимосвязи. Структурные схемы разрабатывают на начальных стадиях проектирования изделия и используют как для построения схем других типов, так и для общего ознакомления с изделием.

Функциональные схемы поясняют процессы, происходящие в отдельных функциональных узлах и частях изделия или в изделии в целом. Функциональными схемами пользуются для построения принципиальных схем, изучения принципа работы изделия, а также при его наладке, ремонте и эксплуатации.

Принципиальные схемы определяют полный состав элементов и связей между ними и дают детальное представление о принципе работы изделия. На основе принципиальных схем разрабатывают такие

конструкторские документы, как схемы соединений (монтажные), чертежи конструктивных элементов, узлов, устройств.

Схемы соединений показывают соединения составных частей изделия и определяют провода, жгуты, кабели и другие соединительные изделия, а также места их присоединения и ввода. Схемы соединения используют при разработке конструкторских графических и текстовых документов, а также при ремонте и эксплуатации изделия.

Схемы подключений показывают внешние подключения изделия (или изделий). Схемы подключений используют при монтаже изделия на месте эксплуатации, а также при его ремонте.

Общие схемы определяют составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации.

Схемы расположения устанавливают взаимное расположение отдельных составных частей комплекса, а при необходимости и соединяющих их жгутов, проводов, кабелей и т. д. Схематическими расположениями пользуются при установке и эксплуатации изделия.

При проектировании схем следует придерживаться правил, изложенных в соответствующих стандартах ЕСКД. В них устанавливаются условные графические обозначения элементов схем, требования к вычерчиванию связей между элементами, правила помещения различных технических данных на условные графические обозначения и т. д. При проектировании ЭВМ используют в основном электрические схемы.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Схема электрическая структурная

На схеме электрической структурной (Э1) показывают все функциональные части ЭВМ и основные взаимосвязи между ними.

Функциональные части можно изображать условно *графически*, как указано в ГОСТе, или в виде *прямоугольников*. В последнем случае внутри прямоугольника приводят *наименование* данной функциональной части. Линии взаимосвязей рекомендуется обозначать *стрелками*, показывающими направления хода процесса, движения информации и т. п. При большом числе функциональных частей рекомендуется взамен обозначений, наименований и типов вводить *порядковые номера*, проставляя их слева направо и сверху вниз. В этом случае расшифровку номеров производят в *таблице*, помещаемой над основной надписью.

Построение структурной схемы поясняется примером схемы электрической структурной ЭВМ (рис. 2.11, где *Пр*— процессор; *О/У*— оперативная память; *МП*— местная память;

ПП— постоянная память; *У*— управление; *К*— каналы, *УВД*— устройство ввода—вывода).

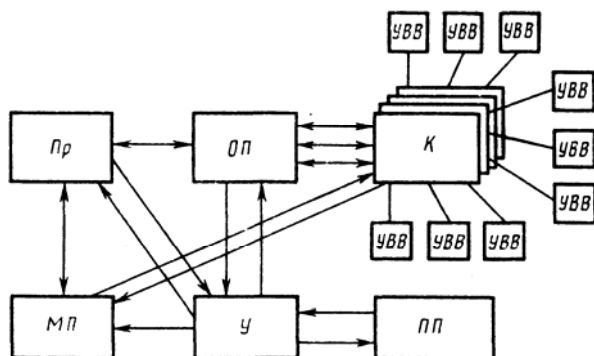


Рис. 2.11. Пример построения структурной схемы ЭВМ

Схема электрическая функциональная

На схеме электрической функциональной (Э2) показывают функциональные части машины, участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, и связи между этими частями.

Функциональные части изображают, как правило, в виде **условных графических обозначений**, однако допускается применение **прямоугольников**.

На схеме Э2 должны быть указаны:

- для каждой **функциональной группы** — наименование;
- для каждого **устройства**, изображенного **прямоугольником**, — наименование, обозначение или тип;
- для каждого устройства, изображенного в виде **условного графического обозначения**, — обозначение или тип;
- для каждого **элемента** — позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, или тип. Наименования, обозначения или типы рекомендуется вписывать в прямоугольники. Допускается на схеме помещать поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность прохождения процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (форма и величина импульсов, реализуемая логическая функция и т. д.).

Построение функциональной схемы поясняется примером схемы электрической функциональной процессорного блока микро-ЭВМ, построенного на МПК БИС серии K580 (рис. 2.12).

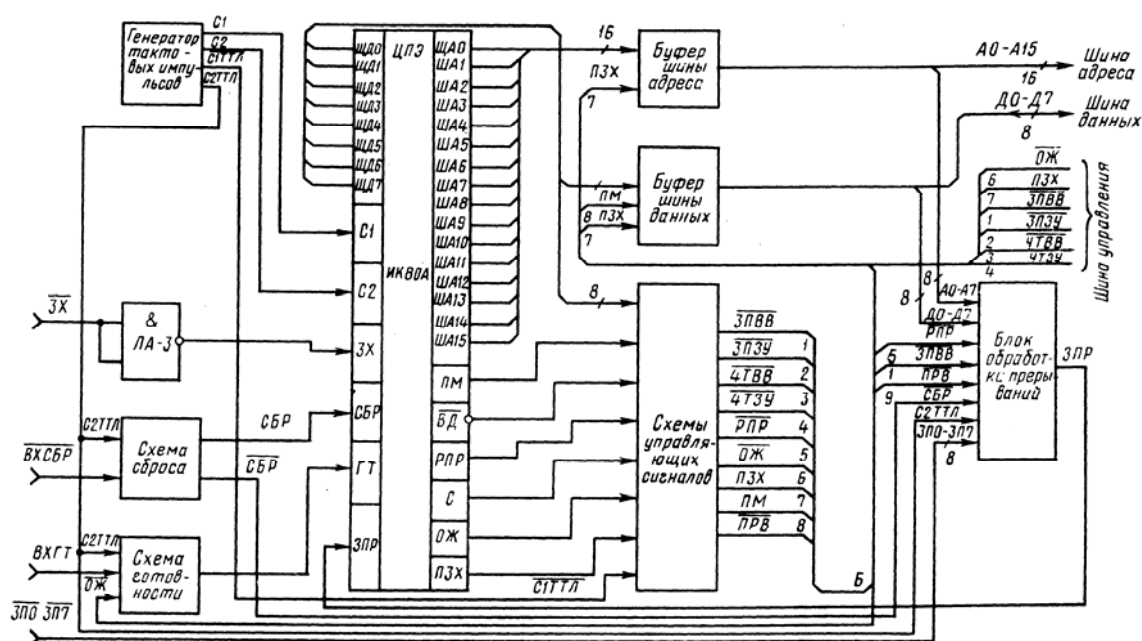


Рис. 2.12. Пример построения функциональной схемы процессорного блока микро-ЭВМ (МПК БИС серии К580)

Схема электрическая принципиальная

На схеме электрической принципиальной (ЭЗ) указывают все элементы, необходимые для построения ЭВМ (или ее отдельного узла), связи между элементами и элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Элементы в схеме изображают в виде условных графических обозначений. Расстояние между двумя соседними линиями условных графических обозначений должно быть не менее 0,8 мм.

Условные графические обозначения на схеме ЭЗ располагают так, чтобы изображения связей между ними были кратчайшими линиями с минимальным числом пересечений. Линии связей должны быть показаны полностью, однако при необходимости их допускается обрывать, заканчивая места обрыва стрелками с обозначением места включения. Для упрощения чертежа схемы можно несколько электрически не связанных линий связи сливать в общую утолщенную линию, но при подходе к контактам каждая линия должна быть изображена отдельно, линии связи при этом необходимо пронумеровать одинаковыми числами на обоих концах (рис. 2.13).

Каждый элемент, входящий в схему, должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, составленное из буквенного индекса и порядкового номера. Порядковые номера элементам присваивают начиная с единицы сверху вниз в направлении слева направо, в пределах группы элементов, которым на схеме дан одинаковый буквенный индекс.

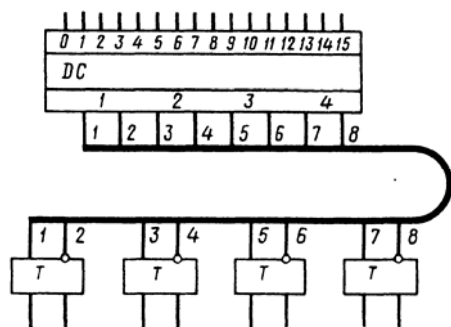


Рис. 2.13. Объединение электрически не связанных линий связи в схеме

Если элемент состоит из нескольких частей, то допускается к его позиционному обозначению добавлять цифры, присваиваемые каждой части элемента (например, Э1-1, Э1-2, Э1-3 означают первую, вторую и третью части элемента 7).

Данные о всех элементах, включенных в схему, должны быть записаны в перечень (связь перечня с условными графическими обозначениями элементов осуществляется через позиционные обозначения). В отдельных случаях допускается сведения об элементах располагать на схеме около условных графических обозначений.

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭВА. ИЕРАРХИЧЕСКИЕ УРОВНИ ЭВА

План лекции:

1. Особенности конструктивной иерархии ЭВМ
2. Уровни конструктивной иерархии ЭВМ
3. Примеры организации иерархии в конструкциях ЭВМ
4. Принципы иерархического конструирования

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОЙ ИЕРАРХИИ ЭВМ

Конструкция вычислительной машины должна отвечать рассмотренным ранее требованиям, приведенным в разделе «Требования, предъявляемые к конструкции ЭВА». Оптимальное удовлетворение этих требований может быть осуществлено путем рационального разбиения схемы машины на относительно мелкие, часто повторяющиеся участки, реализуемые в виде типовых конструктивных единиц.

Составные части конструкции ЭВМ находятся в иерархической соподчиненности. Исходный конструктивный элемент этой иерархии — ***интегральная микросхема***, все или часть элементов которой нераздельно связаны и электрически соединены между собой так, что ее устройство рассматривается как единое целое.

Структурную схему ЭВМ любого класса и назначения строят из некоторого конечного числа микросхем. Функционально одна группа микросхем может отличаться от другой, но конструктивно они выполнены в виде определенного по размерам и конфигурации унифицированного корпуса.

Применение микросхем с различными корпусами в пределах одного устройства большой ЭВМ нецелесообразно, так как здесь требуется обеспечить их совместимость по электрическим, эксплуатационным и конструктивным параметрам.

При использовании интегральных микросхем операции сборки конструкции начинают на уровне схем, выполняющих определенные функции.

Интегральная микросхема при этом является ***исходным унифицированным конструктивным элементом***, унификация которого требует унификации и других конструктивных единиц ЭВМ, для того чтобы она была технологичной в производстве, надежной в работе, удобной в наладке, ремонте и эксплуатации.

УРОВНИ КОНСТРУКТИВНОЙ ИЕРАРХИИ ЭВМ

В конструкции ЭВМ можно выделить пять уровней.

Уровень 0. На этом уровне находится конструктивно неделимый элемент — интегральная микросхема.

Уровень I. На уровне I неделимые элементы объединяются в схемные сочетания, имеющие более сложный функциональный признак, образуя ячейки, модули, типовые элементы замены. Эти конструктивные единицы не имеют лицевой панели и содержат единицы, десятки, а иногда и сотни микросхем. К первому структурному уровню относят печатные платы и большие гибридные интегральные схемы (БГИС) (полученные путем электрического и механического объединения обычных бескорпусных микросхем и кристаллов полупроводниковых приборов на общей плате. На этой плате нанесены пассивная часть схемы и контактные площадки).

Уровень II. Этот уровень включает в себя конструктивные единицы, предназначенные для механического и электрического объединения элементов уровня I (панель, субблок, блок). Часто конструктивные единицы уровня II содержат лицевую панель, не имеющую самостоятельного применения.

Уровень III. Уровень III может быть реализован в виде стойки или шкафа, внутренний объем которых заполняется конструктивными единицами уровня II.

Уровень IV. Уровень IV — ЭВМ или система, включающая в свой состав несколько стоек (шкафов), соединенных кабелем.

Пятиуровневый метод компоновки требует решения ряда задач, связанных с выбором оптимального корпуса микросхем и метода присоединения их выводов к внутренним соединениям уровня I, выбора оптимальных размеров конструктивной единицы уровня I и числа входящих в нее микросхем, определения мер для теплоотвода и выбора метода соединений.

Разделение конструкции ЭВМ на уровни позволяет:

- 1) организовать производство по независимым циклам для каждого структурного уровня;
- 2) автоматизировать процессы сборки и монтажа;
- 3) сократить период настройки, так как может быть произведена предварительная настройка отдельных конструктивных единиц порознь;
- 4) автоматизировать решение задач размещения элементов и трассировки межсоединений;
- 5) унифицировать стендовую аппаратуру для испытания конструктивных единиц;
- 6) повысить надежность конструктивных единиц.

Число уровней конструктивной иерархии может быть изменено как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения (в зависимости от класса ЭВМ и уровня технологии ее изготовления).

Например, реализация различных устройств машины в виде БИС позволит исключить использование конструктивных единиц уровня I (такая машина будет компоноваться непосредственно из БИС).

Но большая многопроцессорная ЭВМ со сложной структурой требует использования четырех, а иногда и пяти уровней конструктивной иерархии.

Для всех типов машин уровень иерархии 0 включает в себя интегральные микросхемы (корпусные или бескорпусные).

ПРИМЕРЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИЕРАРХИИ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭВМ

На рис. 3.1 представлен один из наиболее распространенных вариантов конструктивной иерархии универсальных ЭВМ со сложной структурой.

В нем уровень I конструктивной иерархии включает в себя **типовой элемент замены (ТЭЗ)** — конструктивно законченную единицу, которая самостоятельна по технологии производства и служит исходной конструктивной единицей всей машины и взаимозаменяема с однотипными ТЭЗ.

Число типов ТЭЗ (их номенклатуру) следует делать как можно меньшим. Это достигается рациональным разбиением функциональной схемы машины на отдельные повторяющиеся участки.

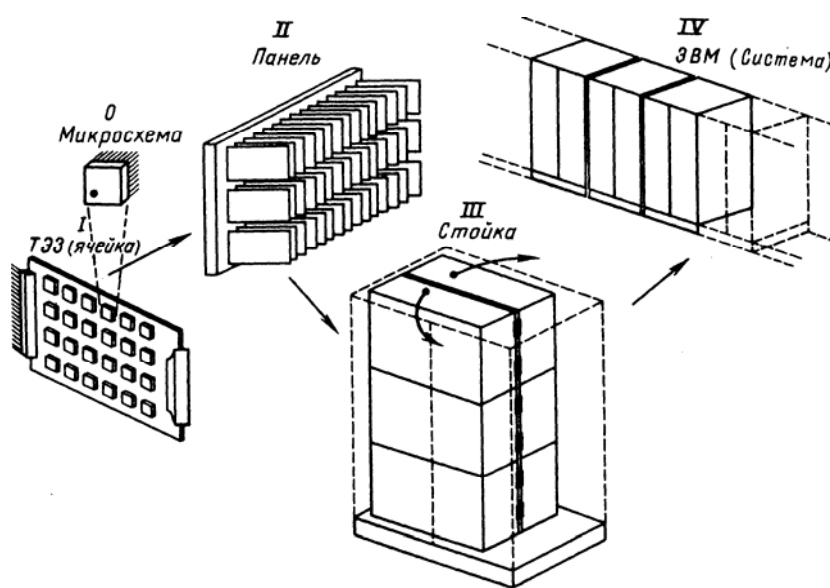


Рис. 3.1. Конструктивная иерархия больших универсальных ЭВМ

В качестве ТЭЗ в рассматриваемом варианте конструктивной иерархии используются **ячейки** — прямоугольные печатные платы с разъемом (печатным или штыревым) и (возможно) ручкой, объединяющие до нескольких десятков микросхем.

Ячейки монтируют в **панели** — металлическую конструкцию, имеющую в своем составе ответные части разъемов для ячеек, ответный монтаж, разводку питания и шины заземления.

Несколько панелей монтируются в **стойке**, имеющей дверцы, закрывающие внутренний объем.

Кроме панелей в состав стойки могут входить блоки питания, устройства вентиляции, блокировки и т. д. Несколько стоек (шкафов), объединенных электрически с помощью кабелей, образуют ЭВМ.

Иерархию микросхема -- ячейка -- панель -- стойка -- ЭВМ (система) широко использовали в серии машин «System-360» фирмы «IBM» (США), многопроцессорной машине «Illiас-IV», в машинах **ЕС ЭВМ** и др.

Недостаток конструкций, применяющих в качестве ТЭЗ ячейки с постоянными габаритными размерами, — наличие неиспользованного объема, так как не все типы ячеек оказываются насыщенными микросхемами.

Этого недостатка лишены конструкции, где в качестве ТЭЗ берется **модуль** — структурная единица уровня I, унифицированная по конструктивным размерам (геометрическим и присоединительным) и имеющая два размера (толщину(высоту) и ширину) постоянными, а третий размер (длину) — изменяющийся от одного типа модуля к другому.

На рис. 3.2 представлена конструктивная иерархия ЭВМ, использующая в качестве ТЭЗ модули различной длины. Модуль представляет собой прямоугольную печатную плату, на которой с одной или с обеих сторон в 2—3 ряда располагаются микросхемы. Закрепление модуля на субблоке осуществляют с помощью штырей, перпендикулярных плоскости платы модуля и монтируемых или на самом модуле, или на базовой плате субблока.

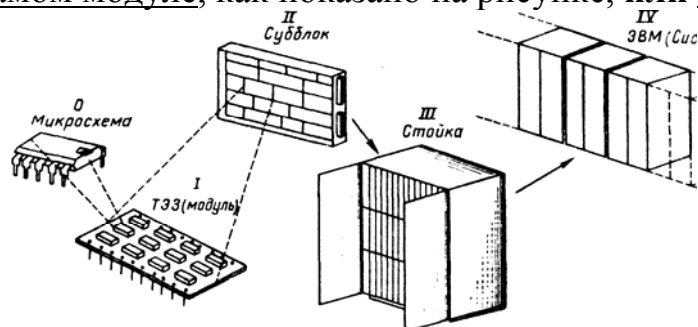


Рис. 3.2. Модульный вариант конструктивной иерархии больших ЭВМ

Субблок — плоская конструкция, служащая для объединения модулей и имеющая в своем составе раму, базовую плату, разъем и механизм фиксации в стойке (шкафу). Монтаж стойки ЭВМ

осуществляют непосредственно из субблоков **без** промежуточных конструктивных единиц.

Уменьшение функционального состава ЭВМ приводит к упрощению ее конструкции. На рис. 3.3 представлена конструктивная иерархия небольшой управляющей ЭВМ (микросхема -- ячейка -- блок -- стойка), отличие которой от предыдущих примеров иерархии — использование **блоков** — конструктивных единиц, объединяющих ячейки и функционально включающих в себя целиком устройства машины (арифметическое, запоминающее, управления и др.). Примером блочного построения ЭВМ могут служить машины, выпускавшиеся фирмой «Stein Associates» (США), **СМ ЭВМ** и др.

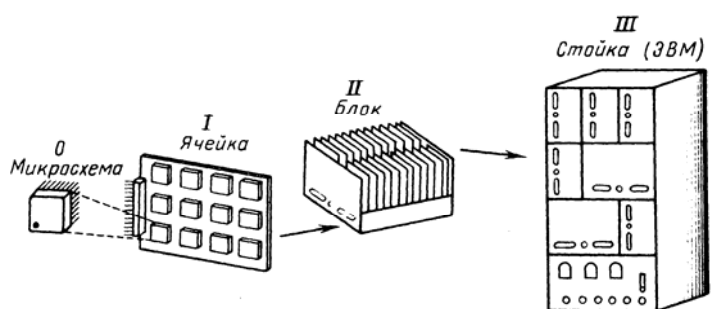


Рис. 3.3. Блочный вариант конструктивной иерархии средних и малых ЭВМ

Для небольших настольных и бортовых ЭВМ необходимость в использовании конструктивных единиц уровня II (субблоков, панелей, блоков) **отпадает** — ЭВМ монтируют непосредственно из ячеек.

При этом размеры ячеек и число монтируемых на них микросхем, как правило, больше, чем в больших и средних ЭВМ. Это связано с тем, что разбиение функциональной схемы сравнительно небольших вычислительных машин на повторяющиеся мелкие узлы приводит к необходимости изготовления ячеек (или модулей) небольшого размера, а отсюда к появлению большого числа проводных и разъемных соединений.

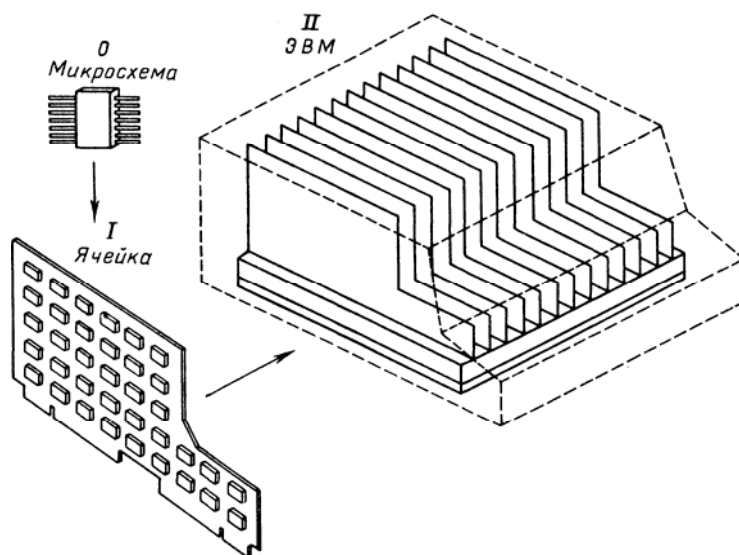


Рис. 3.4. Конструктивная иерархия настольных ЭВМ

На рис. 3.4 представлены структурные уровни конструктивной иерархии настольной, а на рис. 3.5—бортовой ЭВМ. В обоих случаях ячейки вместе со смонтированными на них микросхемами устанавливаются непосредственно на базовую плату, образуя блок, который затем помещают в кожух с пультом управления (настольный вариант) или с разъемом (бортовой вариант).

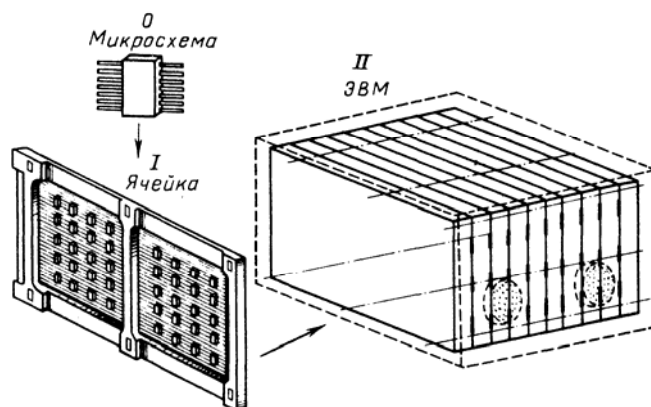


Рис. 3.5. Конструктивная иерархия бортовых ЭВМ

Примером двухуровневой конструктивной иерархии может служить конструкция одноплатной управляющей микро-ЭВМ, встраиваемой непосредственно в объект управления (рис. 3.6). В такой конструкции БИС устанавливается на печатную плату с внешними разъемами, элементами крепления ее в объекте управления и элементами индикации (при необходимости) с лицевой стороны. Управление и электропитание осуществляются от управляемого объекта.

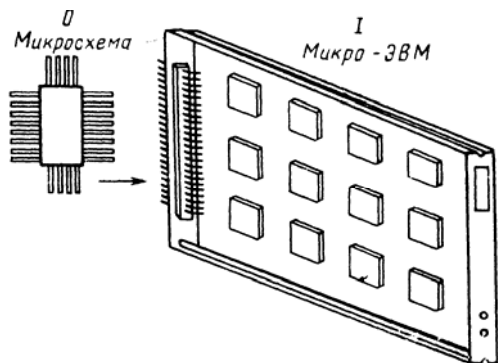


Рис. 3.6. Конструктивная иерархия встраиваемых микро-ЭВМ

ПРИНЦИПЫ ИЕРАРХИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ

Рассмотрим, как приведенные варианты конструктивной иерархии ЭВМ согласуются с общими принципами конструирования радиоэлектронной аппаратуры на печатных платах.

В настоящее время получили широкое распространение такие принципы конструирования, как *моносхемный*, *схемно-узловой*, *каскадно-узловой*, *функционально-узловой* и *модульный*.

Моносхемный принцип конструирования.

Этот принцип конструирования заключается в том, что полная принципиальная схема радиоэлектронного аппарата располагается на

одной печатной плате и поэтому выход из строя одного элемента приводит к сбою всей системы.

Оперативная замена вышедшего из строя элемента затруднена из-за сложности его обнаружения. ЭВМ, построенная по моносхемному принципу, должна быть смонтирована из нескольких БИС, в которых предусмотрены меры увеличения надежности путем введения аппаратной и информационной избыточности. Нахождение неисправностей при этом должно производиться программными методами.

Схемно-узловой принцип конструирования.

При этом принципе конструирования на каждой из печатных плат располагают часть полной принципиальной схемы радиоаппарата, имеющую четко выраженные входные и выходные характеристики.

По такому принципу сконструированы настольные и бортовые ЭВМ, где различные устройства ЭВМ выполняют на одной или нескольких (небольшом числе) платах, а объединение их между собой производят с помощью коммутационной платы и проводных жгутов.

Каскадно-узловой принцип конструирования.

Этот принцип конструирования заключается в том, что принципиальную схему радиоаппарата делят на отдельные каскады, которые не могут выполнять самостоятельных функций.

Вариант конструктивной иерархии, представленный на рис. 3.3, занимает промежуточное положение между схемно-узловым и каскадно-узловым принципами.

ЭВМ с относительно сложной и большой структурой строится по каскадно-узловому принципу, а ЭВМ с более простой структурой—по схемно-узловому принципу.

Функционально-узловой принцип конструирования.

Этот принцип конструирования нашел широкое распространение при разработке больших ЭВМ (см. рис. 3.1 и 3.2).

Базовым элементом конструкции здесь является ТЭЗ. Имея необходимый набор ТЭЗ, можно построить целый ряд вычислительных машин с различными техническими характеристиками.

Модульный*¹ принцип конструирования.

Этот принцип конструирования предполагает, что основные функциональные узлы вычислительной машины взаимосвязаны с помощью одного канала. Чтобы установить связь с модулем-приемником, модуль-передатчик посылает нужный сигнал вместе с

¹ Под модулем в данном случае подразумевается функционально-структурная, а не конструктивная единица машины, так как он может выполнять как функции отдельного устройства ЭВМ (устройства управления, процессор, оперативная память и т. д.), так и целой вычислительной машины. Конструктивная же организация каждого модуля может быть основана на одном из выше рассмотренных вариантов конструктивной иерархии

адресом по одной (или более) шине. Сигналы поступают на входы всех подключенных к каналу модулей, но отвечает только запрашиваемый.

Применяя этот принцип, можно построить вычислительную машину с практически неограниченной производительностью и сложностью, сохраняя при этом гибкость в ее организации, так как разработчик использует ровно столько модулей, сколько ему требуется. Разработчик ЭВМ может также легко модернизировать конструкцию, меняя или добавляя отдельные модули и получая при этом необходимые параметры.

КОНСТРУКТИВНЫЕ МОДУЛИ (КМ) НУЛЕВОГО УРОВНЯ. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ (ИС)

План лекции:

1. Классификация и система обозначений ИС
2. Корпуса интегральных микросхем
3. Основные параметры интегральных логических микросхем

КЛАССИФИКАЦИЯ ИС

На низшем, нулевом, уровне конструктивной иерархии ЭВМ любого типа и назначения находятся интегральные микросхемы (ИС), выполняющие логические, вспомогательные, специальные функции, а также функцию запоминания.

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество интегральных микросхем, которые можно классифицировать по ряду признаков.

По функциональному назначению ИС делят на *логические* (цифровые), *линейно-импульсные* и *линейные* (аналоговые).

Логические ИС используют в цифровых устройствах. К логическим ИС принадлежат микропроцессорные схемы, схемы памяти и другие интегральные схемы, выполняющие логические функции.

Линейно-импульсные и линейные ИС применяются в аналоговых вычислительных машинах и в устройствах преобразования информации. К этим ИС относятся различные преобразователи, операционные усилители, компараторы, ЦАП, АЦП и другие схемы.

По технологии изготовления ИС разделяют на *полупроводниковые* и *гибридные*.

Элементы электрической схемы **полупроводниковых ИС** формируют в объеме и (или) на поверхности полупроводникового материала (подложки). Формирование активных и пассивных элементов схемы производят введением концентраций примесей в различные части монокристаллической пластины.

В зависимости от применяемых активных элементов полупроводниковые ИС подразделяют на схемы с *биполярными* и *униполярными* структурами.

По методу изоляции компонентов эти схемы делят на ИС с *изоляцией диффузионными р-п-переходами* и ИС с *изоляцией диэлектриком*.

В гибридных ИС пассивную часть схемы выполняют в виде пленок, наносимых на поверхность диэлектрического материала (подложки), а активные элементы, имеющие самостоятельное конструктивное оформление, крепят к поверхности подложки.

В гибридных ИС используют как тонкие, так и толстые резистивные, проводящие и диэлектрические пленки. Пленки толщиной до 1 мкм считают *тонкими*, а толщиной свыше 1 мкм — *толстыми*. ИС, использующие тонкие и толстые пленки, называют соответственно *тонко- и толстопленочными*.

В зависимости от метода подсоединения бескорпусных активных элементов гибридные ИС делят на микросхемы с *гибкими* и с *жесткими* (шариковыми, столбиковыми, балочными и лепестковыми) выводами.

Степень интеграции $K_{\text{и}}$ микросхемы определяется числом N содержащихся в ней элементарных схем:

$$K_{\text{и}} = [\lg N] + 1,$$

где $[\lg N]$ — целая часть $\lg N$.

Таким образом, микросхема, содержащая до 10 элементарных схем, имеет *первую* степень интеграции (малая ИС), до 100 схем — *вторую* (средняя ИС), до 1000 схем — *третью* (БИС), свыше 1000 схем — *сверхбольшую* ИС (СБИС).

По конструктивному оформлению ИС делят на *корпусные* с выводами, корпусные *без выводов* и *бескорпусные*.

Ряд отдельных функциональных микросхем, объединенных по виду технологии изготовления, напряжениям источников питания, входным и выходным сопротивлениям и уровням сигналов, конструктивному оформлению и способам крепления или монтажа, образуют *серию ИС*.

Обычно в серию ИС входит такой набор функциональных микросхем, из которых можно построить законченное устройство. Существуют также серии специальных микросхем, предназначенных для работы в специфических условиях, или специального назначения (специализированные ИС), например для управления запоминающим устройством, внешними устройствами и т. д.

КОРПУСА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Корпуса интегральных микросхем выполняют ряд функций, основные из которых следующие: *защита от климатических* и

механических воздействий; *экранирование* от помех; *упрощение* процессов сборки микросхем; *унификация* исходного конструктивного элемента (микросхемы) по габаритным и установочным размерам.

По конструктивно-технологическому признаку различают корпуса:

а) *металлостеклянные* (стеклянное или металлическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки; выводы изолированы стеклом);

б) *металло-полимерные* (подложка с элементами и выводами помещается в металлическую крышку, после чего осуществляется герметизация путем заливки компаундом);

в) *металлокерамические* (керамическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки или пайки); г) *керамические* (керамическое основание и крышка, соединенные между собой пайкой);

д) *пластмассовые* (пластмассовое основание, соединенное с пластмассовой крышкой опрессовкой).

Каждый вид корпуса характеризуется *габаритными* и *присоединительными* размерами, *числом* выводов и *расположением* их относительно плоскости основания корпуса.

Выводы микросхем могут лежать в плоскости основания корпуса (*планарные выводы*) или быть перпендикулярными ему (*штыревые выводы*).

Планарные выводы по сечению, как правило, прямоугольные, штыревые — круглые или прямоугольные.

Основной недостаток как корпусных микросхем, так и построенных на них устройств — большой объем вспомогательных конструктивных элементов: корпусов, выводов, элементов герметизации, теплоотвода и т. п., не несущих функциональной нагрузки. Использование корпусных микросхем приводит к непроизводительно большим затратам полезного объема и массы устройства, уменьшает на один — два порядка плотность компоновки элементов по сравнению с плотностью их размещения в кристалле или на подложке.

С целью увеличения степени эффективного использования объема и массы микроэлектронных цифровых устройств в последние годы находят распространение *бескорпусные* полупроводниковые и гибридные ИС.

Наиболее широко их применяют в бортовых и настольных ЭВМ, а также в микрокалькуляторах.

Бескорпусная ИПС представляет собой п/п подложку с нанесенной на ней одним из методов интегральной технологии схемой. Для осуществления монтажа между бескорпусными ИС на подложке предусматриваются контактные площадки.

Гибридные бескорпусные микросхемы представляют собой сравнительно больших размеров ситалловую или керамическую

подложку (основание), на которой пассивная часть (межсоединения, резисторы) выполнена напылением, а активная часть (диоды, транзисторы, кристаллы полупроводниковых микросхем) наклеивается в отведенные места и припаивается перемычками к остальной схеме.

По периметру подложки располагаются контактные площадки.

Так как площадь основания сравнительно большая, то на нем можно выполнять тонкопленочные конденсаторы и индуктивности, используя для них места, на которые монтируются кристаллы активных элементов.

Применение бескорпусных интегральных схем наряду с резким уменьшением габаритных размеров и массы создаваемой на их основе аппаратуры приводит к увеличению трудоемкости ее изготовления, а следовательно, и стоимости, к необходимости предусматривать дополнительные меры защиты и герметизации.

Этих недостатков практически лишены получившие широкое распространение *безвыводные корпуса с уменьшенными размерами* или *микрокорпуса*.

Микрокорпус является частью конструкции ИС (БИС) и предназначен для защиты кристаллов от внешних воздействий и соединения их посредством выводных площадок (выводов) с внешними электрическими цепями аппаратуры.

Применение **микрокорпусов** (МК) дает возможность не только увеличить плотность компоновки БИС, но и улучшить их электрические параметры, расширить возможности автоматизированного контроля и аттестации, а также уменьшить стоимость производства аппаратуры.

Наиболее очевидным преимуществом микрокорпусов по сравнению с традиционными корпусами ИС является значительное уменьшение геометрических параметров — основных размеров, площади и объема конструкции, соответствующих одному и тому же кристаллу с одинаковым числом выводов.

Микрокорпуса более плотно располагаются на плате в гибридной ИС или микросборке, а также на печатной плате, что делает возможным достижение более плотной компоновки (упаковки микро-ЭВМ в целом). Это обуславливает уменьшение сложности конструкций и компоновки ЭВМ и, следовательно, снижение стоимости ее производства.

Микрокорпус обеспечивает оптимальную организацию измерений статических и особенно динамических параметров ИС, что позволяет проводить наиболее объективный выходной контроль при изготовлении ИС и входной контроль у потребителей ИС.

Уменьшение размеров МК приводит к значительному сокращению расхода дорогостоящих материалов: уменьшается расход керамики, золота, сокращается номенклатура технологической оснастки. При обнаружении и отбраковке дефектной ИС применение недорогого МК дает значительную экономию по сравнению с корпусной ИС.

Применение микрокорпусов улучшает электрические параметры ИС за счет получения более коротких токопроводящих дорожек, снижения сопротивления и уменьшения межвыводной емкости, что повышает быстродействие ИС.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ МИКРОСХЕМ

Интегральные логические микросхемы представляют собой самое массовое изделие современной микроэлектронной промышленности.

Среди всех типов интегральных микросхем *логические* схемы характеризуются *наибольшей надежностью, максимальной степенью интеграции* элементов и *наименьшей стоимостью*.

Интегральные логические микросхемы **в зависимости** от способа *передачи входного тока или напряжения, порядка применения логики и принципа использования* активных и пассивных элементов разделяют на

схемы транзисторные с непосредственной связью (НСТЛ),
резисторной связью (РТЛ),
резистивно-емкостной связью (РЕТЛ);
диодно-транзисторной логики (ДТЛ);
транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) (ТТЛШ);
эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ);
интегральной инжекционной логики (И²Л);
униполярные МДП с n-проводимостью (n-МДП);
униполярные МДП с p-проводимостью (p-МДП);
униполярные с комплементарными МДП-транзисторами (КМДП);
кремний на сапфире (КНС).

Каждая из интегральных микросхем независимо от технологии изготовления и схемотехнической базы характеризуется **совокупностью параметров**, которые определяют *логические, схемотехнические* и *эксплуатационные* возможности той или иной микросхемы и по которым можно производить их сравнительный анализ и выбор.

К этим параметрам для логических интегральных микросхем относят:

- 1) реализуемую логическую функцию;
- 2) коэффициент разветвления по выходу $K_{\text{раз}}$;
- 3) коэффициент объединения по входу $K_{\text{об}}$;
- 4) коэффициент объединения по выходу $K_{\text{об вых}}$;
- 5) мощность потребления $P_{\text{пот}}$;
- 6) среднее время задержки распространения сигнала $t_{\text{зд.р.ср}}$;
- 7) рабочую частоту f ;
- 8) помехоустойчивость $U_{\text{п max}}$;
- 9) напряжение «0» U^0 или «1» U^1 ;
- 10) напряжение источника питания $U_{\text{ип}}$;
- 11) допуск на номиналы источников питания $\Delta U_{\text{ип}}$;

- 12) входную $C_{вх}$ и выходную $C_{вых}$ емкости;
- 13) ток потребления $I_{пот}$;
- 14) входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления;
- 15) допустимый диапазон рабочих температур ΔT_p ;
- 16) допустимую величину механических воздействий;
- 17) допустимый диапазон атмосферного давления окружающей среды;
- 18) устойчивость к радиационным воздействиям;
- 19) массу;
- 20) надежность.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

План лекции:

1. Задачи конструирования печатных плат
2. Основные виды печатных плат и особенности их конструкций
3. Расчет электрических параметров печатных плат
4. Автоматизация проектирования печатных плат
5. Основные правила конструирования печатных плат

ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Конструкции ЭВМ основаны на применении печатных плат. Использование печатных плат **позволяет**

- 1) увеличить надежность узлов, блоков и устройства в целом;
- 2) улучшить технологичность за счет автоматизации операций сборки и монтажа;
- 3) повысить плотность размещения компонентов;
- 4) повысить быстродействие и помехозащищенность схем.

При разработке конструкции печатных плат решаются следующие **задачи**:

- 1) схемотехнические - трассировка печатных проводников, минимизация количества слоев и т.д.;
- 2) радиотехнические - расчет паразитных наводок, параметров линий связи и т.д.;
- 3) теплотехнические - температурный режим работы печатной платы, теплоотвод и т.д.;
- 4) конструктивные - размещение элементов на печатной плате, контактирование и т.д.;
- 5) технологические - выбор меда изготовления, защита и т.д.

Все эти задачи взаимосвязаны между собой. Например, от метода изготовления зависят точность размеров проводников и их

электрические характеристики, а от расположения печатных проводников - степень влияния их друг на друга и т.д.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ОСОБЕННОСТИ ИХ КОНСТРУКЦИЙ

По числу проводящих слоев печатные платы(ПП) бывают одно-двух- и многослойные. Первые два типа называют также одно- и двухсторонними.

Многослойные печатные платы (МПП) по сравнению с первыми двумя типами обладают следующими преимуществами:

- 1) большей плотностью размещения печатных проводников;
- 2) меньшими потерями сигналов в них;
- 3) меньшими удельными массами и габаритами, приведенными к одному слою.

По виду материала основы ПП разделяют на

- 1) изготовленные на основе органического диэлектрика (текстолит, гетинакс, стеклотекстолит);
- 2) изготовленные на основе керамических материалов;
- 3) изготовленные на основе металлов.

По виду соединений между слоями ПП различают на следующие:

- 1) с металлизированными отверстиями;
- 2) с пистонами;
- 3) изготовленные послойным наращиванием;
- 4) с открытыми контактными площадками.

По способу изготовления ПП разделяют на платы, изготовленные

- 1) химическим травлением;
- 2) электрохимическим осаждением;
- 3) комбинированным способом (1 и 2-й способы).

По способу нанесения проводников ПП делят на платы

- 1) полученные обработкой фольгированных диэлектриков;
- 2) полученные нанесением тонких токопроводящих слоев.

Последний способ более точен и производительнее и отработан на технологии гибридных схем.

Рисунки в /1/.

Широкое распространение получают МПП на **керамической основе**. По сравнению с органическими диэлектриками керамика позволяет улучшить теплоотвод, повысить плотность компоновки микросхем (особенно с использованием микрокорпусов).

Недостатки:

- 1) большая масса;
- 2) небольшие наибольшие линейные размеры (ограничены технологией - 150 x 150 мм).

Металлические ПП изготавливаются на основе стальных, алюминиевых и инваровых листов.

Пластины окисляются и покрываются слоем керамики, эмали, лака или другого диэлектрика. Поверх наносятся печатные проводники, пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности, а затем монтируются микросхемы (как правило, бескорпусные).

Преимущества:

- 1) сравнительно невысокая стоимость;
- 2) неограниченные размеры;
- 3) высокая теплопроводность;
- 4) лучшая помехозащищенность;
- 5) высокая прочность и теплостойкость.

Недостатки:

- 1) высокая удельная емкость проводников;
- 2) большая масса.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПП

Печатные проводники проходят на достаточно близком расстоянии друг от друга и имеют относительно малые линейные размеры сечения.

С увеличением быстродействия ЭВМ все большее значение приобретают вопросы учета параметров проводников и высокочастотных связей между ними.

Рассмотрим определение основных характеристик печатных проводников.

Сопротивление проводника

Сопротивление проводника определяется выражением

$$R = \rho l / (bt),$$

где

ρ - удельное объемное электрическое сопротивление проводника;

l - длина проводника;

b - ширина проводника;

t - толщина проводника.

Величина ρ различается для проводников, изготовленных различными методами. Так, для медных проводников, полученных электрохимическим осаждением, ρ равно 0,02-0,03 мкОм/м, а для медных проводников, полученных методом химического травления ρ равно примерно 0,0175 мкОм/м.

Постоянный ток в проводниках

Величина тока в печатных проводниках определяется, в первую очередь, ограничением на максимально допустимую плотность тока для конкретного материала γ . Для медных проводников, полученных электрохимическим осаждением γ равна около 20 А/мм², и около 30 А/мм² для проводников, полученных методом химического травления фольги.

Исходя из этого допустимый ток в печатных проводниках определяется как

$$I = 10^{-3} \gamma b t,$$

а ширина должна отвечать следующему условию:

$$b \geq 10^3 I / (\gamma t)$$

Падение напряжения на печатных проводниках

Падение напряжения на печатных проводниках определяется как:

$$\Delta U = \rho [l / (b t)]$$

Переменный ток в печатных проводниках

В отличие от постоянного тока распределение переменного тока в печатных проводниках происходит неравномерно. Это обусловлено наличием поверхностного эффекта, возникающего при протекании по проводнику высокочастотного переменного тока.

При этом внутри проводника образуется магнитное поле, приводящее к возникновению индукционного тока, взаимодействующего с основным. Вследствие этого происходит перераспределение тока по сечению проводника, и в результате его плотность в периферийных областях сечения возрастает, а ближе к центру уменьшается. На высоких частотах ток во внутренних слоях проводника уменьшается практически до нуля.

Емкости

Емкость (пф) между двумя параллельными печатными проводниками одинаковой ширины b (мм), расположенными на одной стороне платы определяется как

$$C = \frac{0,12 \varepsilon l}{\lg[2a / (b + t)]},$$

где l - длина участка, на котором проводники параллельны, мм ;

ε - диэлектрическая проницаемость среды;

a - расстояние между параллельными проводниками.

Емкость (пф) между двумя параллельными проводниками шириной b (мм), расположенными по обе стороны печатной платы с толщиной диэлектрика a (мм) определяется как

$$C = 0,008842 \varepsilon l b / a [1 + a / (\pi b) (1 + \lg(2\pi b / a))]$$

Приведенные выражения позволяют произвести оценку емкости (пф) печатных проводников с точностью $\pm(20-30)\%$.

На высоких частотах возникает необходимость оценивать индуктивность и взаимную индуктивность печатных проводников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Высокая сложность современных схем приводит к необходимости автоматизации задач размещения, трассировки, расчета тепловых

режимов, электромагнитного взаимодействия компонентов на печатной плате.

По существу, задача размещения и трассировки сводится к перебору (полному или частичному) возможных вариантов размещения соединяемых элементов и нахождения оптимального. Критерием оптимальности является минимальная сумма длин всех размещаемых на плате печатных проводников (либо более сложные целевые функции).

Соответствующие вопросы подробно рассматриваются дисциплиной САПР.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

1. Максимальный размер стороны ПП не должен превышать 500 мм. Это ограничение определяется требованиями прочности и плотности монтажа.

2. Соотношения размеров сторон ПП для упрощения компоновки блоков и унификации размеров ПП рекомендуются следующие: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 3:2, 5:2 и т.д.

3. Выбор материала ПП, способа ее изготовления, класса плотности монтажа должны осуществляться на стадии эскизного проектирования, так как эти характеристики определяют многие электрические параметры устройства..

4. При разбиении схемы на слои следует стремиться с минимизации числа слоев. это диктуется экономическими соображениями.

5. По краям платы следует предусматривать технологическую зону шириной 1,5-2,0 мм. Размещение установочных и других отверстий , а также печатных проводников в этой зоне не допускается.

6. Все отверстия должны располагаться в узлах координатной сетки. В крайнем случае хотя бы первый вывод микросхемы должен располагаться в узле координатной сетки.

7. На печатной плате должен быть предусмотрен ориентирующий паз (или срезанный левый угол) или технологические базовые отверстия, необходимые для правильной ориентации платы.

8. Печатные проводники следует выполнять минимально короткими.

9. Прокладка рядом проводников входных и выходных цепей нежелательно во избежание паразитных наводок.

10. Проводники наиболее высокочастотных цепей прокладываются в первую очередь и имеют благодаря этому наиболее возможно короткую длину.

11. Заземляющие проводники следует изготавливать максимально широкими.

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ 1-4 УРОВНЕЙ

План лекции:

1. Конструирование типовых элементов замены (модулей 1-го уровня)
2. Основные правила конструирования элементов уровней II и III конструктивной иерархии ЭВМ и систем

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЕНЫ (МОДУЛЕЙ 1-ГО УРОВНЯ)

Типовой элемент замены (ТЭЗ) -- конструктивно законченный элемент машины, служащий для электрического объединения ИС и компонентов, самостоятельный по технологии изготовления и взаимозаменяемый без подгонки и дополнительной настройки с однотипными ТЭЗ машины.

К ТЭЗ стационарных ЭВМ относят — **ячейку** и **модуль-элементы** первого уровня конструктивной иерархии. Рассмотрим общие правила их конструирования.

Размеры печатных плат. Количество возможных значений размеров ПП — высота H и ширина B — и сочетаний их очень велико.

В общем случае типоразмеры ПП выбираются исходя из *требований двух направлений* — **функционального** и **технологического**.

Требования функционального направления в конструктивном плане выражаются плотностью компоновки ($N_{ис}/см^2$), зависящей от размеров и количества корпусов микросхем и вида монтажа активных и пассивных связей (цепей) электрической схемы.

Требования технологического направления определяют ограничения типоразмеров с точки зрения технологических возможностей и эффективности производства заготовок, разрешающей способности фотолитографии, механической прочности, возможностей систем автоматизированного проектирования.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, основные размеры ПП для средств вычислительной техники (СВТ) следует выбирать из двух рядов рекомендуемых МЭК типоразмеров, кратных размерным модулям 55,5 и 100, причем для одного семейства ЭВМ целесообразно выбирать типоразмеры одного ряда.

Однако для конкретных типов (или семейств) ЭВМ возможно использование отличающихся от рекомендованных размеров. Так, в технике ЕС ЭВМ применялся единый размер печатной платы для типовых элементов замены: 150X140 мм.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УРОВНЕЙ II И III КОНСТРУКТИВНОЙ ИЕРАРХИИ ЭВМ И СИСТЕМ

К элементам уровней II и III конструктивной иерархии относятся **панели, блоки, субблоки, шкафы, стойки**. К ним можно отнести также тумбы, столы, корпуса частичные, комплексные и другие виды конструктивных элементов, характерные для тех или иных конструкционных систем.

Все они должны обеспечивать:

- 1) требуемую механическую жесткость и прочность;
- 2) удобство в сборке, наладке и эксплуатации;
- 3) оперативную замену вышедших из строя конструктивных элементов;
- 4) минимальный вес при сохранении требуемой жесткости; надежное закрепление конструктивных элементов;
- 5) максимальное использование унифицированных деталей и их взаимозаменяемость.

При разработке конструкции блоков, субблоков, панелей, стоек, шкафов и т. д. следует использовать такие конструкционные материалы и покрытия, которые отвечают предъявляемым требованиям по условиям эксплуатации.

Каждый из элементов конструктивной иерархии уровней II и III характеризуется длиной L , высотой H и глубиной (шириной) B . В зависимости от назначения того или иного типа ЭВМ соотношение размеров определенных ее конструктивных частей может быть различным. Однако эти соотношения должны подчиняться определенным правилам и закономерностям, которые устанавливают соответствующие стандарты, распространяющиеся на определенный класс аппаратуры.

В конструкционных системах любого типа электронной вычислительной аппаратуры основные размеры L , H , B базовых конструкций для всех уровней устанавливаются соответствующими единому **модулю**.

В каждом направлении развития размеров по координатам $x(L)$, $y(H)$, $z(B)$ указанный модуль равен **2,5 мм**. Он устанавливается в соответствии с шагом координатной сетки печатных плат и выводов элементов на печатной плате и передней панели по $x(L)$, шагом выводов элементов и соединителей на функциональной печатной плате и на кроссплате по $y(H)$ и $z(B)$. В необходимых случаях применяются значения модуля, кратные основному, — **1,25; 0,625 мм**.

Единый размерный модуль обеспечивает компоновку различных изделий конструкционной системы ЭВМ как в пространстве, например в трех различных плоскостях комплектного корпуса или блока, так и на плоскости — на поверхности одноплатной ЭВМ.

Для каждого уровня базовых конструкций устанавливаются ряды

размеров по L , H , B , каждый из которых взаимосвязан с рядами размеров других уровней с целью обеспечения прежде всего конструктивной совместимости, обуславливающей и другие виды совместимости — электрические, эстетические, тепловые. Эти ряды размеров — простые арифметические. Каждый последующий член ряда образуется приращением к предыдущему принятого значения модуля.

Для конкретного проектирования базовых конструкций из отдельных членов рядов составляются оптимальные **типоразмеры**, среди которых выделяются предпочтительные. Главным исходным требованием при выборе типоразмера является плотность компоновки, определяемая отношением числа активных элементов — корпусов ИС к площади (объему) изделия. Типоразмеры являются рабочим средством достижения **сквозной совместимости** изделий системы. Например, типоразмеры плат образуются с учетом стандартной установки их в соответствующий корпус, а типоразмеры корпусов, в свою очередь, устанавливаются с учетом осуществления взаимоприменений.