

А.Я.Куземин

КОНСТРУИРОВАНИЕ И МИКРО- МИНИАТЮРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Конструирование и производство
электронно-вычислительной аппаратуры»

Москва
«Радио и связь»
1985

ББК 32.97

К 89

УДК 681.322.001.63 : 681.3

Рецензенты: доктор техн. наук Б. И. Белов, доктор техн. наук Л. А. Коледов

Редакция литературы по электронной технике

Кузёмин А. Я.

К 89 Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1985. — 280 с., ил.

В пер.: 80 к. 22 000 экз.

Раскрываются методические аспекты выполнения конструкторских расчетов, подготовки графических материалов, анализа, синтеза и оптимизации конструкций электронно-вычислительной аппаратуры на этапе эскизного и технического проектирования. Основные этапы конструирования в рамках курсового проектирования иллюстрированы примерами. Рассмотрена организация системы автоматизированного конструирования с использованием диалогового режима. Приведен большой справочный и иллюстрационный материал. Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Конструирование и производство электронно-вычислительной аппаратуры».

К 2401000000-199
046(01)-85 20-85

ББК 32.97

6Ф7.3

© Издательство «Радио и связь», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время расширение сферы применения электронно-вычислительной аппаратуры (ЭВА) связано с ее микроминиатюризацией, совершенствование которой обеспечивается автоматизацией проектирования и изготовления. Использование больших интегральных схем (БИС), микропроцессоров (МП) не только решает проблему уменьшения габаритных размеров, массы, затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию, но и приводит к повышению качественных показателей ЭВА в целом.

Анализ современной научно-технической и учебной литературы в области конструирования и микроминиатюризации ЭВА позволяет сделать вывод о недостаточно обобщенном и концентрированном изложении методики конструирования ЭВА. Кроме того, в настоящее время актуальны методы конструирования с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) с индивидуальным, диалоговым доступом широкого круга конструкторов ЭВА к этим САПР. Конструирование микропроцессорных систем нуждается в развитии системного подхода к изложению методики разработки конструкции, учитывающей все этапы разработки, изготовления и эксплуатации.

Обобщение работ ведущих специалистов в области конструирования и микроминиатюризации ЭВА Б. Ф. Высоцкого, В. Б. Пестрякова, О. А. Пятлина, В. А. Фролова, Б. И. Ермолаева, Б. И. Белова, Л. А. Коледова, А. П. Ненашева и многих других послужило исходным материалом для разработки предлагаемого учебного пособия. Этому также способствовал опыт проведения всех видов занятий по дисциплине «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА» и научные исследования, выполняемые на кафедре «Конструирование ЭВМ» Харьковского ордена Трудового Красного Знамени института радиоэлектроники им. акад. М. К. Янгеля под руководством зав. кафедрой проф. В. А. Фролова.

Принцип системного подхода в конструировании ЭВА — основополагающий принцип предлагаемого учебного пособия. Отличительной особенностью данной книги является поэтапное изложение методики конструирования ЭВА, начиная с ранних стадий анализа исходных данных для выявления конкретных конструктивно-технологических ограничений (размеров, материалов и т. п. (гл. 1)).

В данном учебном пособии раскрыты основные методические вопросы конструирования ЭВА в соответствии с программой курса «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА». Кроме того, методический и справочный материал книги может быть полезен при выполнении курсового проекта по данному курсу.

Замечания и предложения по книге следует направлять по адресу: 101000, Москва, Почтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь».

1.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА И КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курс «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА» завершает изучение конструкторских дисциплин в вузе по специальности 0648 («Конструирование и микроминиатюризация ЭВА»). Целью курса является изучение конструкций модулей вычислительной аппаратуры, ЭВА в целом, способов межсоединений, обеспечение заданных показателей качества и условий работоспособности, влияния конструкции на характеристики ЭВА и систем, методов и принципов конструирования, технологичности конструкции, критериев оптимальности.

На основании системного подхода к конструированию ЭВА и на основе изучения предшествующих курсов и данного курса студент получает знания и практические навыки разработки конструкций в соответствии с решениями партии и правительства о дальнейшем развитии высшей школы, повышении эффективности и качества выпускаемых изделий.

Курсовой проект по дисциплине «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА» является завершающим этапом в процессе конструкторско-технологической подготовки студентов по специальности 0648. Выполняя курсовой проект, студенты закрепляют знания, полученные на лекциях, лабораторных и практических занятиях, и приобретают навыки самостоятельного конструирования, анализа и расчета, которые далее применяют при выполнении дипломного проекта.

Цель курсового проекта заключается в приобретении навыков конструирования и микроминиатюризации ЭВА, способствующих формированию у студента конструкторского мышления, которое развивается на базе накопленных в процессе обучения элементарных технических решений.

Конструктору для выполнения своих задач необходима совокупность элементарных технических решений. Возможности синтеза оптимальной конструкции значительно расширяются, если накопленный студентом материал будет дополняться информацией о технических решениях, хранящихся в банке данных ЭВМ. Методика работы конструктора с банками технических решений прежде всего базируется на эвристических и теоретико-расчетных методах.

Каждая новая конструкция ЭВА обычно содержит элементы уже существующих конструкций и оригинальные элементы. На ранних этапах проектирования оригинальных элементов конструкции чаще всего используют эвристические методы и интуицию, которые требуют проверки методом проб и ошибок. Эвристические методы позволяют произвести мысленную экстраполяцию за пределы известного. Теоретико-расчетные методы используют формализованные процедуры, повторное применение которых дает результаты для сравнения и количественное обоснование.

В курсовом проекте по дисциплине «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА» необходимо комплексно учитывать требования всех этапов проектирования, изготовления и эксплуатации. Такой подход к конструированию ЭВА принято называть системным.

Основная задача курсового проекта — реализовать системный подход в разработке конструкции изделия, которая решается на всех этапах создания конструкции изделия.

Этап I. Анализ технического задания (ТЗ) и схемы электрической принципиальной.

В результате анализа уточняются и конкретизируются технические ограничения на конструирование изделия, методика и последовательность которого раскрыта в § 1.2, 2.1—2.3.

Этап II. Техническое предложение (ПТ) (ГОСТ 2.118—73).

Если в соответствии с ТЗ или в результате выполнения I этапа вводится этап ПТ, то он выполняется для выявления дополнительных или уточненных требований к конструкции изделия, которые не могли быть указаны в ТЗ без предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов. На этом этапе в рамках курсового проекта ограничиваются предварительной проработкой технического решения оригинального элемента, коммутаций, крепления, несущей конструкции. Здесь целесообразно

но проанализировать аналог, прототип или сопоставимую конструкцию для дополнения технических требований с учетом дестабилизирующих внешних и внутренних факторов.

Этап III. Эскизный проект (ЭП) (ГОСТ 2.119—73).

Эскизный проект разрабатывают, если это предусмотрено ТЗ или указано руководителем проекта после рассмотрения результатов ПТ.

Эскизный проект выполняют в целях установления принципиальных конструктивных решений изделия, дающих общее представление о компоновке и размещении элементов конструкции.

На стадии ЭП не повторяют работы, проведенные на стадии ПТ, если они не могут дать дополнительных данных.

Оптимальный вариант конструкции определяется в результате сравнения вариантов по показателям качества изделия. При этом следует учитывать конструктивные, технологические и эксплуатационные особенности разрабатываемого изделия и существующих аналогов, прототипов или сопоставимых изделий, а также тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области.

Этап IV. Технический проект (ТП) (ГОСТ 2.120—73).

Технический проект выполняют в целях выявления окончательных решений компоновки и размещения конструктивных элементов, конструкций плат, элементов электрических и механических связей и других технических решений, дающих полное представление о конструкции изделия.

На этом этапе производят необходимые проверочные расчеты, оценивают качество вариантов конструктивных решений (§ 3.8) и в результате сравнения вариантов выбирают оптимальный.

Этап V. Выполнение рабочей конструкторской документации.

В соответствии с ТЗ и результатами предыдущих этапов конструктор выполняет чертежи деталей и сборочных единиц, спецификации и другие рабочие документы (ГОСТ 2.102—68). При использовании автоматизированного рабочего места (АРМ) представляются результаты машинной графики и исходные данные (эскизы, эскизные чертежи).

Этап VI. Заключительное оформление, брошюровка пояснительной записки (до 30 листов формата А4) и подготовка доклада к защите.

Трудоемкость выполнения проекта ограничивается 60 ч самостоятельной работы.

Решение целей конструирования на этапах ПТ, ЭП, ТП зависит от того, какое количество возможных вариантов конструктивных решений будет рассмотрено разработчиком, как будет оценен каждый вариант и найден оптимальный в смысле удовлетворения ТЗ и высшему качеству.

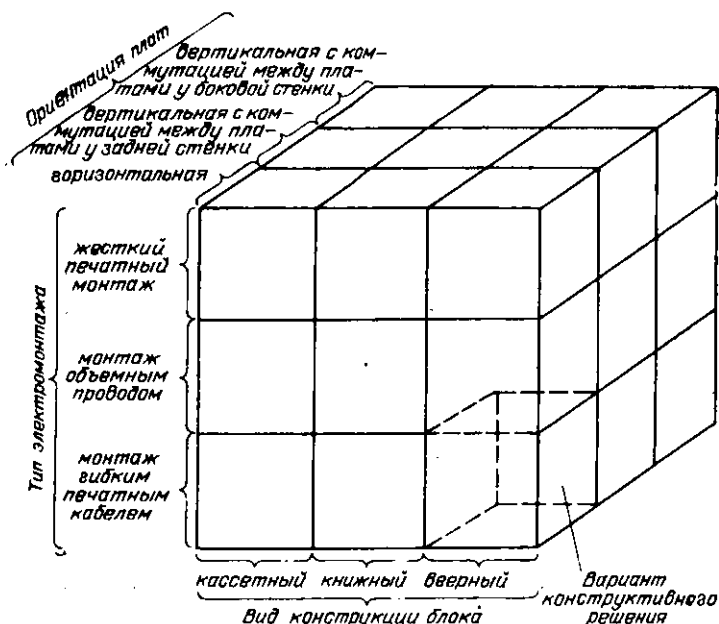


Рис. 1.1. Пример матрицы идей

Методика поиска вариантов заключается в изучении литературных источников, стандартов, использовании диаграмм идей, матрицы идей, ассоциации, инверсии и многих других приемов.

Использование диаграмм идей позволяет обнаружить возможность создания нового варианта конструкции путем неисследованных сочетаний идей. Примером диаграммы идей является любая классификация.

Матрица идей — наиболее эффективное средство учета различных вариантов, которое основано на воз-

возможности упорядочения перебора вариантов. Предположим, что на этапе эскизного проектирования выделено три группы факторов: вид конструкции блока (кассетный, книжный, веерный), тип электромонтажа (жесткий печатный монтаж, монтаж объемным проводом, монтаж с использованием гибкого печатного кабеля), ориентация плат в блоке по отношению к передней панели (горизонтальная, вертикальная с коммутацией между платами у задней стенки, вертикальная с коммутацией между платами у боковой стенки). В этом случае матрица идей имеет графическое изображение в виде куба (рис. 1.1), где каждое ребро разделено равными делениями. Одно деление на оси соответствует значению фактора, ребро (ось) — совокупности возможных значений, а каждый элементарный кубик — варианту конструкции [2].

Ассоциация — это метод, который использует связи известных идей. Он наиболее эффективен в том случае, когда творческое воображение может обращаться к другим идеям и одна творческая идея возникает на основе другой (например, конструкция, аналогичная пчелиным сотам).

При **инверсии** задача поиска варианта решается благодаря использованию технических решений, прямо противоположных принятым (например, неподвижный элемент конструкции преобразуется в подвижный).

В практике поиска вариантов конструктивных решений также находят применение следующие приемы: количественные изменения, преобразование формы изделия или его элементов, преобразование в пространстве, преобразование движения, преобразование материала объекта или его элементов, преобразование исключением, преобразование заменой, дифференциация, интеграция и комбинация указанных приемов.

1.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Раскрытие этапов конструирования ЭВА (§ 1.1) начнем с ранних стадий анализа ТЗ.

Обычно в ТЗ на конструирование в краткой форме со ссылками на стандарты и литературу указывают основные данные о назначении, конструктивно-технологических ограничениях и условиях эксплуатации изделия. Целью начальной стадии конструирования является расширение информации о имеющихся данных на основе использова-

ния литературных источников и стандартов. Так как в последнее время актуальным является вопрос применения сквозных САПР, то необходимо с ранних стадий анализа ТЗ начать автоматизацию.

Для автоматизации анализа ТЗ и дальнейшего конструирования ЭВА с применением ЭВМ следует упорядочить и формализовать данные о назначении, конструктивно-технологических ограничениях и условиях эксплуатации изделия. Как справочные данные об аналогичных и стандартных конструкциях, так и данные для анализа, представляемые в ЭВМ в виде банков данных, должны быть с так называемым открытым доступом (типа КАМА ДИАЛОГ, КВАНТ и др.). Такая форма представления ТЗ и банков данных позволяет иметь гибкую систему автоматизированного конструирования в условиях быстро изменяющейся номенклатуры комплектующих элементов, новой элементной базы и т. п.

Обращение к банкам данных с помощью терминальных средств позволяет широкому кругу разработчиков конструкций ЭВА пользоваться справочными и другими источниками информации. Диалоговый режим работы конструктора, начатый на этапе анализа ТЗ, может быть продолжен на этапе синтеза конструктивных решений при обращении к проверочным программным модулям (оценки теплового режима, конструктивной надежности и т. п.) (гл. 6). Завершающим звеном сквозной САПР могут быть АРМ для выпуска конструкторской и технологической документации на изготовление печатных плат.

Анализ назначения изделия в целом интересует конструктора с точки зрения ограничений электрического, механического и информационного сопряжения с другими объектами и человеком. Здесь уточняются, расширяются ограничения, которые должны обеспечить обработку поступающей информации и выдачу данных в соответствии с заданным алгоритмом работы. (Например, уточняют данные о характеристике интерфейсной шины, параметры электрического соединителя, разрядность и быстродействие информационных и управляющих сигналов и т. п.)

Конструктивно-технологические ограничения на конструирование изделия могут быть заданы в соответствии со стандартами (например, ГОСТ 20504—81 или СТ СЭВ 3266—81), размерами аналогичной конструкции или специальными, индивидуальными ограничениями.

Если в ТЗ на конструкцию изделия ограничения ука-

заны в соответствии со стандартами или аналогичной конструкцией, то набор возможных габаритных размеров для изделия может храниться в банке данных автоматизированной системы конструирования. Оптимальный выбор типоразмера изделия (конструктивного модуля) даже при небольшом числе вариантов невозможен без применения ЭВМ. Причем типоразмер модуля связан с определенными показателями качества, число которых можно ограничить и в самом простейшем случае свести к одному — главному или обобщенному (§ 3.8). Окончательный выбор типоразмера модуля связан с решением оптимизационной задачи синтеза. На данном этапе анализа и в рамках эскизного проекта (§ 1.1) конструктор может рассмотреть несколько вариантов изделия на соответствие ограничениям ТЗ.

Если на этом этапе анализа ТЗ необходимо согласовать эскиз конструкции изделия с заданными ограничениями, то при соответствующем аппаратном и программном обеспечении конструктор может разработать эскиз на графическом дисплее в диалоговом режиме.

На стадии анализа ТЗ на основании уточненных данных о назначении конструкции изделия следует расширить сведения о механических, климатических и радиационных факторах внешней среды (например, в соответствии с ГОСТ 21552—76, ГОСТ 15484—81, ГОСТ 18298—79, ГОСТ 14254—80).

Последующая стадия анализа предполагает условное разбиение изделия на подсистемы в соответствии с принятой конструктивной иерархией (рис. 1.2).

Исходные данные на конструирование для каждого рассматриваемого уровня конструктивной иерархии ЭВА определяются в соответствии с результатами разработки более высокого уровня [1]. Причем назначение, конструктивно-технологические ограничения и условия эксплуатации отдельных подсистем должны соответствовать требованиям ТЗ на конструкцию изделия в целом.

Используя модульный принцип, выполнить разбиение несложно (например, для микро-ЭВМ выделяются платы процессора, памяти, ввода-вывода и т. п.). Однако правильность выполненного разбиения следует проверить на соответствие ТЗ. Следующий этап конструирования ЭВА принято называть синтезом. Он выполняется методом агрегатирования подсистем (т. е. объединением) и переплетается с детализацией и оптимизацией конструктивных решений элементов конструкции.

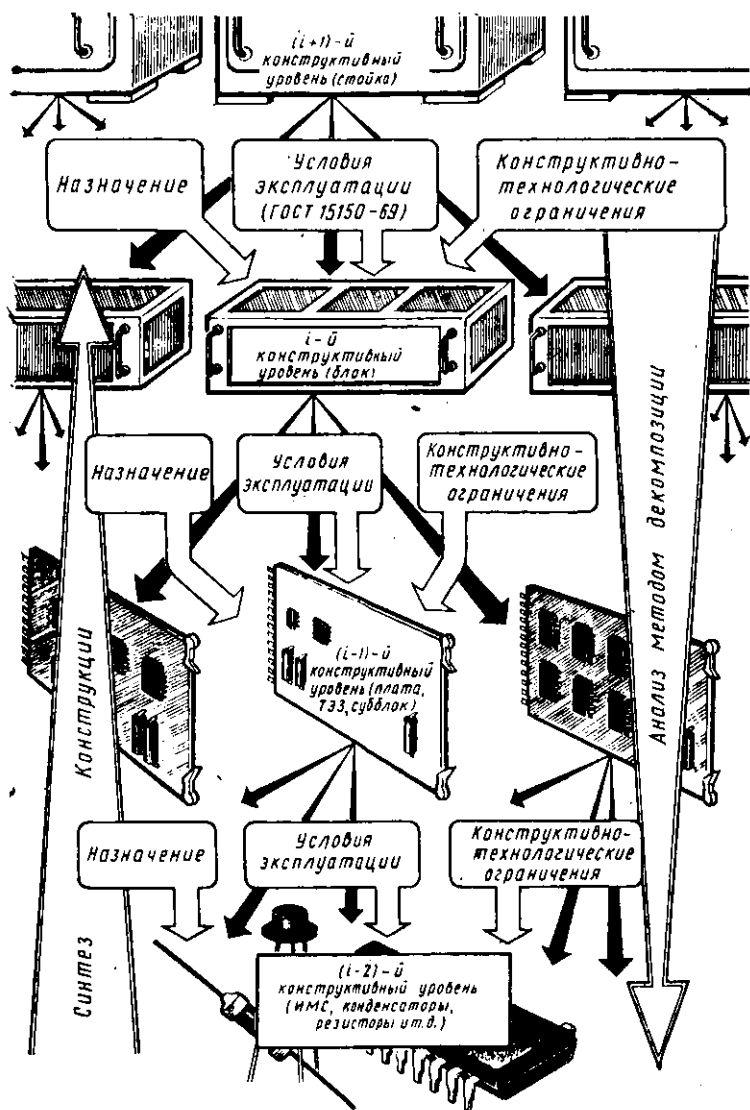


Рис. 1.2. Связь исходных данных (назначения, условий эксплуатации, конструктивно-технологических ограничений и т. д.) элементов конструкции различных конструктивных уровней

Проверка конструктивного решения изделия начинается с согласования размеров подсистем. Размеры корпусов элементной базы известны из предшествующей стадии анализа. С учетом этих данных оценивают размеры платы, затем блока и изделия в целом.

Для оценки размеров плат и блоков можно использовать рекомендации ОСТ 4ГО.010.009 [1 ... 5], который дает обобщенную информацию о размерах, электрических и механических связях между элементами на плате и в блоке.

Дальнейшее согласование требований и конструктивных решений элементов выполняется в соответствии с показателями качества, технологичности, микроминиатюризации, конструктивной надежности, теплового режима, механических воздействий и т. п.

Каждое свойство изделия ЭВА, его функциональный показатель имеют свой материальный эквивалент в виде массы, объема, площади, стоимости и т. д. [1]. Символически это можно выразить относительными показателями качества, например, по критерию массы $k_m = m/\Phi$, по критерию объема $k_v = V/\Phi$, по критерию площади $k_s = S/\Phi$, по критерию стоимости $k_c = {}_2C/\Phi$ и т. п., где m — масса, кг; V — объем, м³; S — площадь, м²; C — стоимость, руб.; Φ — функциональный показатель (быстродействие, разрядность и т. п.).

В технических требованиях к конструкции указывают в различной форме показатели качества. Часто масса изделий является критичной величиной, и в техническом задании указывают предельное ее значение или оговаривают, что $k_m \leq k_{m \text{ пред}}$. Особое значение этот показатель имеет для авиакосмической ЭВА, где общая масса конструкции, состоящей из α элементов, будет

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_\alpha, i = \overline{1, \alpha}. \quad (1.1)$$

Каждое из слагаемых в (1.1) может быть связано с функциональными параметрами изделий линейно

$$m_i = a + b\Phi_i \quad (1.2)$$

или нелинейно

$$m_i = a + \Phi_i^b, \quad (1.3)$$

где a , b — постоянные коэффициенты, определяемые из экспериментальных данных в результате опытно-конструкторских разработок, а также самостоятельно полученные студентом при анализе исходных данных и схемы электри-

ческой в рамках научно-исследовательской работы студентов (НИРС).

Установление необходимой связи множества функциональных и материальных показателей является сложной задачей. Упрощенный способ решения этой задачи рассмотрен в [5], где функциональные показатели устройства выражаются через число элементов его электрической схемы.

Для стационарной ЭВА требования к массе и объему менее критичны, чем для бортовой. Например, для изделий системы малых электронных вычислительных машин (СМ ЭВМ), агрегатной системы средств вычислительной техники на основе микроэлектронных схем (АСВТ-М) и на перестраиваемых структурах (АСВТ-ПС) требования к конструкции определяются в соответствии с ГОСТ 20397—82. Так, для этих изделий масса отдельных сменных блоков элементов не должна превышать 30 кг, а объем определяется используемыми унифицированными типовыми конструкциями (УТК) и (или) типовыми конструкциями (ТК) СМ ЭВМ (гл. 4) [4].

При конструировании ЭВА для каждого конструктивного уровня выделяются исходные данные: функциональные показатели — Φ (для логических и запоминающих устройств, выраженные в битах или байтах, для аналоговых — в активных элементах, для вторичного источника питания — в ваттах и т. п.), и ограничения на конструирование, изготовление и эксплуатацию.

Показатели, характеризующие особенности изготовления изделия, называются технологическими.

Технологические показатели задаются в ТЗ. Например, по ГОСТ 20397—82 для технических средств малых ЭВМ коэффициент применяемости $K_{пр}$ должен быть не менее 40 % (§ 3.8). Причем конструируемые изделия в большинстве случаев должны соответствовать агрегатному принципу построения.

Изделия должны удовлетворять требованиям эргономики и технической эстетики. Рекомендуется использовать ГОСТ 24750—81, ГОСТ 12.2.032—78 и ГОСТ 12.3.033—78. Размеры шрифта надписей, наносимых на панели управления и сигнализации изделий, кроме шифров изделий, должны соответствовать ГОСТ 2930—62 или ГОСТ 26.020—80.

В требованиях на конструирование изделия ЭВА указываются ограничения по устойчивости

к внешним воздействующим факторам в соответствии с ГОСТ 15150—69, ГОСТ 17785—72, ГОСТ 17786—72, ГОСТ 16962—71, ГОСТ 21552—76.

Требования к надежности на изделия конкретного вида указываются в соответствии с ГОСТ 20397—82.

Особого внимания в ТЗ на конструирование микроминиатюрной ЭВА заслуживает показатель микроминиатюризации. Следует отметить, что показатель плотности упаковки (как отношение количества элементов к объему изделия) слабо характеризует качество конструктивной проработки устройства и определяется в основном степенью интеграции использованных покупных элементов (ИМС, резисторов, конденсаторов и т. п.).

Целесообразно использовать два показателя плотности упаковки [7]:

а) отношение количества электрорадиоэлементов $N_{ЭРЭ}$ к полезному объему V_{Π} , в котором реализуются функции изделия, т. е. объем корпусов элементов схемы электрической принципиальной ЭЗ:

$$K_1 = N_{ЭРЭ}/V_{\Pi}; \quad (1.4)$$

б) отношение количества элементов к общему объему устройства V_{Σ} :

$$K_2 = N_{ЭРЭ}/V_{\Sigma}. \quad (1.5)$$

Отношения (1.5) и (1.4) показывают, во сколько раз ухудшается показатель плотности упаковки из-за зазоров несущих конструкций, плат, электрических соединителей и т. п.:

$$K_{з.о} = K_2/K_1 = V_{\Pi}/V_{\Sigma}. \quad (1.6)$$

Таким образом, коэффициент (1.6) характеризует как бы меру дезинтеграции устройства, его называют коэффициентом заполнения объема радиоэлектронного устройства. Обратная ему величина

$$1/K_{з.о} = K_1/K_2 = V_{\Sigma}/V_{\Pi} \quad (1.7)$$

характеризует меру интеграции.

Если ИМС и другие ЭРЭ являются 1-м конструктивным уровнем, а плата, кассета и т. п. — 2-м уровнем, то коэф-

коэффициент заполнения объема для модуля 1-го уровня $K_{з.01} = 1$, а для 2-го уровня

$$K_{з.02} = \left(\sum_{q=1}^p N_q V_q \right) / V_2, \quad (1.8)$$

где N_q — число корпусов элементов q -го типа в модуле 2-го уровня; V_q — объем корпуса элемента q -го типа ($q=1, 2, \dots, p$ — номер типа корпуса); V_2 — объем модуля 2-го уровня.

Коэффициент заполнения объема для конструктивного уровня

$$K_{з.0d} = (N_{d-1} V_{d-1}) / V_d, \quad (1.9)$$

где N_{d-1} — число модулей уровня $d-1$; V_{d-1} — объем модуля уровня $d-1$; V_d — объем модуля уровня d .

Если модули различны по объему, то

$$K_{з.0d} = \left(\sum_{l=1}^t V_{d-1} \right) / V_d, \quad (1.10)$$

где $l = 1, 2, \dots, t$ — номер модуля уровня $d-1$.

Коэффициент заполнения объема всего изделия ЭВА определяется произведением

$$K_{з.0} = \prod_d K_{з.0d}. \quad (1.11)$$

Иначе его можно рассчитать по формуле

$$K_{з.0} = \left(\sum_{q=1}^p N_q^* V_q \right) / V_y, \quad (1.12)$$

где N_q^* — общее число корпусов элементов q -го типа в устройстве.

Величина $K_{з.0}$ лежит в пределах $0 \leq K_{з.0} \leq 1$. Она показывает, какую часть от общего объема прибора (стойки) составляет объем элементов, необходимых для изделия ЭВА.

При самостоятельном использовании этого критерия его можно выражать в процентах

$$K_{з.0} = \frac{\sum_{q=1}^p N_q^* V_q}{V_y} \cdot 100. \quad (1.13)$$

Из (1.13) видно, что коэффициент заполнения объема радиоэлектронного устройства уменьшается с увеличением числа конструктивных уровней ЭВА.

Уровень микроминиатюризации изделий для источников питания целесообразно оценивать коэффициентом

$$\mu_1 = (V_a - V_m)/V_a, \quad (1.14)$$

где V_m — объем устройства, подвергнутого микроминиатюризации; V_a — объем аналога в обычном исполнении.

При самостоятельном использовании этого критерия его можно выражать в процентах

$$\mu'_1 = (V_a - V_m) 100/V_a. \quad (1.15)$$

В качестве аналога выбирается ближайший прототип того же функционального назначения в обычном (не в микроминиатюрном) исполнении.

В некоторых случаях удобно пользоваться коэффициентами

$$\mu_2 = (G_a - G_m)/G_a, \quad (1.16)$$

где G_m — масса устройства, подвергнутого микроминиатюризации; G_a — масса аналога в обычном исполнении.

Или в процентах

$$\mu'_2 = \frac{G_a - G_m}{G_a} 100. \quad (1.17)$$

Значения этих коэффициентов лежат в пределах

$$0 \leq \mu_1 < 1; 0 \leq \mu_2 < 1;$$

$$0 \leq \mu'_1 < 100 \% ; 0 \leq \mu'_2 < 100 \% .$$

При повышении качества устройств эти коэффициенты приближаются к единице (100 %).

При выполнении курсового проекта студент приобретает практические навыки и закрепляет знания, полученные в курсе «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА». Результаты поиска оптимального конструктивного решения представляются в расчетно-пояснительной записке к курсовому проекту.

В соответствии с рекомендацией ГОСТ 2.102-68 в пояснительной записке проекта могут быть объединены результаты всех этапов проектирования. В общем случае расчет-

— Таблица 1.1. График работ по выполнению курсового проекта

Стадия разработки	Примерная последовательность выполнения работ	Рекомендуемый раздел пособия	Раздел расчетно-пояснительной записки	Чертежи и документы	Срок выполнения этапа
Анализ технического задания и схемы электрической принципиальной	1. Подбор и изучение литературы	гл. 1			До 3 дней
	2. Анализ технического задания: назначения изделия	гл. 2, § 1.2	1, 2		До конца 1-й недели
	требований к конструкции требований по устойчивости к внешним воздействиям факторам требований к надежности эксплуатационных ограничений требований технологии изготовления требований электробезопасности				
	3. Анализ схемы электрической принципиальной: Уяснение назначения и функционирования схемы сопоставление условий эксплуатации и технических условий на использование элементной базы выделение наиболее критичных элементов по электромагнитной совместимости и тепловому режиму	§ 2.2—2.4	2	Схема электрическая принципиальная (исходный документ, студент может выдаться на подписание на миллиметровке или специальных листах)	

	анализ органов управления, индикации и присоединения выделение модулей согласно функционально-узловому принципу анализ связей между модулями выявление установочных и присоединительных размеров элементной базы	§ 2.3	2	До конца 2-й недели
Техническое предложение	4. Анализ выполнимости конструктивных ограничений: анализ габаритных, весовых и компоновочных параметров анализ крепёжных несущих конструкций и материалов выявление и предварительная проработка оригинальных элементов на основе анализа аналогичных конструкций анализ применимости методов и способов защиты от внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, используемых в аналоге, прототипе или сопоставимой конструкции поиск формы изделия (с использованием результатов анализа аналога) анализ показателей стандартизации и унификации	§ 1.1 § 2.4 § 2.4 § 3.8	2	Эскизы

Окончание табл. 1.1

Стадия разработки	Примерная последовательность выполнения работ	Рекоменду- емый раздел пособия	Раздел расчетно- поясни- тельной записки	Чертежи и документы	Срок выполнения этапа
Эскизный про- ект	5. Анализ выполнимости технических, эрго- номических и эстетических ограничений	§ 2.4			
	6. Выделение и согласование дополнитель- ных требований технического задания и мо- дификаций конструкции	§ 2.3, § 2.4			
	7. Поиск технических решений оригиналь- ных элементов и сборочных единиц	§ 1.1	3	Эскизы	До конца 3-й недели
	8. Проработка конструктивного решения изделия: поиск вариантов конструктивного реше- ния оценка вариантов по интегральному по- казателю качества оптимизация конструктивного решения	§ 3.1, § 4.1—4.5 § 1.1, § 3.3—3.7, § 4.1—4.5 § 3.8	3	Чертежи дета- лей Эскизы	
Технический проект	9. Окончательная конструкторская прора- ботка: конструирование печатных плат уточнение конструктивных материалов, несущих конструкций	§ 3.8 § 3.1 гл. 3	3	Сборочный чертеж Эскизы	До конца 4-й недели

Рабочая документация	выполнение необходимых монтажных схем					
	электрическая защита	§ 3.4		Эскизы		
	защита от механических нагрузок и других внешних факторов (герметизация)	§ 3.5		»		
	обеспечение теплового режима	§ 3.7		Эскизы, расчеты		
	10. Проверочные расчеты для оценки уровня качества	§ 3.8	4	Чертежи сборочных единиц и деталей	До начала 7-й недели	
	11. Разработка чертежей сборочных единиц и деталей несущих конструкций	§ 4.1, § 4.4, § 4.5, § 5.3				
	12. Разработка чертежей печатной платы	§ 3.1, § 5.3				
	13. Разработка сборочного чертежа изделия	§ 5.3				
	14. Разработка спецификаций					
	15. Оформление введения и заключения	§ 1.3		Всего 3—5 листов формата А1	До конца 12-й недели	
	16. Подготовка к защите и брошюровка расчетно-пояснительной записки	§ 1.2		Введение к ПЗ Заключение Всего 30—40 листов формата А4		

22 Таблица 1.2. Методические рекомендации для выполнения расчетов

Формулы и методика расчета	Раздел пособия	Номер формул	Этап разработки (рекомендации по применению)	Источники дополнительной информации
Масса конструкции изделия	§ 1.2	(1.1) — (1.3)	Анализ ТЗ	[5, с. 17]
Плотность упаковки	§ 1.2	(1.4), (1.5)	Анализ ТЗ, ПТ	[1, с. 22...28] [6, с. 145...147] [3, с. 166...181]
Коэффициент заполнения объема	§ 1.2	(1.6) — (1.13)	То же	[6, с. 67] [5, с. 13...18] [3, с. 166...181]
Показатель микроминиатюризации	§ 1.2	(1.14) — (1.17)	»	[7, с. 105...112] [2, с. 29]
Допускаемая смкостная нагрузка, микросхемы-генератора	§ 2.3	(2.1)	»	[8, с. 144...152], [9]
Анализ схемной надежности	§ 2.3	(2.2) — (2.4)	Анализ ТЗ, ПТ	[1, с. 33]
Проверочный расчет компоновки	§ 2.3	(2.5)		[1, с. 134] [7, с. 124...141] [4, с. 24...101] [6, с. 67]
Оценка компактности размещения	§ 2.4	(2.6) — (2.7)	То же	
Расчет экономии затрат при автоматизации конструирования	§ 2.5	(2.8) — (2.10)	ТЗ	[3, с. 201...205]
Расчет проводящего рисунка платы с учетом технологии печатной платы	§ 3.1 п. Ж	(3.1) — (3.9)	ТП	[6, с. 53...69]
Проверка электрических параметров проводников печатного рисунка	§ 3.1 п. И	(3.10) — (3.20)	»	[2, с. 137...165]

Оценка помехоустойчивости изделий ЭВА на печатной плате	§ 3.1 п. К	(3.21) — (3.38)	»	{2, с. 108...136} {7, с. 141...155} {6, с. 69...88} {1, с. 81...83} {3, с. 298...333}
Оценочный расчет вибропрочности печатной платы	§ 3.1 п. Л	(3.39)	»	{6, с. 216...226} {16, с. 217...222} {4, с. 75}
Оценочный расчет поверхности теплоотвода для ВИП	§ 3.2 п. Б	(3.40) — (3.51)	ЭП, ТП	{3, с. 386...397} {6, с. 195...210} {7, с. 187...227} {2, с. 186...208}
Расчет экранов	§ 3.2 п. Б	(3.52) (3.55)	—	{6, с. 102...108} {2, с. 175...185} {3, с. 307...319}
Обоснование типоразмера 3-го конструктивного уровня	§ 3.3 п. Б	(3.56) — (3.58)		{5, с. 110...112} {7, с. 163...177} {1, с. 132...147} {3, с. 177...188}
Оценочный расчет параметров блоков книжной конструкции	§ 3.3 п. Б	(3.59)	ЭП	{5, с. 145...148} {7, с. 163...177}
Расчет геометрической поверхности корпуса конструкции силового электронного устройства	§ 3.3 п. В	(3.60) — (3.62)	ЭП, ТП	{5, с. 110...112} {1, с. 147...150} {3, с. 292...297}
Проверочный расчет объема вторичного источника питания	§ 3.3 п. В	(3.63) — (3.71)	ТП	{1, с. 141...150}
Расчет системы амортизации блоков при механических нагрузках	§ 3.5	(3.72) — (3.78)	»	{6, с. 158...183} {2, с. 227...247} {3, с. 360...397}

Формулы и методы расчета	Раздел исследования	Номер формул	Этап разработки (рекомендации по применению)	Источники дополнительной информации
Условие работоспособности вибронгруженной аппаратуры	§ 3.5	(3.79) — (3.81)	»	[6, с. 211...220] [1, с. 136]
Проверочный расчет герметичности блока	§ 3.6	(3.82) — (3.87)	»	[5, с. 139...145] [6, с. 155...158] [2, с. 209...226] [3, с. 334...359]
Проверка теплового режима изделия ЭВА	§ 3.7	(3.88) — (3.89)	»	[2, с. 186...208] [6, с. 183...210] [7, с. 187...227] [11, с. 150...154] [3, с. 397...469]
Оценка качества изделия	§ 3.8	—	ТП	[1, с. 18...26] [5, с. 182...204] [6, с. 18]
Эффективность средств вычислительной техники	—	(3.90)	ПТ, ЭП, ТП	[2, с. 25...35]
Интегральный показатель качества	§ 3.8	(3.91) — (3.92)	ЭП	[5, с. 186...187]
Расчет конструктивной надежности	§ 3.8	(3.93) — (3.96)	ТП	[1, с. 33...34, 186...212]
Комплексный показатель технологичности	§ 3.8	(3.97) в табл. 3.41	ПТ, ЭП, ТП	[5, с. 192...204] [6, с. 18]

Показатели уровня стандартизации и унификации	§ 3.8	(3.98) — (3.104)	ЭП, ТП	{6, с. 18...20} {7, с. 113...115, 157...163}
Показатели патентной защиты	§ 3.8	(3.105), (3.110)	ЭП, ТП	
Комплексный метод оценки уровня качества	§ 3.8	(3.111) — (3.114)	То же	{1, с. 36...43, 92...95} {7, с. 82...141}
Расчет уровня жесткости	§ 4.1	(4.1) — (4.13)	»	{3, с. 360...397} {6, с. 213...216}
Выбор монтажного проводника	§ 4.3	(4.14)	»	{2, с. 165...174} {7, с. 180...187}
Расчет элементов монтажа при «стежком» способе разводки проводов	§ 4.3	(4.15) — (4.17)	ТП	{7, с. 184...185}
Оценка разбиения схемы на части	§ 6.3	(6.1)	»	{1, с. 36, 170...171} {6, с. 30...33} {10, с. 42...123}
Показатели размещения одногабаритных модулей на монтажной плате	§ 6.4	(6.2) — (6.4)	»	{6, с. 26...38} {1, с. 175...185} {7, с. 122...130} {10, с. 124...205}
Расчет размерных цепей	Приложение 2		»	

но-пояснительная записка курсового проекта может состоять из следующих разделов:

Введение (см. § 1.3).

1. Назначение и область применения проектируемого изделия.

2. Анализ технического задания и схемы электрической принципиальной (см. § 2.1—2.4).

3. Описание и обоснование выбранной конструкции (разработка оригинальных элементов на этапе ПТ (см. § 1.1), начальный этап проектирования на этапе ЭП [5], конструирование печатных плат на этапе ТП (см. § 3.1), конструирование блоков на этапе ТП [см. §§ 3.3—3.7, 4.4, 4.5].

4. Расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции (см. § 1.2, гл. 3, 6).

5. Заключение (перспективы совершенствования конструктивного решения).

В зависимости от особенностей изделия отдельные разделы и подразделы допускается дополнять или исключать, а также вводить новые разделы. Требования к оформлению должны соответствовать ЕСКД (см. § 5.1).

Методические аспекты связи последовательности выполнения курсового проекта с рекомендациями к пользованию пособием, основными разделами расчетно-пояснительной записки, возможным перечнем чертежей и конструкторских документов, выполняемых при проектировании, и примерным графиком работы над курсовым проектом отражены в табл. 1.1.

Итоговый материал курсового проекта состоит из сравнительных таблиц, расчетов, чертежей деталей, чертежа общего вида, сборочных чертежей, спецификации и других чертежей и документов, указанных в ТЗ (гл. 5).

Порядок изложения расчетов рекомендован ГОСТ 2.106—68 и зависит от характера рассчитываемых величин.

Расчеты в общем случае должны содержать: эскиз или схему рассчитываемого изделия; задачу расчета (с указанием, что требуется определить при расчете); данные для расчета; условия расчета; расчет (листинги программы и результатов); заключение.

Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое представление о рассчитываемом изделии.

Теоретическое обоснование того или иного конструктивного решения на всех этапах разработки (табл. 1.1) должно

сопровождаться выполнением расчетов. Использовать учебное пособие для выполнения расчетов можно в соответствии с табл. 1.2 (см. также [12]).

В процессе выполнения курсового проекта для студентов организуются консультации. В часы консультации руководитель проекта обсуждает со студентами возможные варианты конструкции, рекомендует литературу по частным вопросам, согласовывает результаты расчетов, контролирует выполнение графика работ.

Законченный курсовой проект сдается руководителю за три дня до защиты. Защита производится перед комиссией, состоящей не менее чем из трех преподавателей.

При защите студент в течение 8—10 мин докладывает о поставленной перед ним технической задаче и путях ее реализации в проекте, приводит анализ этого решения и защищает полученные результаты. При этом необходимо особо отметить оригинальные конструкторские решения и пути дальнейшего совершенствования конструкции. В докладе автор проекта ссылается на представленные документы: чертежи и расчетно-пояснительную записку. План доклада может содержать следующие разделы:

- 1) тема и актуальность проекта;
- 2) исходные данные (анализ схемы электрической принципиальной и ТЗ);
- 3) техническое решение (оригинальность, особенности компоновки, размещения и трассировки, несущие конструкции, материалы);
- 4) защита от внешней среды;
- 5) результаты проверочных конструктивных расчетов;
- 6) использование ЭВМ;
- 7) выводы о выполнении ТЗ и перспективах развития технического решения.

1.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВВЕДЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Основная цель введения пояснительной записки (ПЗ) в изложении существа разрабатываемого проекта — его место в общей проблеме конструирования, особенности конструируемого изделия и выявление потребности в его разработке.

В текстовую часть введения (до двух страниц) рекомендуется включить следующие вопросы:

1) назначение курсового проекта по дисциплине «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА»;

2) цель данной конструкторской разработки;

3) связь разрабатываемой конструкции с решением основных народнохозяйственных задач;

4) предполагаемые параметры изделия, определяющие его приоритет или преимущество перед аналогичными (уровень миниатюризации);

5) сравнение с аналогичными изделиями по показателям надежности;

6) оценка изделия по требованиям к функциональным характеристикам, производительности, быстродействию, потребляемой мощности, габаритным размерам;

7) эргономические особенности разрабатываемой конструкции;

8) целесообразность проектирования изделия по экономическим критериям конструирования, изготовления и эксплуатации;

9) особенности использования нормативных и других документов при конструировании данного изделия;

10) объем пояснительной записки и перечень чертежей.

Очевидно, что предлагаемый перечень вопросов призван конкретизировать информацию, содержащуюся во введении по отношению к данной дисциплине и теме курсового проекта.

Темой курсового проекта является разработка конструкции изделия ЭВА различного назначения.

Примерной типовой темой может быть разработка конструкции:

устройств (связи с объектом, системы сбора, контроля и управления информацией, памяти, интерфейса и т. п.);

агрегатных модулей (коммутации и преобразования частотных сигналов, ввода-вывода дискретных сигналов, гальванической развязки, внутрисистемной связи, дистанционной связи и т. п.);

сервисной аппаратуры (для эксплуатации и наладки, связи человека с машиной и т. п.);

источников питания.

По конструктивной сложности разрабатываемое изделие ЭВА должно быть не ниже 2-го конструктивного уровня (структурного) (к сборочным единицам второго конструктивного уровня относятся блоки). Объемы работ по проекту определяются и корректируются руководителем проекта.

1.4. ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ

Уже в самом названии проекта «исследовательский» отражена основная особенность разрабатываемой конструкции, т. е. в ней какой-то элемент, конструктивное решение или методы и средства конструирования требуют концентрации усилий и использования исследовательских приемов, методов и средств. Так, студент исследует возможность замены элементной базы для улучшения коэффициента микроминиатюризации (§ 1.2). Может возникнуть необходимость исследовать новое техническое решение для повышения производительности труда. Например, требуется сконструировать контролирующее устройство для производства микросборок (МСБ) или контролирующее устройство для автоматизации процесса прессования многослойных печатных плат. В первом случае необходимо исследовать на этапе ПТ контактные и бесконтактные конструктивные решения съемника (датчика) информации, а во втором найти информативный параметр для контроля технологического процесса. На этапах ПТ и ЭП различные измерители и контролирующие устройства нуждаются в совершенствовании, поиске нового принципа съема информации или требуют оригинального конструктивного решения (например, «трость» агронома для экспресс-контроля готовности почвы к севу без длительных лабораторных анализов).

Наиболее распространены в исследовательских курсовых проектах вопросы совершенствования или разработки новых алгоритмических и программных средств САПР. Например, разработка в рамках проекта (для конкретного применения) алгоритма и программы размещения разноразмерных элементов на печатной плате на базе АРМ «Экран 4».

Исследовательский проект по данной дисциплине может быть согласован с другими проектами и работами, НИРС и может иметь продолжение в дипломном проекте.

Методика работы над исследовательским проектом заключается в организации научного поиска оригинальных конструктивных решений (§ 1.1) на основе данных об элементарных модулях конструкции (§ 2.2), применении методов оптимизации (§ 3.8) и использовании для решения проблем конструирования ЭВМ (гл. 6).

ГЛАВА 2

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Общие методические указания (гл. 1) по конструированию ЭВА, начиная с ранних стадий анализа, нацелены на реализацию системного подхода к конструированию. Здесь раскрыта методика анализа схемы электрической принципиальной и дана методика уточнения и конкретизации ограничений ТЗ. В результате анализа ТЗ (§ 1.2) уточняются и конкретизируются технические требования к конструкции изделия.

Наиболее удобным для конструирования являются ТЗ, прямо или косвенно содержащие ограничения на геометрические размеры конструктивных модулей, их взаимное расположение, длины связей между модулями, материалы. Это позволяет быстрее принять техническое решение и выполнить соответствующую графическую документацию. Такое представление ограничений обеспечивает непосредственный переход от I этапа конструирования (уточнения и анализа ТЗ) к определению компоновочных параметров конструкции изделия. Требования, содержащие функциональные зависимости от конструктивных параметров изделия, могут эффективно использоваться при оптимизации принятого технического решения. Наименее приемлемы ограничения, сформулированные словесно, что говорит о недостаточной проработке определенного вопроса конструктором. Здесь рекомендуется применять метод декомпозиции изделия или выделения конструктивных (функциональных) модулей для выявления конкретных количественных ограничений на связи между модулями конструктивной (функциональной) иерархии (§ 1.2). Для таких требований, подлежащих уточнению, в пояснительной записке делается запись в параграфе анализа ТЗ по типу: «Окончательное требование (значение величины) ... уточняется в процессе разработки конструкции изделия и согласовывается с руководителем проекта на стадии ...». При указании ограничений на конструирование в каждом из требований необходимо делать ссылки на документы (СТП, ОСТ, ГОСТ и т. д.), на основании которых должны быть реализованы эти требования. В тех случаях, когда встречаются затруднения в выборе такого нормативного документа, необходимо пи-

сать «... предположительно должно (должен) соответствовать ГОСТ ...».

Процесс конструирования ЭВА в основном эвристический и осуществляется итерационно.

На каждом шаге предлагается семейство технических решений, из которого (после консультации с преподавателем) необходимо выбрать одно, наилучшее, относительно заданных для этого шага требований и ограничений ТЗ. На каждом следующем шаге решение находится в зависимости от принятого принципа компоновки (или сверху — вниз или снизу — вверх).

Процесс поиска наилучшей конструкции (в смысле удовлетворения ТЗ) идет от общего требования к частному или от частного к общему.

2.1. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Каждому студенту выдается индивидуальное задание на курсовой проект, утвержденное заведующим кафедрой (приложение 1). В задании кроме фамилии, имени, специальности и дисциплины указывается:

- 1) тема курсового проекта;
- 2) дата выдачи задания;
- 3) срок сдачи законченного курсового проекта;
- 4) требования к функциональным характеристикам (параметры входных и выходных сигналов, производительность, быстродействие, разрядность, потребляемая мощность);
- 5) требования к конструкции (габаритные размеры, занимаемая площадь, масса, показатели технологичности, унификации, миниатюризации);
- 6) требования по устойчивости к внешним воздействующим факторам (категория и группа изделия);
- 7) требования к надежности (наработка на отказ, среднее время восстановления работоспособности, средний срок службы, коэффициент технического использования);
- 8) технико-экономические требования (объем выпуска, стоимость ...);
- 9) содержание расчетно-пояснительной записки (анализ исходных данных, анализ аналога, развернутое техническое задание на изделие, эскизный проект, технический проект, рабочее проектирование), объем 20 ... 30 с.;
- 10) расчетная часть (расчет размерных цепей, расчет показателей унификации, технологичности, миниатюриза-

ции, расчет конструктивной надежности, расчет теплового режима, расчет защиты от механических воздействий ...);

11) графический материал (3—4 листа формата А1);

12) результаты контроля:

1-й контроль _____%, дата _____

2-й контроль _____%, дата _____

3-й контроль _____%, дата _____

Анализ содержания исходных данных задания можно рассматривать с точки зрения их полноты или принципиального наличия информации о будущей конструкции. Здесь необходимо сопоставить имеющиеся данные и примерное содержание общих технических требований в § 1.2.

Основным методологическим правилом анализа должно быть уточнение ограничений, а также принципиальных возможностей конструирования, изготовления и эксплуатации. Такое оценочное обоснование целесообразности создания конструкции ЭВА на основе анализа содержания исходных данных на курсовой проект необходимо для решения задачи синтеза конструкции.

2.2. АНАЛИЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА

В исследовательском проекте могут быть заданы схемы электрические принципиальные, которые реализованы на оригинальной элементной базе, или указаны другие схемотехнические решения, требующие специального исследовательского анализа, конструктивных решений.

Предположим, что в схеме электрической принципиальной мини-ЭВМ (рис. 2.1) одна из подсистем реализована на новой элементной базе. В этом случае при анализе соответствия технических условий (ТУ) элементной базы и ТЗ на конструирование изделия следует обратить внимание на особенности конструктивного обеспечения назначения элементной базы [например, необходимо выделить ограничения на линии связи с учетом повышенного быстродействия используемых интегральных микросхем (ИМС)]. При анализе конструктивно-технологических ограничений ТЗ в исследовательском проекте следует обратить внимание на особенности конструктивной реализации элементной базы и новые требования к изготовлению изделий с применением этой базы. Может возникнуть необходимость исследования особенностей эксплуатации новой элементной базы в задан-

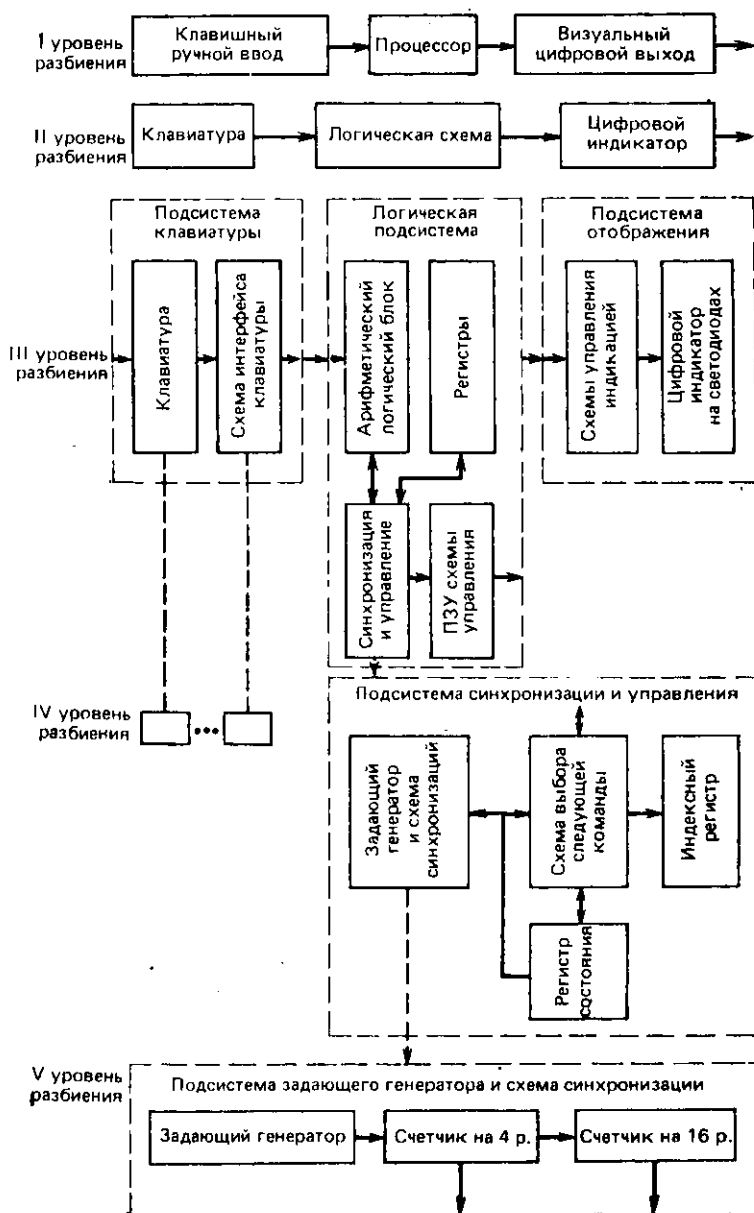


Рис. 2.1. Разбиение схемы ЭВМ на подсистемы

ных условиях климатического, механического и радиационного воздействия.

Оригинальность схмотехнического решения, требующая дополнительных исследований, может быть связана со стыковкой данной схемы электрической принципиальной с новыми элементами индикации и управления или сверхбыстродействующими устройствами, которые используют другие носители информации, или реализацией для работы в другом спектре частот. В этом случае необходимо детально расширить исходную информацию и попытаться экспериментальным или теоретическим путем связать показатели назначения схемы электрической принципиальной с конструктивным решением платы, узла или изделия в целом (§ 1.2).

Обычно подобные ситуации возникают при поиске новых оригинальных технических решений в области вычислительной техники.

2.3. КОНСТРУКТОРСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

Анализу схемы электрической принципиальной (ЭЗ) предшествует анализ технического задания (табл. 1.1), который выявляет подробности исходных данных на проектирование (§ 1.2).

Анализ назначения ЭЗ конкретизирует электрические и частотные параметры изделия, а изучение особенностей функционирования ЭЗ поясняет особенности связи проектируемого изделия с другими устройствами, модулями и человеком-оператором. Уточненные выше данные не должны противоречить техническим требованиям ТЗ, поэтому результаты последующих этапов анализа ЭЗ сопоставляются с полученными ранее.

Сравнение условий эксплуатации изделия и технических условий на использование элементной базы начинается с конкретизации технических условий эксплуатации и ограничений на конструирование ЭВА с заданными элементами по справочной литературе [9].

Пример. Предположим, что имеем схему электрическую принципиальную и элементную базу изделия ЭВА, выполненного на ИМС серии К155, К133 и КР580. В частности, анализируется схема электрическая принципиальная модуля оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) емкостью 64 одноразрядных слова, которая имеет ИМС 155 РУ1 и К155ИД1 (рис. 2.2).

Из справочной литературы [9] имеем следующие данные об условиях эксплуатации ИМС серии К155:

Интервал рабочих температур $-10 \dots +70^\circ\text{C}$; многократное циклическое изменение температуры $-10 \dots +70^\circ\text{C}$; относительная влажность воздуха 98 % при температуре 20°C ; атмосферное давление $6,7 \cdot 10^2 \dots 3 \cdot 10^5$ Па; вибрация; диапазон частот вибрации

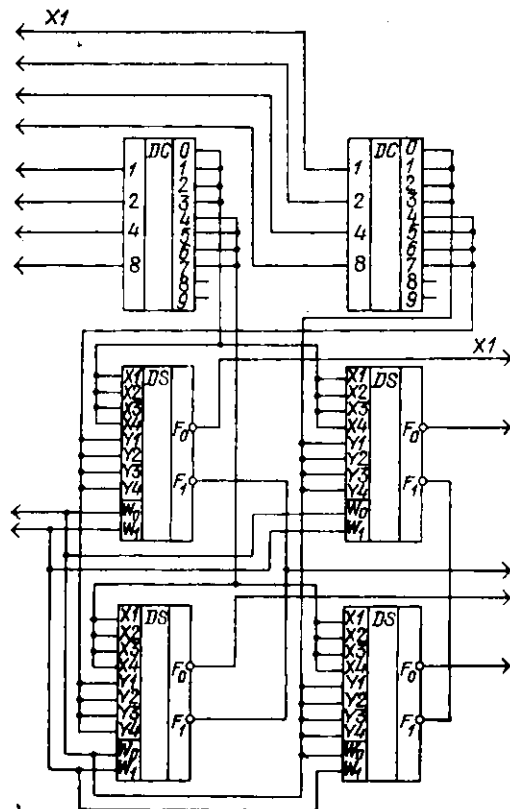


Рис. 2.2. Схема электрическая принципиальная модуля оперативного запоминающего устройства емкостью 64 однобайтных слова

5 ... 2000 Гц; многократные удары с ускорением 35 g; ускорение 10 g линейная нагрузка с ускорением 50 g; одиночные удары с ускорением 150 g; напряжение питания $U_{н.п} = 5 \text{ В} \pm 5\%$; параметры ИМС РУ1 и К155 ИД1 изучаются по табл. 2.47 и 2.49 в [9].

Для обеспечения максимального быстродействия и помехоустойчивости неиспользуемые выходы ИМС должны находиться под постоянным потенциалом. Это позволяет исключить перезарядку емкости разомкнутого эмиттера входного транзистора относительно

выводов схемы, которая увеличивает время задержки сигнала. Если в схеме не выполнена эта рекомендация, то по согласованию с руководителем применяют один из рекомендованных в [9, с. 263] способ включения неиспользуемых выводов.

Конструктивно и электрическими связями следует обеспечить сигналы, поступающие на входы микросхем в соответствии с требованиями технических условий, так как в противном случае не может быть обеспечена безотказная работа элементов. Это в особенности относится к случаю, когда ИМС управляются от внешних источников.

Критичными в данном случае являются длительности фронта и среза входных сигналов (не более 150 нс).

Для обеспечения работоспособности рассматриваемого ОЗУ, которое согласуется с другими устройствами, выполненными на других сериях ИМС К133 и КР580, необходимо удовлетворить требования, указанные в [9] с. 654...655). Причем значение суммарной емкости входов ИМС (нагрузок) с учетом емкости монтажа должно удовлетворять соотношению

$$C_{н.г} \geq \sum_{i=1}^{k_{раз}} C_{вх.и.г} + \sum_{i=1}^{k_{раз}} C_{м.г} \quad (2.1)$$

где $C_{н.г}$ — емкость нагрузки микросхемы-генератора, при которой гарантируются временные параметры (15 пФ); $C_{вх.и.г}$ — максимальная емкость входа микросхемы-нагрузки (примерно 3 пФ); $C_{м.г}$ — емкость монтажа одного входа микросхемы-нагрузки относительно выхода микросхемы-генератора; $k_{раз}$ — количество разветвлений (нагрузок).

При конструировании изделия ЭВА на ИМС серии К155 разводка питающего напряжения узлов и блоков (шин «земля» и «питание») должна производиться проводниками с возможно более низким сопротивлением.

При использовании многослойных печатных плат рекомендуется разводку шин «питание» производить в одном слое, а шин «земля» в другом, соседнем; шины располагать одну над другой. При наличии свободной площади в слое рекомендуется использовать ее для увеличения поверхности шины «земля».

Низкочастотные помехи, проникающие в систему по шинам питания, должны блокироваться с помощью конденсатора емкостью 0,1 мкФ на ИМС, включенного между выводами «питание» и «земля» непосредственно с места начала проводника печатной платы.

Развязывающие емкости по высокой частоте должны быть равномерно распределены по всей площади печатной платы относительно ИМС из расчета один конденсатор на группу не более чем 10 микросхем емкостью не менее 0,002 мкФ на микросхему.

Конденсатор развязки, установленный в непосредственной близости от микросхемы, образует цепь низкого сопротивления высоким частотам.

Конденсаторы устанавливают на той стороне платы, на которой располагают ИМС, в непосредственной близости от них. Для блокировки высокочастотных пульсаций следует использовать безындукционные конденсаторы.

Конденсаторы емкостью 0,1 мкФ устанавливают в непосредственной близости от каждой ИМС серии 155. Эти микросхемы должны устанавливаться в непосредственной близости от шин «земля».

Для подведения напряжения питания и подключения шины «земля» рекомендуется использовать крайние контакты электрического соединителя.

Информационные линии связи в пределах платы рекомендуется осуществлять с помощью печатного монтажа.

Проводники, расположенные на различных сторонах платы или в соседних слоях, должны перекрещиваться под углом 45 или 90°. Проводники должны быть по возможности короткими. Максимально допустимая длина печатных параллельных проводников, расположенных на одной стороне платы или в одном слое, при ширине печатных проводников 0,5—1,5 мм не должна превышать значений, приведенных в табл. 2.1 (длина печатных проводников приведена в миллиметрах).

Таблица 2.1. Максимально допустимая длина печатных параллельных проводников, мм

Количество параллельных проводников	Ширина печатных проводников, мм				
	0,5	1,0	1,5	3,0	5,0
2	100	120	130	150	170
3	60	70	75	90	100
4	50	60	65	75	80
5	40	50	60	65	70

Информационные линии связи между платами рекомендуется осуществлять с помощью монтажной панели, которая конструктивно может быть выполнена в виде печатной платы или панели, имеющей экранирующее покрытие со стороны монтажа. Экран должен быть соединен с шиной «земля» печатных плат.

Если в устройстве ЭВА, где располагается разрабатываемое ОЗУ, длина информационных линий связи превышает 20 см, то рекомендуется выполнять их с помощью объемного монтажа. Линии связи длиной до 20 см для асинхронных устройств и до 30 см для синхронных устройств выполняются одиночными проводниками.

К выходу одного передающего элемента допускается подключать до пяти радиальных линий с общей длиной не более 50 см.

Линии связи длиной от 0,2 до 1 м в пределах панели выполняют несогласованными витыми парами. К выходу одного передающего элемента допускается подключать не более трех витых пар с суммарной длиной не более 2 м.

Обратные провода витых пар должны «заземляться» на передающем и приемных концах. Длина разделенной части витой пары должна быть не более 3 см. Допускается к одному контакту электрического соединителя подключать не более трех обратных проводов витых пар.

От несогласованной витой пары допускается делать отводы одиночным проводом в пределах нагрузочной способности передающих ИМС, при этом суммарная длина отводов не должна превышать 0,2 м.

В линии связи, выполненной витой парой, допускается проводить отдельные участки одиночным проводом, при этом суммарная длина одиночных проводов в длинной линии связи не должна превышать 0,2 м, а длина всей линии связи — не более 1 м.

При разводке линий связи необходимо располагать их таким способом, который позволяет упростить линию связи и обеспечивает минимальную ее длину.

Линии связи от 1 до 3 м, не выходящие за пределы изделия, необходимо выполнять согласованными витыми парами. Согласованные линии связи длиной более 3 м, а также линии связи, выходящие за пределы устройства, необходимо выполнять с помощью коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 100 Ом. Согласование линий связи осуществляется с помощью резистора 82 Ом с допустимым отклонением сопротивления на $\pm 5\%$. Резистор должен устанавливаться непосредственно у выхода передающей ИМС.

Допускается осуществлять передачу информационных сигналов в пределах изделия ЭВА с помощью экранированного провода с обязательной посылкой стробирующего сигнала по коаксиальному кабелю.

Линии связи для передачи сигналов синхронизации при печатном монтаже должны быть удалены от информационных линий и от линий синхронизации другой фазы на расстояние не менее 2,5 мм или заэкранированы «землей» в одной точке. Ширина печатного экранирующего проводника должна быть в 2—3 раза больше ширины проводника цепей синхронизации. Длина линий связи в пределах печатной платы выбирается с учетом данных в табл. 5.17 [9].

Разводку линий связи для сигналов синхронизации в пределах панели можно выполнять с помощью витой пары длиной до 35 см или одиночным проводом длиной до 10 см. От витой пары допускается делать отводы одиночным проводом длиной до 10 см, причем суммарная длина одиночных проводников не должна превышать 20 см.

Линии связи сигналов синхронизации в пределах устройства с длиной более 35 см необходимо выполнять с помощью согласованного или несогласованного коаксиального кабеля при длине не более 50 см.

Линии связи от выхода ИМС до элементов индикации рекомендуется выполнять одиночными проводами, которые можно укладывать в жгут. Длина линий связи при этом определяется из условий обеспечения максимально допустимого напряжения, приложенного к выходу ИМС (5,25 В для К155ЛА8, 7 В для К155ЛА7, 60 В для К155ИД1).

Коммутационные линии связи (линии между переключателями, тумблерами, контактами реле и микросхемой) рекомендуется выполнять экранированным проводом.

Допускается применение одиночных проводников длиной до 0,3 м и витых пар до 3 м. Укладка в один жгут линии связи информационных, коммутационных и индикации не допускается. Одиночные проводники нельзя укладывать в жгуты как отдельно, так и с витыми парами. Несогласованные и согласованные витые пары допускается укладывать в жгуты или группу проводов без связи, а также в шлейфы.

Сравнение условий эксплуатации изделия и технических условий на использование элементной базы должно отразить основные направления конструирования ЭВА в плане обеспечения нормальной работы ЭЗ. На этом этапе анализа необходимо указать возможные конструктив-

ные решения по защите от климатических и механических внешних воздействий.

Если техническими требованиями на проектируемое изделие задан температурный интервал работы устройства от -50 до $+60$ °С; то без дополнительных мероприятий нельзя использовать элементы, способные удовлетворительно работать по своим техническим условиям в диапазоне температур от -40 до $+70$ °С или от -60 до $+50$ °С. Более того, неправильным будет также использование элемента, который может эксплуатироваться в том же самом диапазоне температур $-50 \dots +60$ °С.

Анализ ЭЗ и элементной базы с точки зрения обеспечения теплового режима выполняется в соответствии с исходными данными:

для блока — рассеиваемая мощность, Вт; допустимый перегрев нагретой зоны, °С; удельная мощность нагретой зоны, Вт/м²; давление окружающей среды, Па (для изделий, находящихся в условиях пониженного давления);

для индивидуального элемента — рассеиваемая мощность, Вт; удельная мощность нагретой зоны, Вт/м²; допустимая температура нагретой зоны, °С; диапазон изменения температуры окружающей среды, максимально допустимое значение гидравлического сопротивления, Н/м²; требования к теплоносителю: удельное объемное сопротивление, Ом·м; тангенс угла диэлектрических потерь.

Порядок расчета представлен в гл. 6.

Задача конструктора на заданном этапе анализа ЭЗ выявить наиболее критичные по электромагнитной совместимости (ЭМС) электромонтажные связи и определить элементы, которые могут быть источниками значительного количества тепла или обладать большой чувствительностью к перегреву.

Анализ ЭЗ на ЭМС выполняют исходя из:

быстродействия или частоты полезного сигнала;

формы, вида сигнала;

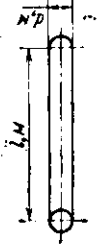
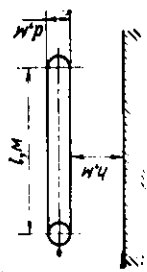
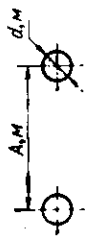
числа связей, которые должны располагаться параллельно (например, в шине данных);

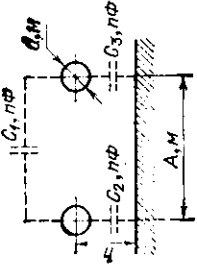
параметров возможных генераторов и приемников помех в ЭЗ;

возможных длин связей в пределах конструируемого изделия и вне его (для межблочных связей по данным ТЗ) (табл. 2.2).

Такой анализ ЭЗ позволяет при конструировании электромонтажа рассчитать допустимые параметры электри-

40 Таблица 2.2. Расчетные соотношения для определения электрических параметров электромонтажа

Тип электромонтажа	Эскиз конструкции	Расчетные соотношения
Одиночный проводник		$L = 0,2 l \left(2,3 \lg \frac{4 l}{d} - 0,75 \right)$
Проводник над экраном		$L = 0,46 \lg \frac{4 h}{d}, C = 24 \varepsilon' \lg \frac{4 h}{d}, Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{4 h}{d}$
Соседние проводники (связка, бифиляр)		$L = 0,4 \mu \left(2,3 \lg \frac{2 A}{d} \pm 0,25 \right), C = 12,1 \varepsilon_{\text{эфф}}' \lg \frac{2 A}{d},$ $Z = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{2 A}{d}, \varepsilon_{\text{эфф}} \approx 0,8 \varepsilon$

Тип электроустройства	Эскиз конструкции	Расчетные соотношения
Соседние проводники над экраном		$L = 0,4 \mu \left(2,3 \lg \frac{2A}{d} + 0,25 \right), \quad C_1 = 12,1 \varepsilon_0 \Phi / \lg \frac{2A}{d},$ $C_2 = 24 \varepsilon_0 \Phi / \lg \frac{4h}{d}, \quad C = C_1 + C_2 / 2, \quad Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{4h}{d} \times$ $\times \sqrt{1 + \frac{4h^2}{A^2}}$
Коаксиальный кабель (экранированный провод)		$L = 0,46 \lg D/d, \quad C = \frac{\varepsilon}{41,4 \lg D/d}, \quad Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg D/d$

чески длинных и коротких линий [2, с. 110 ... 135; 3, с. 298 ... 307]; взаимосвязанных совокупностей электромагнитных линий [2, с. 117 ... 127]; (ОСТ 4ГО.010.009, ОСТ 4ГО.010.025 ЕС ЭВМ, ГОСТ 23751--79, ГОСТ 2.417--78); генераторов и приемников помех [2, с. 108—110].

Конструктор должен учитывать, что наибольшая опасность возникновения емкостной помехи при больших перепадах напряжения; при больших выходных сопротивлениях; при большой емкостной связи (при параллельном расположении проводников), а наибольшая опасность возникновения индуктивной помехи при больших перепадах токов в линиях (малых $R_{\text{вых}}$); при большой индуктивной связи (при значительной длине и близком расположении проводников).

Анализ органов управления, индикации и присоединения ЭЗ позволяет уточнить требования к конструкции ЭВА в соответствии с основным назначением изделия.

Для мини- и микро-ЭВМ можно выделить конструктивные элементы:

органы управления — клавиши и кнопки; органы индикации — светодиоды или другие элементы, указанные на схеме; органы присоединения — зависят от конкретного применения и могут быть представлены в сопроводительных документах в ПЗ к ЭЗ или указаны на чертеже.

При анализе органов управления и индикации следует изучить возможность применения новейших, перспективных элементов управления и отображения.

В последние годы достигнуты значительные успехи в разработке устройств отображения алфавитно-цифровой и графической информации, применяемых в приборах индивидуального, группового и коллективного пользования. Получили развитие жидкокристаллические, полупроводниковые, газоразрядные, вакуумные, люминесцентные индикаторы (см. «Электронная промышленность», вып. 5—6, 1982 г.).

Для малогабаритных изделий ЭВА с автономным питанием (например, микрокалькулятор БЗ-30) можно рекомендовать предназначенный для воспроизведения цифровой информации жидкокристаллический индикатор ИЖКЦ 1—8/5. Прибор работает в отраженном свете, число разрядов 8,5; высота знака 5 мм; время реакции и релаксации не более 350 мс; управляющее напряжение 5,4 ... 6,3 В; ток индикатора не более 8 мкА; степень мультиплексации

3 : 1; габаритные размеры $57 \times 24,5 \times 2,3$ мм; рабочая температура окружающей среды $-40 \dots +1$ °С.

К элементам присоединения в первую очередь относят высокочастотные и электрические соединители. Если не указан в ТЗ тип соединителя, то выбор его выполняется с учетом назначения, количества контактов, требований механической и климатической устойчивости, защиты от других внешних воздействий, электрических параметров и стоимости. Электрические соединители (на низких и средних частотах) выбираются исходя из максимального значения коммутируемых токов и напряжения. Для высокочастотных соединителей очень важно решить проблему согласования волновых сопротивлений коммутируемых цепей и контактных пар соединителя, так как несогласование приводит к искажению и многократным отражениям передаваемых через соединитель сигналов. Искажение сигналов в контактной паре соединителя будет минимальным, если верхний предел полосы пропускания не хуже $f_{\text{в}} = 0,35/t_{\text{н}}$, где $t_{\text{н}}$ — время нарастания или спада импульса, с.

Современные электрические соединители обладают значительной индуктивностью и большим волновым сопротивлением. При необходимости для согласования высокочастотных соединителей с информационными цепями можно дополнительно устанавливать конденсатор или выполнять заземление контактной пары, расположенной по соседству с критичной к согласованию парой. При этом согласование обеспечивается за счет паразитной емкости между сигнальной и заземленной контактными парами.

В соответствии с ТЗ может возникнуть необходимость сравнить заданную надежность с возможными схемной надежностью принципиальной схемы.

В проверочном расчете схемной надежности учитывается только количество и тип применяемых электрорадиоэлементов. Его рекомендуется выполнить в следующей последовательности.

Шаг 1. Рассчитываем интенсивность отказов ЭВА (при основном соединении)

$$\lambda_{\text{о.с}} = \sum_{i=1}^m N_i \lambda_{\text{о}i}, \quad (2.2)$$

где N_i — количество i -х однотипных элементов; $\lambda_{\text{о}i}$ — интенсивность отказов i -го типа элементов.

Шаг 2. Определяем вероятность безотказной работы изделия ЭВА

$$P_o(t_{б.р}) = e^{-t_{б.р} \sum_{i=1}^m N_i \lambda_{oi}} = e^{-t_{б.р} \lambda_{o.c}}, \quad (2.3)$$

где $t_{б.р}$ — время безотказной работы.

Шаг 3. Составляем таблицу зависимости вероятности безотказной работы от времени (при $t_{б.р} \geq (0,2 \dots 0,3)$ (табл. 2.3)).

Т а б л и ц а 2.3

$t_{б.р}, ч$	100	2000	300	1000
$P_o(t_{б.р})$	0,998	0,996	0,992	0,981

По данным таблицы строится график.

Шаг 4. Рассчитываем среднее время безотказной работы модуля

$$T_{ср} = 1/\lambda_{o.c}. \quad (2.4)$$

Шаг 5. Анализируем результаты с точки зрения удовлетворения ТЗ.

На следующем этапе необходимо ответить на вопрос: предполагает ли схема электрическая принципиальная соединение разрабатываемого изделия с другими изделиями (приборами, устройствами)? Здесь необходимо указать ограничения на электрические, механические, тепловые, размерные и прочие связи между подсистемами ЭВА.

Конструктору важно проанализировать ту часть ЭЗ, которая в силу функционального, компоновочного и эргономического характера должна находиться на значительном удалении от основной части схемы.

По результатам оценочного расчета прохождения сигналов в линиях, соединяющих основную ЭЗ с удаленной частью, принимается решение о необходимости введения дополнительных согласующих элементов или об изменении протяженности линии. Эти предложения обязательно согласовываются с преподавателем.

Схему электрическую принципиальную необходимо оценить с точки зрения возможностей конструктивного исполнения или компоновки с заданными ограничениями. Для проверочных расчетов компоновки можно использовать обобщенную геометрическую модель [3]. Размеры установочных объемов $V_{\text{уст}}$ или $S_{\text{уст}}$ навесного элемента схемы ЭВА (ИМС, резистора и т. п.) --- функция геометрии этого элемента и его режима работы. При малых коэффициентах нагрузки элемента по мощности $k_{\text{нагр}} = 0,1 \dots 0,3$ можно использовать следующие рекуррентные выражения:

$$V_{\text{уст}} \approx 1,5 A_{\text{max}} B_{\text{max}} H_{\text{max}}, S_{\text{уст}} \approx 1,3 A_{\text{max}} B_{\text{max}}, \quad (2.5)$$

где A_{max} , B_{max} , H_{max} --- максимальная, нормализованная длина, ширина, высота навесного элемента.

Для рассматриваемого выше примера геометрические размеры корпусов типа 2102.14--1 (для ИМС серии К155РУ1) и типа 2103.16--1 (для ИМС серии К155ИД1) определяют по ГОСТ 17467--79.

Имея установочные размеры элементов, ограничения на размеры платы и пользуясь рекомендациями [5] (рис. 3.7, табл. 3.5), можно оценить выполнимость конструктивных требований ТЗ для 2-го конструктивного уровня.

Для расширения конструктивных требований к проектированию 3-го конструктивного уровня (блока) необходимо уточнить форму разрабатываемого изделия. Форма изделия прежде всего должна быть технически рациональной и экономически оправданной, т. е. удовлетворять требованиям технической эстетики и инженерной психологии.

Можно рекомендовать следующую последовательность уточнения формы разрабатываемого изделия:

Шаг 1. Выяснение связи формы и назначения изделия с учетом ТЗ. Необходим поиск решений формы, которая проста и выразительна, а отдельные части подчеркивают основное назначение. Выделяют такие элементы, которые имеют определяющее значение для удовлетворения назначения изделия.

Шаг 2. Определение элементов ЭЗ, устанавливаемых на лицевой панели или стенках изделия.

Шаг 3. Выбор вида формы. Возможен объемный, плоский и линейный вид формы [6, с. 47].

Шаг 4. Определение положения изделия в пространстве при оптимальном соотношении габаритных размеров изделия и размеров человека [3, 4, 6], т. е. оптимальном в соответствии с требованиями эргономики. Зрительное восприятие изделия зависит от распределения объемов изделия по координатным осям. Изделие должно восприниматься как легкое и устойчивое.

Шаг 5. Выбор фактуры поверхности изделия (гладкая, шероховатая и т. д.) и цветов.

Шаг 6. Определение соотношения размеров сторон формы, которые могут изменяться по метрическому или ритмическому соотношениям [3, с. 98—99].

Шаг 7. Выделение и взаимная компоновка главной и второстепенной частей сложной формы.

Начиная с третьего шага осуществляется варьирование компоновочных решений формы. Необходимо стремиться к поиску симметричной формы. В этом случае изделие ЭВА приобретает организованную форму с мнемоникой запоминания органов управления и информации.

Возможность реализации конструктивных требований для разработки 3-го конструктивного уровня проверяется приближенно с учетом формы изделия, ориентировочных объемов, занимаемых платами, электрическим монтажом между платами и другими изделиями, лицевой панели управления.

При необходимости (по согласованию с руководителем) оцениваются масса (1.1) и компоновочные параметры изделия (1.4)—(1.17).

Дополнительные ограничения в ТЗ могут быть прокомментированы с точки зрения дальнейшей организации проектирования. В задании на курсовой проект, например, могут встречаться следующие указания: изделие разрабатывается в качестве опытного образца; изделие представляет собой обособленную конструкцию; изделие не критично к стоимости; изделие должно соответствовать магистральной структуре микро-ЭВМ «Электроника 60М» и т. п.

В заключении этапа анализа в ПЗ следует указать ограничения, относящиеся к процессу конструирования, например заданная схема электрическая принципиальная в процессе конструирования может уточняться (для исследовательских проектов) и т. п.

2.4. АНАЛИЗ АНАЛОГА

Рассмотрим последовательность анализа аналогичного изделия на примере. Предположим, что необходимо разработать входной интерфейс мини-ЭВМ типа СМ-2. В блоке интерфейса имеется 15 плат с модулями связи. Один из модулей осуществляет связь со считывающим устройством.

В качестве конструкции, аналогичной по функциональному назначению, лабораторным условиям эксплуатации,

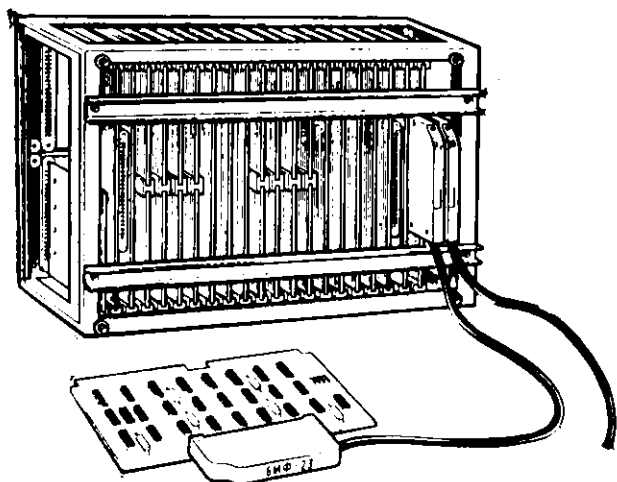


Рис. 2.3. Аналогичный блок УК АСВТ

элементной базе, можно рассматривать блок, содержащий 25 печатных плат, изображенный на рис. 2.3. На плате БИФ-23 реализуется связь считывателя информации с вычислительной машиной (ВМ) модели М-7000.

В общем случае условия эксплуатации аналогичного изделия нормированы. В соответствии с ГОСТ 20397—82 имеем изделие 3-й категории.

Одной из основных задач аналога является выделение тех средств защиты от внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, которые можно использовать в разрабатываемом изделии.

В данном случае следует обратить внимание на следующие конструктивные решения: ориентацию плат в блоке с наименьшим аэродинамическим сопротивлением вертикальному направлению охлаждающего потока; групповое креп-

ление плат планками (рис. 2.3); оптимальный шаг установки плат с учетом объемов всех плат и блока; покрытие плат лаком для защиты от воздействия влаги.

Защита конструкции аналогичного изделия от климатических факторов осуществляется в следующей последовательности:

- анализ способов обеспечения нормального теплового режима микросреды электронной аппаратуры с точки зрения температуры окружающей среды [1 ... 3, 5 ... 7];

- изучение конструктивных решений влагозащиты [2, 3];

- рассмотрение конструктивного решения, учитывающего воздействие давления [2, 3, 5];

- анализ защиты изделия от атмосферных осадков, ветра, солнечной радиации и радиоактивности [2, 3, 9].

Электрические межсоединения в аналогичном изделии выполняются в виде: полупостоянных соединений пайкой навесных элементов к плате; электрических соединителей платы с монтажным полем функционального блока; монтажных проводов для выполнения соединений неразведенных с помощью печатного монтажа; объемных жгутов.

Применяемые в аналоге способы монтажа оцениваются по:

- постоянству электрических параметров монтажа, высокой помехоустойчивости;

- надежности в условиях жестких внешних воздействий; минимальным габаритным размерам и массе;

- простоте установки и высокой ремонтопригодности; гибкости проектирования и простоте в производстве.

Постоянство электрических параметров и помехоустойчивость печатного монтажа обеспечивается выполнением при конструировании ГОСТ 23751—79. Связь БИФ-23 со считывающим устройством выполняется объемным жгутом с защитой электропроводки монтажным проводом экраном. В разрабатываемом изделии можно предложить замену объемного жгута плоским кабелем (ОСТ 4.ГО.010.009). При этом информационные проводники рекомендуется чередовать с заземленными жилами кабеля.

Ремонтопригодность аналогичного изделия определяется:

- средствами проверки функциональных и параметрических величин системы (приборами, испытательными стендами и т. п.);

- временем, необходимым для отыскания места неисправности и выяснения ее характера;

минимальными затратами времени на доступ к сменным узлам;

удобством замены узлов и их взаимозаменяемостью;

рациональным электромонтажом на всех конструктивных уровнях;

безопасностью ремонта;

условиями размещения аппаратуры на носителях и в аппаратных помещениях;

требованиями к специальному ремонтному инструменту, запасным частям и принадлежностям;

выбором средств защиты ЭВА от разрушающего действия электрических перегрузок или коротких замыканий.

Ремонтопригодность печатных плат аналога обеспечивается применением электрических соединителей.

Одним из главных качеств ремонтопригодности является несложность обслуживания, простота и оперативность операций восстановительного ремонта. Высокая ремонтопригодность отличается отсутствием сложных установочных операций и большого количества винтовых креплений.

В аналогичных изделиях ЭВА используется большое число разнообразных способов обеспечения доступа к сменным узлам (рис. 2.4 [6]).

Уровень ремонтопригодности аналога может быть оценен такими показателями, как вероятность отказов, готовность системы к работе и время выполнения работ по восстановлению надежности. Если задано среднее время ремонтов изделия, приходящееся на один отказ, с помощью вероятности отказа можно определить то время, в течение которого система должна находиться в состоянии ремонта.

Для рассматриваемого примера интенсивность отказов блока БИФ-23 не более $5 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, среднее время обнаружения и устранения отказа изделия 0,5 ч, максимальное время восстановления блока 1 ч с вероятностью 0,45.

Оценка компактности размещения аппаратуры производится по коэффициенту установки η_a , определяемому отношением площади (или объема) помещения, занятого аппаратурой с учетом всех зон обслуживания S (минимальное значение для приборной стойки равно $0,9 \text{ м}^2$), к площади (объему), занимаемой собственно приборами, $S_{\text{пр}}$, т. е.

$$\eta_a = S/S_{\text{пр}} \quad (2.6)$$

или

$$\eta_v = \frac{V_a + V_{\text{з}} + V_{\text{м}}}{V_a} = 1 + \frac{V_{\text{з}} + V_{\text{м}}}{V_a}, \quad (2.7)$$

где V_a — объем аппаратуры; V_z — объем зоны обслуживания (эксплуатации); V_m — объем зоны, необходимой для монтажа (установки приборов и ремонта).

Ремонтопригодность аналога при защите от разрушающего действия электрических перегрузок и коротких замыканий достигается использованием в цепях питания плав-

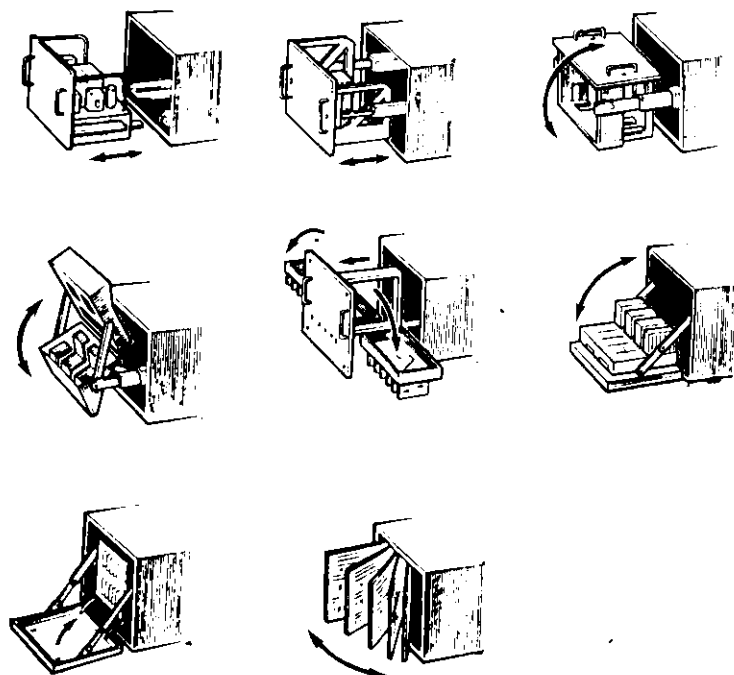


Рис. 2.4. Конструктивные способы обеспечения доступа к блокам и сменным узлам

ких предохранителей или выключающих автоматов, установленных на оба проводника. Элементы защиты размещены на шите питания и на входе стойки. Контроль за состоянием предохранителей осуществляется сигнальными индикаторами, установленными на лицевых панелях стоек и в закрытых функциональных блоках.

Безопасность ремонта конструкции аналога обеспечивается отключением напряжения питания стойки при от-

крывании двери. Рациональный монтаж цепи питания в стойке и в функциональном блоке обеспечивает защиту силовых участков. Все несущие конструкции аналога имеют скругления острых кромок и углов.

При анализе формы аналогичного изделия следует выделять такие основные характеристики, как геометрический вид, положение в пространстве (блоке, устройстве, стойке) и распределение объема изделия по координатным осям. Здесь обращает внимание на формообразующие конструкции аналога, которые помогут определить конструктивные решения формы разрабатываемого изделия. Возможности анализа формы расширяет информация нормативной и справочной литературы (например, рекомендации по применению УК СМ ЭВМ) [2, 3, 4, 6].

Оригинальность художественно-конструктивного решения аналогичной конструкции подтверждается эстетическими показателями качества ЭВМ. При этом оценивают уровень стилового решения и формы, ее функциональность и композиционную законченность, качество отделки поверхности.

Эргономические показатели качества аналога оцениваются по удобству обслуживания, его оперативности и безопасности. При оценке эргономических показателей следует руководствоваться ГОСТ 20397—82, ГОСТ 24750—81, ГОСТ 12.2.032—78 и ГОСТ 12.2.033—78.

Определение показателей производится экспертным методом действующей экспертной комиссией, состоящей из студента, руководителя проекта и преподавателя кафедры.

Оценка показателей производится по трехбалльной шкале: «хорошо» (два балла), «удовлетворительно» (один балл), «плохо» (ноль баллов). Значения групповых показателей определяются как сумма баллов, проставленных каждым экспертом по каждому показателю. Полученная оценка сравнивается с оценками других аналогов или становится базовой при разработке конструкции в соответствии с заданием на курсовой проект.

Анализ конструкции аналога (рис. 2.3) позволяет выработать дополнительные эксплуатационные требования ТЗ к разрабатываемому изделию (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Наименование показателя	Указания ТЗ на разрабатываемое изделие	Уточненное значение на основании анализа аналога
<i>Показатель назначения</i>		
Пропускная способность, Кбайт/с	В соответствии с требованиями к каналу мини-ЭВМ	200
Разрядность устройства, байт	То же	16
<i>Показатели надежности</i>		
Среднее время восстановления, мин	»	30
Коэффициент технического использования	»	0,95
<i>Показатели технологичности</i>		
Коэффициент технологичности	»	0,85
<i>Конструктивные показатели</i>		
Масса блока, кг	В соответствии с требованиями к УК	16
Масса платы, г		До 200
Материал несущих конструкций	АСВТ ЭВМ	АЛ9
Форма конструкции		Прямоугольная
<i>Показатели стандартизации и унификации</i>		
Коэффициент применяемости, %	То же	70
Коэффициент повторяемости, %	»	20
<i>Эргономические показатели</i>		
Композиция, балл	»	5
Антропометрические, балл	»	5
Физиологические и психофизические, балл	»	5

2.5. ВЫБОР МЕТОДА КОНСТРУИРОВАНИЯ

В настоящее время в конструировании ЭВА используются следующие методы [6]:

геометрический — для изделий, изготавливаемых в массовом производстве и построенных на взаимозаменяемых деталях;

машиностроительный — при проектировании несущих конструкций ЭВА всех уровней кинематических звеньев функциональных узлов, а также всех видов неподвижных соединений, дает возможность обеспечить механическую прочность при минимальном весе конструкции;

топологический — при представлении конструктивного вида электрической схемы и ее топологической связности, независимо от ее функционального содержания, для создания печатного рисунка.

В основу этих методов положено изучение видов связей в конструкции ЭВА. По способу выявления структуры связей различают следующие методы проектирования конструкций: базовый, эвристический и автоматизированный. Эти методы включают в себя названные ранее методы и отражают специфику конструирования ЭВА.

Выбор метода конструирования определяется решаемыми задачами, исходной информацией и имеющимися средствами конструирования. Конструирование электрической цепи печатной платы, блока, стойки невозможно без топологического метода конструирования. При этом схему связи изображают графом, вершины которого обозначают узлы связи или элементы схемы, а ребра, связывающие вершины между собой, — линии связи или проводники. Этот метод успешно используют при машинном разбиении схемы на модули, размещении элементов на плате, трассировке соединений и разработке топологических структур.

В соответствии с заданными конструктивным и технологическими ограничениями на этапе ТП метод топологического конструирования обеспечивает сокращение количества проводников, их длины, числа паяных соединений, выводных соединителей, минимального числа слоев, рационального разбиения ЭЗ на платы и т. д.

При разработке конструкции с использованием стандартных и унифицированных конструкций (например, по ГОСТ 20504—81) в большей степени применим геометрический метод. Для вибронегруженной аппаратуры при расчетах несущих конструкций чаще используют машиностроительный метод.

В случаях, изложенных выше, может использоваться ЭВМ. Тогда время, затраченное на курсовой проект, перераспределяется, и руководитель проекта изменяет постановку отдельных задач конструирования.

Если возникнет необходимость автоматизации проектирования, то нужно выявить условие необходимости автоматизации методов конструирования.

При автоматизации решения отдельной задачи определяют прямую экономию

$$\Delta \text{Э} \quad t_1 - t_2, \quad (2.8)$$

где t_1 — затраты на выполнение полного объема работ отдельной задачи по базовому варианту (табл. 2.5); t_2 — затраты на выполне-

Таблица 2.5. Примерные затраты времени на выполнение

Количество ИМС 3-й степени интеграции	10	12	14	16
Трудоемкость, ч	20...30	26...35	30...40	35...45

ние полного объема работ по автоматизированной обработке информации отдельной задачи на ЭВМ (табл. 2.6);

$$t_2 = T_p + T_{mp} + T_{ЭВМ}, \quad (2.9)$$

где T_p и T_{mp} — продолжительность выполнения ручных и машинно-ручных операций в условиях применения ЭВМ; $T_{ЭВМ}$ — требуемое количество машино-часов работы ЭВМ при решении отдельной задачи конструирования.

Эта экономия времени получается за счет снижения времени обработки информации в условиях применения ЭВМ (для одного изделия).

При автоматизации комплекса взаимосвязанных задач

$$\Delta Э_k = \sum_{k=1}^n (t_1 - t_2)_k, \quad (2.10)$$

где n — количество взаимосвязанных задач.

Приведенные выше показатели имеют рекомендательный характер и зависят от конкретных условий применения ЭВМ на кафедре, где выполняется проект.

Определяющим в методах конструирования ЭВА является базовый или модульный подход. В основу подхода положено деление аппаратуры на конструктивно и схемно законченные части. Причем как базовый подход, так и его разновидности (функционально-узловой, функционально-модульный и функционально-блочный) основаны на принципах агрегатирования, функциональной и размерной взаимозаменяемости, схемной и конструкторской унификации. Разновидности базового подхода конструирования связаны с различной степенью унификации (функциональных узлов, модулей, блоков).

Во вновь разрабатываемых изделиях ЭВА широкое применение находит эвристический подход, который использует обобщенный практический опыт в области конструирования ЭВА и сведения из смежных отраслей. На этапе ЭП он применяется для поиска новых технических решений. Эффективность применения методов конструирования, раз-

полного объема конструкторских работ в курсовом проекте

18	20	22	24	26	28
45...50	50...60	54...64	56...66	57...66	58...66

Таблица 26. Трудоемкость решения некоторых конструкторских задач

Наименование работ	Количество карт с исходными данными	Ориентировочные затраты времени, мин		
		Вручную	Подготовка исходных данных	Решение на ЭВМ типа ЕС 1030
Оптимальное разбиение схемы на части, выполняемые на отдельных платах	32	180	60	8
Оптимальное размещение элементов на плате	30	120	80	15
Трассировка печатных соединений	38	600	90	30
Оптимизация теплового режима	12	60	20	24
Оптимизация конструктивного решения по надежности	16	30	20	2
Расчет конструкции на механические воздействия	12	30	20	2
Расчет электромагнитных экранов	4	60	15	3
Определение уровня унификации и уровня микроминиатюризации	12	30	15	2

Примечание. Затраты времени приведены для платы, содержащей 20 ИМС средней степени интеграции.

личных подходов и методик зависит от степени использования ЭВМ.

При автоматизации конструирования чаще всего решаются задачи компоновки элементов ЭЗ, трассировки межсоединений, вычерчивания чертежей и выпуска КД (гл. 6).

По ГОСТ 23751-79 конструирование такого основного элемента конструкции ЭВА, как печатной платы, осуществляется следующими способами: ручным; полуавтоматизированным; автоматизированным.

Ручной способ конструирования предусматривает разбивку навесных элементов на функциональные группы,

размещение групп элементов на площади платы, трассировку печатных проводников (сначала на одном чертеже, затем перераспределение по проводящим слоям платы) конструктором. Ручной способ конструирования обеспечивает оптимальное распределение проводящего рисунка и сокращение количества узких мест.

Полуавтоматизированный способ предусматривает размещение навесных элементов при помощи ЭВМ при ручной трассировке печатных проводников или ручное распределение навесных элементов при автоматизированной трассировке проводников. Этот способ обеспечивает ускорение процесса конструирования при оптимальном размещении проводящего рисунка.

Автоматизированный способ конструирования предусматривает кодирование исходных данных, размещение навесных элементов и трассировку печатных проводников при помощи ЭВМ. Допускается доработка отдельных соединений вручную. Этот способ обеспечивает высокую производительность труда при изготовлении чертежей или оригиналов.

ГЛАВА 3

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ И МЕЖЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В курсовом проектировании основную трудоемкость составляет разработка печатной платы (ячейки).

Разработка конструкции печатной платы имеет следующие основные этапы:

изучение технического задания на изделие (печатный узел, блок), в состав которого входит конструируемая плата (гл. 2);

выбор или обоснование типа печатной платы;

выбор или обоснование класса точности;

выбор габаритных размеров и конфигурации печатной платы;

выбор материала основания печатной платы;

размещение навесных элементов на печатной плате;

трассировка проводников, размещение элементов про-

водящего рисунка на печатной плате, проверочные расчеты;

разработка конструкторской документации (детализовка, сборочный чертеж, слои печатной платы, перечень элементов и т. д.).

На основании требований ТЗ на изделие, в состав которого входит проектируемая печатная плата, определяют условия эксплуатации, хранения и транспортирования (§ 2.3). В зависимости от условий эксплуатации определяют груп-

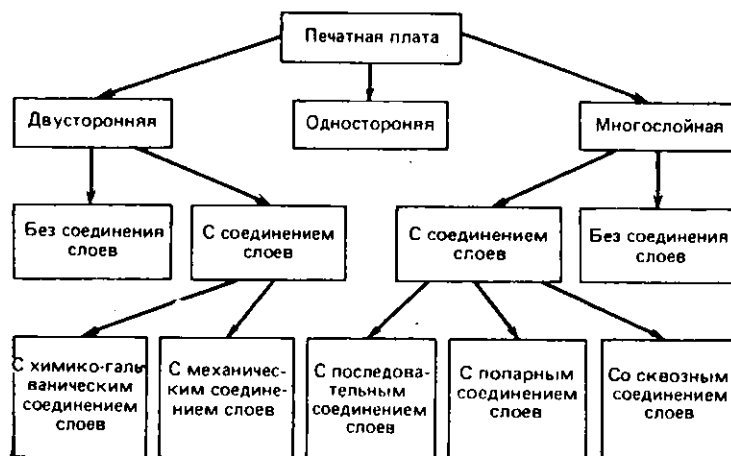


Рис. 3.1. Типы печатных плат и методы их изготовления

пу жесткости по ОСТ 4.077.000, обуславливающую соответствующие требования к конструкции платы, к используемому материалу основания, проводящему рисунку и необходимости применения дополнительной защиты от климатических, механических и других воздействий. Рассмотрим основные этапы конструирования печатной платы.

А. Изучение технического задания на изделие (печатный узел, блок) в состав которого входит конструируемая плата. Методические указания к выполнению данного этапа рассматривались в гл. 2.

Б. Выбор или обоснование типа печатной платы. По конструкции печатные платы с жестким и гибким основанием делятся на типы: односторонние, двусторонние и многослойные. Разновидности типов представлены на рис. 3.1. При выборе типа печатной платы для разрабатываемой кон-

струкции печатного узла (блока) следует учитывать технико-экономические показатели. Ориентировочное изменение трудоемкости изготовления 1 дм^2 площади печатной платы в крупносерийном производстве в зависимости от ее типа и класса точности приведено на рис. 3.2 и 3.3.

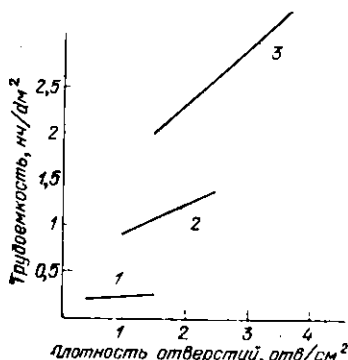


Рис. 3.2. Ориентировочное изменение трудоемкости изготовления 1 дм^2 площади печатной платы в крупносерийном производстве в зависимости от ее типа: 1 — ОПП; 2 — ДПП; 3 — МПП

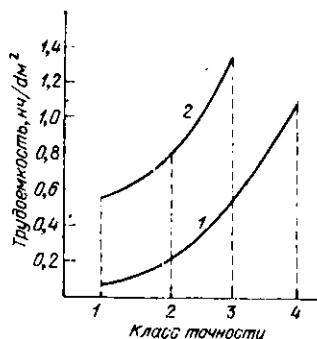


Рис. 3.3. Ориентировочное изменение трудоемкости изготовления 1 дм^2 площади печатной платы в крупносерийном производстве в зависимости от класса точности: 1 — ОПП; 2 — ДПП

Односторонние печатные платы (ОПП) характеризуются: возможностью обеспечить повышенные требования к точности выполнения проводящего рисунка; установкой навесных элементов на поверхность платы со стороны, противоположной стороне пайки, без дополнительной изоляции; возможностью использования перемычек из проводникового материала; низкой стоимостью конструкции. Поперечный разрез конструкции приведен на рис. 3.4.

Двусторонние печатные платы (ДПП) без металлизированных контактных и переходных отверстий характеризуются: возможностью обеспечить высокие требования к точности выполнения проводящего рисунка; высокими коммутационными свойствами; использованием объемных металлических элементов конструкции (арматура переходов по ГОСТ 22318—77, отрезки проволоки, припой и т. п.) для соединения элементов проводящего рисунка, расположенных на противоположных сторонах платы; низкой стоимостью конструкции. Поперечный разрез конструкции приведен на рис. 3.5.

Двусторонние печатные платы с металлизированными монтажными и переходными отверстиями характеризуются: высокими коммутационными свойствами; повышенной прочностью соединения вывода навесного элемента с проводящим рисунком платы; относительно высокой стоимостью конструкции.

Поперечный разрез конструкции приведен на рис. 3.5.
 Многослойные печатные платы (МПП) с металлизацией сквозных отверстий характеризуются: высокими коммутационными свойствами; наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью сквозных металлизированных отверстий, соединяющих толь-

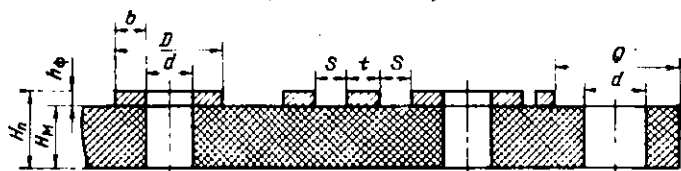


Рис. 3.4. Односторонняя печатная плата:

H_n — толщина печатной платы; H_m — толщина основания печатной платы (изоляционного материала); h_f — толщина фольги; b — гарантийный пояс; D — диаметр контактной площадки; d — диаметр отверстия; S — расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка; t — ширина печатного проводника; Q — расстояние от края платы, выреза до элемента проводящего рисунка

ко внутренние проводящие слои попарно; обязательным наличием монтажной площадки на любом проводящем слое, имеющем электрическое соединение с переходными отверстиями; предпочтительным выполнением проводящего рисунка наружных слоев по пер-

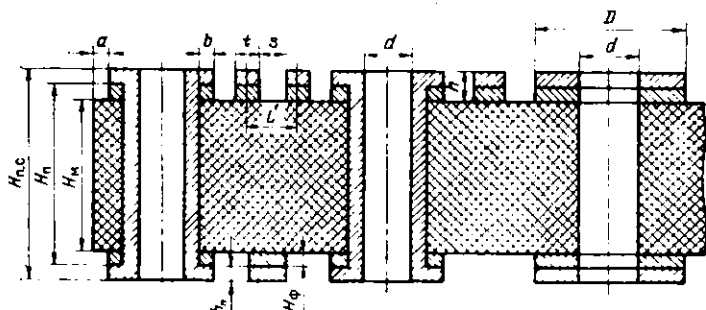


Рис. 3.5. Двусторонняя печатная плата:

$H_{гс}$ — общая суммарная толщина печатной платы; $h_{гс}$ — толщина химического гальванического покрытия; h — толщина проводящего рисунка; L' — расстояние между центрами (осями) элементов конструкции печатной платы

вому или второму классу точности или наличием на наружном слое только контактных площадок сквозных металлизированных отверстий; предпочтительным применением двустороннего фольгированного диэлектрика для изготовления внутренних проводящих слоев и одностороннего фольгированного диэлектрика для изготовления экранов и слоев питания; предпочтительным применением элементной базы со штыревыми выводами; высокой стоимостью конструк-

Поперечный разрез конструкции приведен на рис. 3.6.

Многослойные печатные платы, изготовленные методом металлизации сквозных отверстий, являются предпочтительными и для крупносерийного производства.

Многослойные печатные платы попарного прессования характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью металлизированных отверстий, соединяющих проводящие слои попарно; оптимальной четырехслойной конструкцией; предпочтительным применением элементной базы с планарными выводами; относительно высокой стоимостью конструкции.

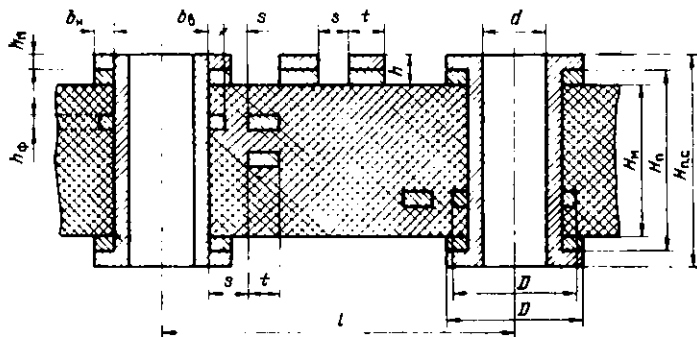


Рис. 3.6. Многослойная печатная плата:

b_n — гарантийный поясок наружного слоя; $b_в$ — гарантийный поясок внутреннего слоя

Многослойные печатные платы послойного наращивания характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью гальванически выращенных медных столбиков диаметром не менее 0,8 мм; обязательным наличием контактных площадок на всех проводящих слоях в местах прохождения гальванических столбиков; высокой трудоемкостью изготовления; очень высокой стоимостью конструкции.

Многослойные печатные платы с открытыми контактными площадками характеризуются: отсутствием межслойных соединений, использованием элементной базы как с планарными, так и со штыревыми выводами; расположением проводников, принадлежащих одной цепи, на одном проводящем слое; обязательным наличием контактных площадок под все выводы навесных элементов независимо от того, задействованы они электрически или нет; наличием расстояния между краем проводника и окном или краем печатной платы величиной не менее 0,5 мм.

Многослойные печатные платы с выступающими выводами характеризуются: отсутствием межслойных соединений; использованием элементной базы только с планарными выводами; расположением проводников, принадлежащих одной цепи, на одном проводящем слое; выходом концов проводников в окна для установки микросхем, причем количество проводников должно соответствовать количеству выводов устанавливаемых микросхем (вплоть до применения «фальш проводников», выходящих на наружные слои), наличием

расстояния между краями окна и задействованной контактной площадки размером не менее 0,5 мм, причем площадь контактной площадки должна быть не менее 5,5 мм² при присоединении к ней выступающего вывода и вывода микросхемы и 3,5 мм² при присоединении к ней только выступающего вывода; высокой трудоемкостью изготовления с применением в значительных размерах ручного труда, что ограничивает использование этой конструкции в массовом производстве.

При конструировании печатных плат с выступающими выводами следует иметь в виду, что выводы, лежащие на противоположных сторонах окон одного печатного слоя и идущие навстречу друг другу, не следует располагать на одной линии.

В курсовом проекте рекомендуется использовать ДПП.

В. Выбор или обоснование класса точности. По точности выполнения элементов конструкции печатные платы делятся на четыре класса точности. Класс точности указывают на чертеже печатной платы. Номинальные значения основных параметров элементов конструкции печатной платы для узкого места приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Номинальные значения размеров основных параметров элементов конструкции печатной платы для узкого места, мм

Условные обозначения	Класс точности			
	1	2	3	4
t	0,60	0,45	0,25	0,15
S	0,60	0,45	0,25	0,15
b_n	0,30	0,20	0,10	0,05
b_n	0,15	0,10	0,05	0,03
j^*	0,50	0,50	0,33	0,33

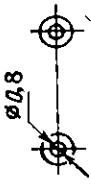
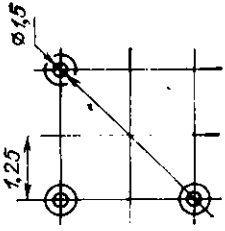
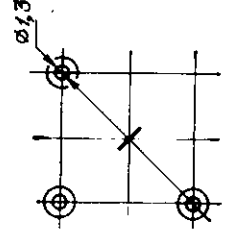
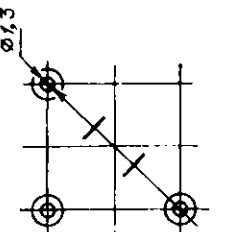
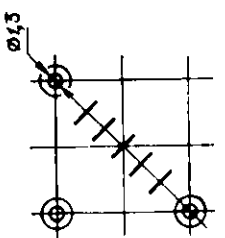
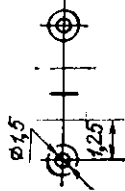
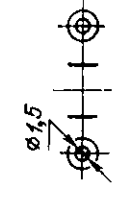
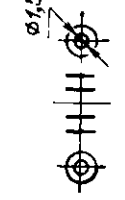
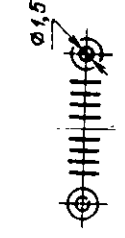
* j — отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы (H_n).

Под элементами конструкции печатной платы подразумеваются элементы проводящего рисунка.

Наиболее характерные варианты размещения элементов проводящего рисунка в узком месте для каждого класса точности печатной платы по нормам табл. 3.1 приведены в табл. 3.2.

Печатные платы 1-го и 2-го классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость. Печатные платы 3-го и 4-го классов точности требуют использования высококачественных материалов, инструмента и оборудования, ограничения

32. Варианты размещения элементов проводящего рисунка

Расстояние между отверстиями	Класс точности			
	1	2	3	4
1.25				
2.50				
3.54				
5.00				

габаритных размеров, а в отдельных случаях и особых условий при изготовлении.

Г. Выбор габаритных размеров и конфигурации печатной платы. Габаритные размеры печатных плат должны соответствовать ГОСТ 10317—79 при максимальном соотношении сторон 5:1. Рекомендуется разрабатывать печатные платы простой прямоугольной формы. Конфигурацию; отличную от прямоугольной, следует применять только в технически обоснованных случаях.

Максимальные размеры печатной платы и (или) рабочего поля групповой заготовки для каждого класса точности должны быть не более значений, приведенных в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Максимальные размеры печатной платы, мм

Вид платы	Класс точности			
	1	2	3	4
Односторонняя	До 470×470	До 470×470	До 400×400	До 240×240
Двусторонняя	До 470×470	До 470×470	До 400×400	До 180×180
Многослойная	До 470×470	До 470×470	До 240×240	До 180×180

Сопрягаемые размеры контура печатной платы должны иметь предельные отклонения по 12 качеству ГОСТ 25347—82 (СТ СЭВ145—75). Несопрягаемые размеры контура печатной платы должны иметь предельные отклонения по 14 качеству ГОСТ 25347—82 (СТ СЭВ145—75).

Толщина печатной платы определяется толщиной исходного материала и выбирается в зависимости от используемой элементной базы и действующих механических нагрузок. Предпочтительными значениями номинальных толщин одно- и двусторонних печатных плат являются 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Допуск на толщину печатной платы (H_n) устанавливают по соответствующим стандартам или техническим условиям на исходный материал (ГОСТ 23751—79). Допуск на суммарную толщину печатной платы ($H_{н,с}$) в зоне концевых печатных контактов устанавливают в зависимости от требований на соединитель.

Д. Выбор материала основания печатной платы. Материал для печатной платы выбирают по ГОСТ 10316—78,

ГОСТ 23751—79 или техническим условиям. Материалы, рекомендуемые для изготовления печатных плат, приведены в табл. 3.4.

Для печатных плат, предназначенных для эксплуатации в условиях 1-й и 2-й групп жесткости по ОСТ 4.077.000, рекомендуется применять материалы на основе бумаги, для 3-й и 4-й групп жесткости — на основе стеклоткани.

Е. Размещение навесных элементов. Размещение навесных элементов на печатной плате осуществляют в соответствии с ОСТ 4.ГО.010.030 и ОСТ 4.ГО.010.009. Размещение навесных элементов при конструировании печатных плат под автоматическую установку элементов производят в соответствии с ОСТ 4.091.124—79. Размещение навесных элементов на плате следует согласовывать с конструктивными требованиями на печатный узел, блок и устройство в целом. При расположении навесных элементов необходимо предусматривать: обеспечение основных технических требований, предъявляемых к аппаратуре (автоматизированную сборку, пайку, контроль); обеспечение высокой надежности, малых габаритных размеров и массы быстрого действия, теплоотвода, ремонтпригодности.

Выбор варианта установки элементов на плату производят в соответствии с заданными условиями эксплуатации и другими техническими требованиями к конструкции печатного узла и (или) аппаратуры.

Размещение навесных элементов можно осуществить следующим образом: принципиальная электрическая схема разбивается на функционально связанные группы, составляется таблица соединений, производится размещение навесных элементов в каждой группе; группа элементов, имеющая наибольшее количество внешних связей, размещается вблизи соединителя; группа элементов, имеющая наибольшее число связей с уже размещенной группой навесных элементов, размещается рядом и т. д.; при необходимости производится корректировка в размещении отдельных навесных элементов или, по согласованию с руководителем проекта, замена адресов связей. По ГОСТ 23751—79 необходимо выполнить рациональное размещение навесных элементов с учетом электрических связей и теплового режима с обеспечением минимальных значений длин связей, количества переходов печатных проводников со слоя на слой, паразитных связей между навесными элементами; кроме этого, если возможно, то целесообразно выполнить равномерное распределение масс навесных эле-

Таблица 3.4. *Материалы для изготовления печатных плат*

Наименование	Марка	Тип печатной платы
Гетинакс фольгированный	ГФ-1-35 ГФ-2-35 ГФ-1-50 ГФ-2-50	Односторонние и двусторонние печатные платы
Стеклотекстолит фольгированный	СФ-1-35 СФ-2-35 СФ-1-50 СФ-2-50 СФ-1Н-50 СФ-2Н-50 СФ-1-35Г СФ-2-35Г СФ-1-50Г СФ-2-50Г СФ-1Н-50Г СФ-2Н-50Г	
Стеклотекстолит фольгированный повышенной нагревостойкости	СФПН-1-50 СФПН-2-50	Односторонние и двусторонние печатные платы повышенной нагревостойкости
Стеклотекстолит	СТФЭ-1-2ЛК	Двусторонние печатные платы
Диэлектрик фольгированный для полуаддитивной технологии	Слофадит	
Диэлектрик фольгированный тонкий	ФДМ-1 ФДМ-2	Многослойные печатные платы
	ФДМЭ-1 ФДМЭ-2	Гибкие печатные платы
Стеклотекстолит фольгированный теплостойкий	СТФ-1 СТФ-2	Двусторонние, гибкие и многослойные печатные платы
Стеклотекстолит фольгированный травящийся	ФТС-1 ФТС-2	Многослойные и гибкие печатные платы
Стеклоткань прокладочная	СПТ-3 СПТ-0,25	Многослойные печатные платы

Примечание. Допускается применение других материалов, прошедших соответствующие испытания

ментов по поверхности платы с установкой элементов с большей массой вблизи мест механического крепления платы. При необходимости рекомендуется устанавливать навесные элементы на теплоотводящие металлические шины или радиаторы [3], ОСТ 4.ГО.010.009.

Шаги установки корпусных ИМС в зависимости от среднего числа задействованных выводов, при котором возможно применение ДПП с односторонней установкой корпусных ИМС или МПП с двусторонней установкой ИМС при числе слоев не менее четырех (для ручного метода конструирования), приведены в табл. 3.5.

Ж. Трассировка проводников и размещение элементов проводящего рисунка на печатной плате. При ручном методе конструирования для плат с небольшим количеством однотипных элементов (порядка 20) и средней связности схемы не более 100 цепей эффективно применение канальных алгоритмов трассировки [10].

Сущность канальных алгоритмов заключается в том, что на коммутационном поле, имеющем регулярную структуру, выделяются области прохождения трасс-каналов. В каждом канале параллельно может быть проложено не более K печатных проводников, число K называют пропускной способностью канала, а область, в которой может быть проведена одна трасса в канале, — магистралью. Каналы образуются промежутками между корпусами навесных элементов.

При трассировке по этому методу каждая цепь разделяется на прямолинейные фрагменты, которые распределяются по магистралям каналов. Фрагменты цепей в пределах канала упорядочиваются относительно друг друга по критерию минимума пересечений и максимально эффективного использования пропускной способности каналов.

В зависимости от технологии выполнения печатных плат и допустимого количества слоев для реализации внутрисхемных соединений существует несколько разновидностей этого метода. При трассировке рекомендуется выполнять все горизонтально расположенные фрагменты цепей на одной стороне плат, а вертикально расположенные на другой (т. е. вертикальные и горизонтальные каналы располагаются на различных сторонах ДПП). Переход трассы из горизонтального канала в вертикальный и обратно осуществляется с помощью сквозных металлизированных отверстий. Этот прием позволяет получать трассы минимальной длины, но ухудшает технологические и качественные ха-

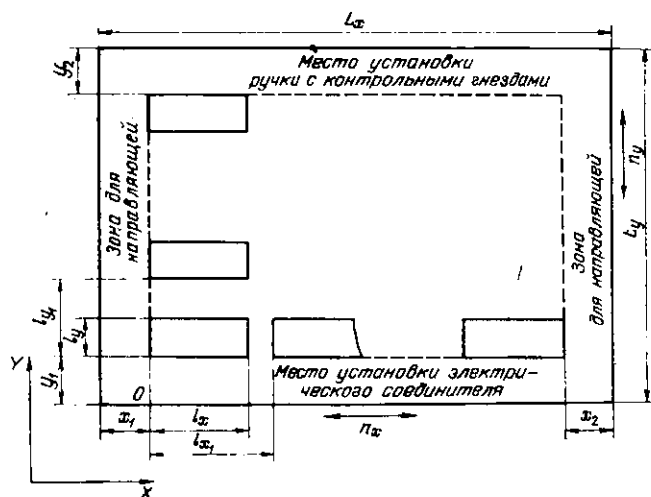


Рис. 3.7. Эскиз печатной платы

Таблица 3.5. Шаги установки ИМС в зависимости от среднего числа задействованных выводов

Корпус по ГОСТ 17467-79	Среднее число задействованных выводов в одной ИМС, не более	Шаг установки ИМС по осям, мм (рис. 3.7)	
		l_{x_1}	l_{y_1}
1203.14—5	8	22,5	15,0
	9	22,5	17,5
	11	25,0	17,5
	12	25,0	20,0
	14	27,5	22,0
1206.14—5	8	22,5	25,0
	10	25,0	25,0
	12	27,5	25,0
	14	29,0	25,0
1207.14—5	8	22,5	32,5
	10	25,0	35,0
	12	27,5	37,5
	14	29,0	39,0
1211.28—5	13	42,5	32,5
	20	47,5	32,5

Корпус по ГОСТ 17167-79	Среднее число задействованных выводов в одной ИМС, не более	Шаг установки ИМС по осям, мм (рис. 3.7)	
		l_{x_1}	l_{y_1}
	22	50,0	32,5
	24	52,5	32,5
	26	55,0	32,5
	28	57,5	32,5
2102.14—5	8	22,5	12,5
	9	22,5	15,0
	11	25,0	15,0
	12	25,0	17,5
	14	27,5	17,5
2130.24—5	18	45,5	22,5
	20	47,5	22,5
	22	47,5	25,0
	24	50,0	25,0
2207.48—5	30	50,0	40,0
	32	52,5	40,0
	34	55,0	40,0
	36	57,5	40,0
	38	60,0	40,0
	40	62,5	40,0
	42	65,0	42,5
	44	67,5	45,0
	46	70,0	45,0
	48	70,0	47,5
3101.8—5	8	12,5	12,5
	8	12,5	12,5
3103.12—5	10	15,0	17,5
	12	17,5	17,5
4105.14—5	10	12,5	15,0
	11	12,5	17,5
	12	15,0	17,5
	14	15,0	20,0
4106.16—5	14	12,5	20,0
	16	17,5	20,0
4138.42—5	42	40,0	37,5

рактеристики ДПП из-за большого числа переходных отверстий.

Для выполнения трассировки по описанному способу необходимо вычертить эскиз печатной платы в масштабе 4 : 1. на прозрачной пленке или кальке; нанести на него с двух сторон координатную сетку и обозначить посадочные места. Качество трассировки значительно повышается, если перед трассировкой по результатам размещения было выполнено построение ортогональных минимальных деревьев и получена таблица соединений. Пользуясь этой таблицей, сначала выполняют трассировку цепей простой конфигурации, реализуемых без перехода из канала в канал, а затем проводятся отрезки трасс, подходящие к контактам модулей.

Далее производится распределение фрагментов трасс по горизонтальным каналам. Эта операция требует определенного навыка. Основным критерием при распределении фрагментов трасс служит такое назначение фрагмента магистрали, при котором возникает минимальное количество конфликтных ситуаций. Если трасса соединяет контакты микросхем, расположенные с одной стороны канала, то ей выделяется ближайшая с этой стороны магистраль. Основным ограничением при распределении фрагментов трасс по магистралям является пропускная способность канала. Если в канале имеются участки, где число фрагментов трасс больше числа магистралей, то необходимо скорректировать размещение. Если трасса соединяет контакты микросхем, к которым подходят различные горизонтальные каналы, то соединения проведенных ранее горизонтальных отрезков осуществляются в вертикальных каналах. Эти две операции повторяются до тех пор, пока все трассы не будут разведены. Можно заметить, что данный метод относится к параллельно-последовательным методам трассировки [10].

На расположение элементов печатного монтажа действует ряд ограничений, связанных с технологическими особенностями производства и обеспечением необходимых электрических параметров схемы электрической принципиальной. В соответствии с вышесказанным студент выполняет конструктивно-технологические расчеты по постоянному (для цепей «питания» и «земли») и переменному (для сигнальных цепей) току, на основе которых проектируется печатный монтаж, удовлетворяющий требованиям произ-

водства, мощности, электрической прочности, помехоустойчивости (§ 3.11).

Конструктивно-технологический расчет печатных плат производится с учетом производственных погрешностей рисунка проводящих элементов, фотшаблонов, базирования, сверления, экспонирования и т. д. по ОСТ 4.010.019—81 и ГОСТ 23751—79.

Рассмотрим расчет элементов проводящего рисунка с учетом технологии изготовления печатной платы.

Стороны прямоугольной печатной платы располагают параллельно линиям координатной сетки. Шаг координатной сетки следует выбирать по табл. 3.6.

Таблица 3.6

Класс точности	1	2	3	4
Шаг координатной сетки, мм	2,50 (1,25)	2,50 (1,25)	1,25; 2,50 (0,50)	1,25; 2,50 (0,50)

Примечание. В скобках даны неpreferred значения.

Координатную сетку и начало координат располагают в соответствии с ГОСТ 2.417—78. Для плат одного размера расположение координатной сетки должно быть одинаковым.

Отверстия и элементы проводящего рисунка располагают к печатной плате относительно базы координат. При размещении на печатной плате нескольких рисунков используют только одну базу координат. Базу координат выбирают таким образом, чтобы исключить наличие отрицательных значений координат у отверстий, используемых в печатной плате.

Элементы проводящего рисунка располагают от края платы, неметаллизированного отверстия (диаметром более 1,5 мм), паза, выреза и т. д. на расстоянии не менее толщины платы с учетом допуска на линейные размеры, для плат толщиной менее 1 мм на расстоянии не менее 1 мм, если это не противоречит электрической прочности.

Диаметры монтажных и переходных отверстий металлизированных и неметаллизированных должны соответствовать ГОСТ 10317—79. (Под переходным отверстием печатной платы подразумевается отверстие, служащее для соединения проводящих слоев печатной платы.)

Предпочтительные размеры монтажных отверстий выбирают из ряда 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм, а переходных отверстий из ряда 0,7; 0,9; 1,1 мм.

Номинальные значения диаметра монтажного отверстия, мм,

$$d = d_0 + r + |\Delta d_{н.о}|, \quad (3.1)$$

где d_0 — максимальное значение диаметра вывода навесного элемента, устанавливаемого на печатную плату; r — разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого элемента (величину r рекомендуется выбирать в зависимости от допусков на диаметры выводов устанавливаемых элементов и их расположения на корпусе); $\Delta d_{н.о}$ — нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия.

Диаметры монтажных отверстий выбирают так, чтобы разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого элемента была в пределах 0,1 ... 0,4 мм.

Предельные отклонения размеров диаметров монтажных и переходных отверстий устанавливают в соответствии с табл. 3.7.

Таблица 3.7. Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий, мм

Размер отверстия мм	Наличие металли- зации	Класс точности			
		1	2	3	4
≥ 1.0	Нет	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
	Есть	$+0,10$ $-0,15$	$+0,10$ $-0,15$	$+0,05$ $-0,10$	$+0,05$ $-0,10$
> 1.0	Нет	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	Есть	$+0,15$ $-0,20$	$+0,15$ $-0,20$	$+0,10$ $-0,15$	$+0,10$ $-0,15$

Номинальное значение ширины проводника t в миллиметрах рассчитывается по формуле

$$t = t_{м.д} + |\Delta t_{н.о}|, \quad (3.2)$$

где $t_{м.д}$ — минимально допустимая * ширина проводника (определяется далее); $\Delta t_{н.о}$ — нижнее предельное отклонение ширины проводника.

Предельные отклонения ширины проводника от номинального значения устанавливают в соответствии с табл. 3.8.

Т а б л и ц а 3.8. *Предельное отклонение ширины проводника от номинального значения, мм*

Наличие покрытия	Класс точности			
	1	2	3	4
Без покрытия	+0,15 -0,15	+0,10 -0,10	+0,03 -0,05	+0,03 -0,03
С покрытием	+0,25 -0,25	+0,15 -0,10	+0,10 -0,08	+0,05 -0,05

Номинальное значение расстояния между соседними элементами проводящего рисунка S в миллиметрах определяют по формуле

$$S = S_{м.д} + \Delta t_{н.о}, \quad (3.3)$$

где $S_{м.д}$ — минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка; $\Delta t_{н.о}$ — верхнее предельное отклонение ширины проводника.

Минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка $S_{м.д}$ выбирают из расчета обеспечения электрической прочности изоляции в соответствии с ОСТ 4.010.019—81 (см. § 3.3) или по ГОСТ 23751—79.

Диаметральное значение позиционного допуска расположения проводника относительно номинального положения δl выбирают по табл. 3.9.

Т а б л и ц а 3.9. *Диаметральное значение позиционного допуска расположения проводника относительно номинального положения, мм*

Вид плат	Класс точности			
	1	2	3	4
Одно- и двусторонние	0,15	0,10	0,05	0,03
Многослойные	0,20	0,12	0,07	0,05

Центры монтажных и переходных отверстий на печатной плате располагают в соответствии с ГОСТ 10317—79.

Диаметральное значение позиционного допуска расположения центров отверстий относительно номинального положения узла координатной сетки δd выбирают по табл. 3.10.

Таблица 3.10. Диаметральное значение позиционного допуска расположения центров отверстий относительно номинального положения, мм

Размер большой стороны платы, мм	Класс точности			
	1	2	3	4
$L \leq 180$	0,20	0,15	0,08	0,05
$180 < L \leq 360$	0,25	0,20	0,10	0,08
$L > 360$	0,30	0,25	0,15	—

Предельное отклонение значения номинального расстояния между центрами двух отверстий печатной платы определяют как полусумму позиционных допусков расположения центров этих отверстий.

Диаметральное значение позиционного допуска δp расположения контактных площадок относительно его номинального положения выбирают по табл. 3.11.

Таблица 3.11. Диаметральное значение позиционного допуска расположения контактных площадок относительно номинального положения, мм

Вид платы	Размер большой стороны платы, мм	Класс точности			
		1	2	3	4
Одно- и двусторонние	$L \leq 180$	0,35	0,25	0,20	0,15
		0,40	0,30	0,25	0,20
		0,45	0,35	0,30	—
Многослойные	$180 < L \leq 360$	0,40	0,35	0,30	0,25
	$L > 360$	0,50	0,45	0,40	0,35
		0,55	0,50	0,45	—

Расчет минимального диаметра контактной площадки производят по формуле

$$D = (d + \Delta d_{н.о}) + 2b + \Delta t_{н.о} + 2\Delta d_{мр} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{н.о}^2)^{1/2}, \quad (3.4)$$

где $\Delta d_{н.о}$ — верхнее предельное отклонение диаметра отверстия; $\Delta d_{мр}$ — глубина подтравливания диэлектрика для многослойных печатных плат (принимается равной 0,03 мм).

Расчет минимального расстояния для прокладки n -го количества проводников между двумя отверстиями с контактными площадками диаметрами D_1 и D_2 производят по формуле

$$l = (D_1 + D_2)/2 + tn + S(n + 1) + \delta l, \quad (3.5)$$

где n — количество проводников; δl — допуск, который учитывается только при $n > 0$.

Центры монтажных отверстий под неформируемые выводы многовыводных элементов, межцентровые расстояния которых не кратны шагу координатной сетки, следует располагать таким образом, чтобы в узле координатной сетки находился центр по крайней мере одного из монтажных отверстий, центры монтажных отверстий под остальные выводы располагать в соответствии с требованиями конструкции устанавливаемого элемента.

Взаимное расположение монтажных отверстий под выводы навесных элементов должно соответствовать ОСТ 4ГО.010.030; ОСТ 4.091.124—79; ОСТ 4.070.010—78.

Размеры и конфигурацию крепежных и других конструктивных отверстий, например для корпуса навесных элементов, выбирают по ГОСТ 11284—75 в зависимости от требований конструкции устанавливаемого элемента. Не рекомендуется использовать более трех различных диаметров монтажных отверстий. Все отверстия на печатной плате выполняют без зенковок. Допускается у металлизированных отверстий печатных плат притупление острых кромок и частичное затягивание фольги в неметаллизированные отверстия. При расчете диаметра контактной площадки наличие притупления кромок не учитывают.

Отверстия подвергающиеся металлизации (переходные и монтажные), имеют диаметр не менее одной трети толщины платы, если последняя не меньше 0,1 мм [2]. Диаметр

монтажных отверстий после металлизации, мм, приближенно можно оценить по формуле

$$d_m = d_0 + (0,14 \dots 0,3), \quad (3.6)$$

при этом диаметр сверления отверстия под металлизацию, мм,

$$d_{св} = d_m + (0,1 \dots 0,15). \quad (3.7)$$

Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон печатной платы. На внутренних слоях многослойной печатной платы контактные площадки должны быть у тех отверстий, которые связаны электрически с проводящим рисунком данного слоя.

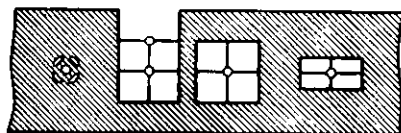


Рис. 3.8. Контактные площадки на проводниках и экранах

Неметаллизированные монтажные отверстия следует располагать в зоне контактной площадки. Допускается расположение контактной площадки рядом с неметаллизированным отверстием. При этом формула (3.5) примет вид

$$l = \frac{D_{01} + D_{02}}{2} + tn + S(n+1) + \delta l, \quad (3.8)$$

где D_{01} и D_{02} — диаметры зон вокруг отверстий, свободных от проводящего рисунка. Диаметр зоны

$$D_0 = (d + \Delta d_{н.о}) + \delta d + 2b. \quad (3.9)$$

Контактные площадки могут иметь произвольную форму. Предпочтительной является круглая форма. Контактная площадка, предназначенная под установку первого вывода многовыводного элемента, должна иметь форму, отличную от остальных. Контактную площадку неметаллизированного монтажного отверстия, рассчитанную по (3.4), следует развивать в свободную сторону с таким расчетом, чтобы ее площадь, без учета площади отверстия, для 1-го и 2-го классов была не менее $2,5 \text{ мм}^2$, для 3-го и 4-го классов не менее $1,6 \text{ мм}^2$. Контактные площадки на проводниках и экранах следует выполнять в соответствии с рис. 3.8.

Контактные площадки для автоматического контроля и диагностики следует выполнить круглой формы диамет-

ром не менее 2 мм и располагать в узлах координатной сетки с шагом 2,5 мм в свободных местах в шахматном порядке так, чтобы расстояние между центрами контактных площадок, лежащих на одной линии координатной сетки, было кратно 5, а расстояние между центрами контактных площадок, лежащих на соседних линиях координатной сетки, кратно 2,5.

Минимальный диаметр контактной площадки рассчитывают по (3.4). Числовые значения диаметров контактных площадок для рекомендуемого ряда отверстий даны в ОСТ 4.010.019—81. Ширину проводников и расстояние между элементами проводящего рисунка определяют в зависимости от электрических, конструктивных и технологических требований. Номинальные значения основных параметров рисунка печатной платы в узком месте для каждого класса точности приведены в табл. 3.1, для свободного места значения этих параметров должны быть в два раза большими.

Печатные проводники рекомендуется выполнять одинаковой ширины по нормам для свободного места на всем их протяжении. Сужать проводники до минимального значения следует только в узком месте на возможно меньшей длине. Проводники шириной более 3 мм, расположенные на печатной плате со стороны пайки и на внутренних слоях многослойной печатной платы, выполняют в соответствии с рекомендациями для конструирования экрана (ГОСТ 23751—79).

Проводники располагают равномерно по полной площади печатной платы с учетом следующих требований:

- параллельно линии координатной сетки или под углом, кратным 15° ;

- параллельно направлению движения волны припоя или под углом к нему не более 30° со стороны пайки, если проводящий рисунок не покрывают защитной маской;

- во взаимно перпендикулярных направлениях на соседних проводящих слоях печатной платы;

- перпендикулярно касательной к контуру контактной площадки.

Минимальное расстояние для прохождения проводника в узком месте рассчитывают по (3.5). Числовые значения минимальных расстояний для проложения одного проводника в узком месте даны в приложении ОСТ 4.010.019—81.

В целях уменьшения сложности проводящего рисунка допускается применение перемычек в количестве не более

5 % от общего числа печатных проводников. Экраны выполняют в одной плоскости с проводящим рисунком или как самостоятельно проводящие слои. Все экраны выполняют с вырезами. Площадь вырезов должна быть не менее 50 % общей площади экрана. Форма вырезов произвольная, определяется конструктором. На экранах наружных и внутренних слоев при попадании в зону экрана отверстия, электрически с ним не связанного, следует сделать вырез вокруг этого отверстия шириной, обеспечивающей электрическую прочность изоляции, или не менее 1,0 мм.

Печатные контакты переключателей располагают произвольно на любом участке полезной площади печатной платы. Размеры и взаимное расположение печатных контактов определяет конструкция переключателя.

Концевые печатные контакты располагают на краю печатной платы. Размеры контактных площадок и их расположение определяют из технических условий на гребенчатый соединитель. На торце печатной платы со стороны печатных контактов снимают фаску $0,3 \times 45^\circ$.

Все печатные контакты на плате должны иметь износостойчивое покрытие, которое указывают на чертеже.

3. Конструктивные покрытия. Стабильность электрических, механических и других параметров печатных плат обеспечивает использование как металлических, так и неметаллических конструктивных покрытий.

Конструктивные покрытия выбирают по ОСТ 4.ГО.014.000. Вид и толщину покрытия указывают в чертеже. В качестве конструктивных покрытий рекомендуется использовать металлы и сплавы, приведенные в табл. 3.12.

Неметаллическое конструктивное покрытие используют в следующих случаях:

- для сохранения паяемости;
- для защиты проводников и поверхности основания печатных плат от воздействия припоя;
- для защиты элементов проводящего рисунка от замыкания навесными элементами.

Для сохранности паяемости используют спирто- и ацетонканифольные лаки. Данное покрытие является технологическим, его в чертеже не указывают. Для защиты проводников и поверхности основания платы от воздействия припоя используют резистивные маски на основе эпоксидных смол, сухого пленочного резиста, холодных эмалей, оксидных пленок. Для защиты элементов проводящего рисунка от замыкания навесными элементами используют про-

Таблица 3.12

Покрытие	Толщина, мкм	Назначение покрытия
Сплав «Розе»	4—10	Защита от коррозии, улучшение способности к пайке
Сплав олово — свинец	9—12	То же
Сплав олово — кобальт	9—12	»
Серебрение	6—12	Улучшение электропроводности и повышение износостойкости переключателей и концевых контактов соединителей
Сплав серебро — сурьма	6—12	То же
Золотое	0,5—2,5	Снижение переходного сопротивления и повышение помехоустойчивости
Палладиевое	1—5	Повышение износостойкости концевых контактов и переключателей
Никелевое	3—6	Придание поверхности переключателей твердости; используется в качестве подслоя под палладиевое покрытие

кладочные стеклоткани, гетинаксы и другие изоляционные материалы.

Пример 3.1 расчета проводящего рисунка. Рассчитать минимальный диаметр контактной площадки для отверстий диаметром 1,1 мм и минимальное расстояние между центрами двух неметаллизированных отверстий при прохождении одного проводника в узком месте на односторонней печатной плате 2-го класса точности размером 200 × 200 мм.

Минимальный диаметр контактной площадки

$$D = (d + \Delta t_{в.о}) + 2b_n + \Delta t_{н.о} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{н.о}^2)^{1/2} =$$

$$= (1,1 + 0,15) + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + (0,2^2 + 0,3^2 + 0,1^2)^{1/2} = 2,12 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между центрами отверстий для прохождения проводника

$$l = (D_1 + D_2)/2 + tn + S(n+1) + \delta l = 2,12 + 0,45 + 0,45 \times \\ \times 2 + 0,1 = 3,57 \text{ мм.}$$

Рассчитать минимальный диаметр контактной площадки для металлизированного отверстия диаметром 0,9 мм и минимальное расстояние между центрами двух металлизированных отверстий при прохождении одного проводника в узком месте на двусторонней печатной плате 3-го класса точности размером 160 × 200 мм.

Минимальный диаметр контактной площадки

$$D = (d + \Delta d_{в.о}) + 2b_n + \Delta t_{в.о} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{н.о}^2)^{1/2} = \\ = (0,9 + 0,05) + 2 \cdot 0,1 + (0,1^2 + 0,25^2 + 0,08^2)^{1/2} = 1,53 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между центрами отверстия для прохождения n проводников

$$l = (D_1 + D_2)/2 + tn + S(n+1) + \delta l = 1,53 + 0,25 + 0,25 \times \\ \times 2 + 0,05 = 2,33 \text{ мм.}$$

Рассчитать минимальный диаметр контактной площадки для металлизированного отверстия диаметром 0,8 мм и минимальное расстояние между центрами двух отверстий при прохождении двух проводников в узком месте на многослойной печатной плате 3-го класса точности размером 100 × 140 мм.

Минимальный диаметр контактной площадки на наружном слое

$$D_n = (d + \Delta d_{в.о}) + 2b_n + \Delta t_{в.о} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{н.р}^2)^{1/2} + 2\Delta d_{тр} \\ = (0,8 + 0,05) + 2 \cdot 0,1 + 0,1 (0,08^2 + 0,3^2 + 0,08^2)^{1/2} + 2 \cdot 0,3 = 1,53 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр контактной площадки на внутреннем слое

$$D_n = (d + \Delta d_{в.о}) + 2b_{в.т} + \Delta t_{в.о} + 2\Delta d_{тр} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{н.о}^2)^{1/2} = \\ = (0,8 + 0,05) + 2 \cdot 0,05 + 0,1 + 2 \cdot 0,03 + (0,08^2 + 0,3^2 + 0,08^2)^{1/2} = \\ = 1,43 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между центрами отверстий для прохождения проводника на наружном слое

$$l = \frac{D_{н1} + D_{н2}}{2} + tn + S(n+1) + \delta l = \\ = 1,53 + 0,25 \cdot 2 + 0,25 \cdot 3 + 0,07 = 2,85 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между центрами отверстия для прохождения проводника на внутреннем слое

$$l = \frac{D_{в1} + D_{в2}}{2} + tn + S(n-1) + \delta l = \\ = 1,43 + 0,25 \cdot 2 + 0,25 \cdot 3 + 0,07 = 2,75 \text{ мм.}$$

И. Проверка электрических параметров проводников печатного рисунка. При необходимости электрическое сопротивление проводников с покрытием $R_{\text{покр}}$ определяют по формуле

$$R_{\text{покр}} = \frac{\rho}{h} \sum_{i=1}^k \frac{l_i}{t_i}, \quad (3.10)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление; h — толщина проводника с покрытием; k — количество участков печатного проводника на его расчетной длине, имеющих различную ширину; l_i — длина i -го участка печатного проводника шириной t_i ; t_i — ширина печатного проводника на i -м участке.

При определении сопротивления проводников, имеющих дополнительное покрытие толщиной менее 12 мкм с относительно высоким удельным сопротивлением (например, никель, олово, палладий), как правило, рассчитывают только сопротивление медного слоя, а сопротивление покрытий не принимают во внимание. При толщине дополнительного по-

Таблица 3.13

Металл	Удельное электрическое сопротивление, 10^{-8} Ом.м.
Медная фольга	1,72
Гальваническая медь	1,90
Химическая медь	2,80
Золото	2,22
Палладий	10,80
Никель	7,80
Серебро	1,59

крытия более 12 мкм сопротивление проводника определяют как сумму сопротивлений отдельных слоев. Сопротивление медного проводника с дополнительным медным покрытием рассчитывают исходя из их суммарной толщины. Удельное электрическое сопротивление наиболее часто применяемых металлов приведено в табл. 3.13.

Расчет электрического сопротивления печатного проводника без покрытия $R_{\text{б, покр}}$ производят по формуле

$$R_{\text{б, покр}} = \sum_{i=1}^k R_i l_i, \quad (3.11)$$

где R_i — электрическое сопротивление i -го участка печатного проводника постоянной ширины и толщины, определяемое для заданных значений температуры по графику на рис. 3.9.

Для печатных плат, критичных к рассеиваемой мощности с их поверхности, и проводников, допускающих прохождение тока большой плотности, нагрузочную способность по току следует выбирать с использованием графика, представленного на рис. 3.10, где S_{np} – сечение проводника. На графике дана нагрузочная способность по току одиночных проводников постоянной ширины, расположенных на

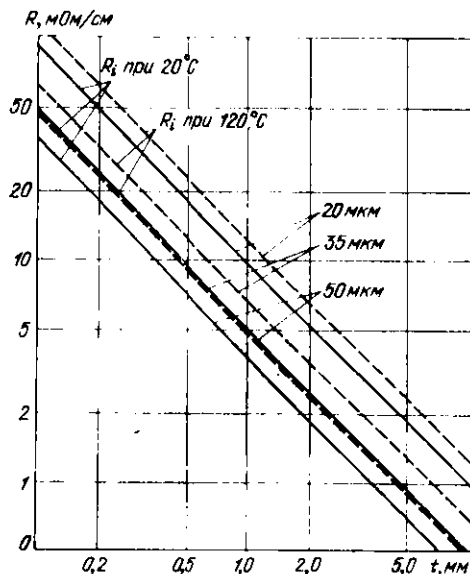


Рис. 3.9. Электрическое сопротивление l -го участка печатного проводника постоянной ширины и толщины, определяемое для заданных значений температуры

расстоянии, большем, чем ширина проводников, при нормировании их перегрева до различных температур в условиях естественной конвекции.

Допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка следует выбирать из условий допустимого превышения температуры проводника над температурой окружающей среды. Например, для медного проводника толщиной $h = 35 \text{ мкм}$, шириной $l = 1 \text{ мм}$ при нагреве на 20°C нагрузочная способность по току примерно $I = 3 \text{ А}$ (см. рис. 3.10).

Для проводников, имеющих дополнительное металлическое покрытие $h_{\text{н}} < 12 \text{ мкм}$, за толщину проводника при-

нимают толщину основного проводящего слоя (фольги). Для проводников, имеющих дополнительное покрытие меди толщиной более 12 мкм, за толщину принимают суммарную толщину h основной и дополнительно осажденной меди.

Допустимую токовую нагрузку следует уменьшить на 15 % для проводников, расположенных на расстоянии, равном или меньшем их ширины, и выполненных полуаддитивным или аддитивным методом.

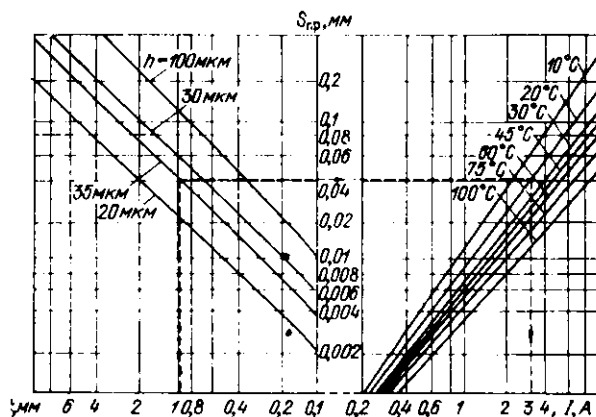


Рис. 3.10. Нагрузочная способность по току

Проведенный расчет в § 3.1.И, Ж дает оценку (снизу) ширины проводников печатного рисунка в основном с учетом технологических возможностей конкретного производства, конструирования. Далее необходимо проверить параметры проводников исходя из условий протекания по ним тока. Выполняются расчеты по постоянному и переменному току.

Расчет по постоянному току практически выполняется для цепей питания и «земли». Необходимо оценить наиболее важные электрические свойства печатных плат по постоянному току: нагрузочную способность проводников по току, сопротивление изоляции и диэлектрическую прочность основания платы. Практически сечение проводника рассчитывают по допустимому падению напряжения U_n на проводнике:

$$U_n = \rho \frac{I_n}{h_{\Phi} l} I_{\Pi}. \quad (3.12)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника (можно использовать данные табл. 3.13 или 3.14), Ом·мм²/м; h_{ϕ} , t , l_{ϕ} — соответственно толщина фольги, ширина и длина проводника, мм; I_{Π} — ток через проводник (определяется из условий работы схемы электрической принципиальной), А.

Для электронных логических схем допустимое падение напряжения в цепях питания и «земли» не должно превышать 1—2 % от номинального значения подводимого на-

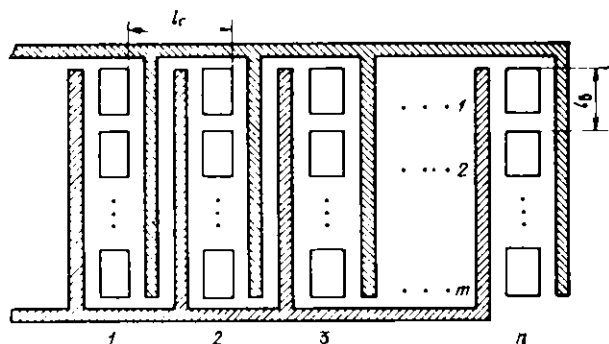


Рис. 3.11. Схема разводки цепей питания и «земли»

пряжения E_{κ} , поэтому требуемое сечение печатного проводника шины питания и «земли» вычисляется по формуле

$$S_{\Pi, \pm} \geq \rho \frac{I_{\Pi}}{(0,01 \dots 0,02) E_{\kappa}} I_{\Pi}, \quad (3.13)$$

где $S_{\Pi, \pm} = h_{\phi} t$ — сечение печатного проводника шины «земли».

Пример 3.2. Рассчитаем проводники питания и «земли» печатной платы, на которой устанавливаются 100 микросхем в 10 вертикальных и 10 горизонтальных рядах. Шаг установки корпусов в горизонтальном ряду составляет 10 мм, в вертикальном — 20 мм, мощность, потребляемая каждой микросхемой, 100 мВт, напряжение источника питания 5 В, толщина катаной фольги 35 мкм.

В общем случае схема разводки цепей питания и «земли» показана на рис. 3.11, расчетная схема — на рис. 3.12.

На рис. 3.12 микросхема моделируется источником тока $I_{\text{мкс}}$, значение которого постоянно и не зависит от изменения напряжения источника питания из-за малости изменения последнего.

Таблица 3.14. Сопротивление печатных проводников длиной 1 м (по ГОСТ 23751—79)

Толщина фольги, мм	Минимальная толщина печатного проводника, мкм	Метод изготовления печатных плат или слоев МПП	Сопротивление, Ом, не более, при ширине проводника, мм													
			0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,50	2,00	3,00	
20	Химический	6,60	5,00	4,00	3,30	2,50	2,00	1,66	1,45	1,25	1,00	0,66	0,50	0,33		
35		3,80	2,85	2,29	1,90	1,42	1,10	0,95	0,81	0,71	0,57	0,38	0,28	0,19		
50		2,66	2,00	1,60	1,33	1,00	0,80	0,66	0,57	0,50	0,40	0,26	0,20	0,13		
20	Комбинированный позитивный	4,10	3,10	2,46	1,90	1,50	1,20	0,90	0,90	1,10	0,60	0,70	0,30	0,18		
35		2,80	2,10	1,63	1,40	1,05	0,80	0,70	0,55	0,60	0,40	0,28	0,27	0,14		
50		2,14	1,60	1,28	1,10	0,80	0,60	0,50	0,50	0,40	0,32	0,20	0,16	0,10		
—	35	Электрохимический	10,66	8,00	6,40	5,33	4,00	3,20	2,66	2,28	2,00	1,60	1,06	0,80	0,53	

Для наихудшего случая, когда все ИМС на плате потребляют максимальные токи, напряжение на проводниках питания и «земли» m -й ИМС n -го ряда (рис. 3.12) будет

$$u = u_{II} + u_n^* + u_a + u_3^*, \quad (3.14)$$

$$u = 2 \left[mn I_{\text{ИМС}} R_{l_r} + m(n-1) I_{\text{ИМС}} R_{l_r} + \dots + m I_{\text{ИМС}} R_{l_r} \right] + \left[m I_{\text{ИМС}} R_{l_v} + (m-1) I_{\text{ИМС}} R_{l_v} + \dots + I_{\text{ИМС}} R_{l_v} + m I_{\text{ИМС}} R_{l_v} \right] = I_{\text{ИМС}} \left[\frac{2m(n+1)n}{2} R_{l_r} + \frac{(m+1)m+2m}{2} R_{l_v} \right], \quad (3.15)$$

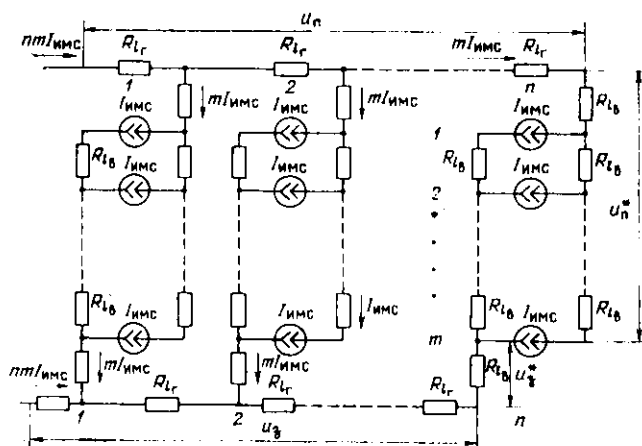


Рис. 3.12. Расчетная схема разводки цепей питания и «земли»

где u_{II} , u_n^* , u_a , u_3^* — падение напряжения на проводниках питания и «земли»; m , n — количество вертикальных и горизонтальных рядов;

$$R_{l_r} = \rho l_r / h_{\phi} t; R_{l_v} = \rho l_v / h_{\phi} t$$

— активное сопротивление соответственно горизонтального и вертикального участков проводника; l_r , l_v — длина горизонтального и вертикального участков проводника питания и «земли»; $I_{\text{ИМС}}$ — ток, потребляемый ИМС; $P_{\text{ИМС}}$ — мощность ИМС.

Раскрывая в (3.15) выражения R_{l_r} , R_{l_v} и $I_{\text{имс}}$ (разрешив (3.15) относительно l), имеем

$$l \geq \frac{P_{\text{имс}}}{0,01E_k^2} \frac{\rho}{h_{\phi}} \left[mp(n+1)l_r + \frac{m^2+3m}{2}l_v \right]. \quad (3.16)$$

Подставляя исходные данные в (3.16), получаем

$$l \geq \frac{0,1 \cdot 0,017}{0,01 \cdot 25 \cdot 0,035} (1100 \cdot 0,01 + 65 \cdot 0,02) \geq 2,5 \text{ мм.}$$

Пример 3.3. Для исходных данных примера 3.2 найдем оптимальное размещение ИМС, для которого ширина шин питания и «земли» будет минимальной.

Подставив $n = N/m$ в (3.16) и продифференцировав его по m , найдем оптимальное значение m

$$\frac{\partial l}{\partial m} = \frac{P_{\text{имс}}}{0,01E_k^2} \frac{\rho}{h_{\phi}} \left(-\frac{N^2}{m^2} l_r + l_v m + 1,5l_v \right). \quad (3.17)$$

Отсюда

$$m^3 + 1,5m^2 - N^2 l_r / l_v = 0. \quad (3.18)$$

Подставляя $N = 100$, $l_r = 0,01$ и $l_v = 0,02$ м в (3.18), получаем уравнение

$$m^3 + 1,5m^2 - 5000 = 0.$$

Разрешив это уравнение, получим $m_{\text{опт}}$. Причем m должно иметь целочисленное значение. Решение уравнения имеет целочисленные значения аргумента, а изменение знака функции позволит определить значение одного из корней уравнения (табл. 3.15).

Т а б л и ц а 3.15

Значение аргумента	12	14	16	17	18
Знак функции	—	—	—	+	+

Получаем $m_{\text{опт}} = 17$ и $n_{\text{опт}} = 6$, минимальная ширина проводника питания и «земли» будет 2,1 мм, что почти на 20 % меньше, чем в первом варианте размещения.

Количество контактов n_k разъёмного соединителя косвенного сочленения, осуществляющего подвод напряжения питания и «земли», определяется по формуле

$$n_k = S_{\text{п.з}} / \pi d_a h_{\phi}, \quad (3.19)$$

где d_a — диаметр вывода элемента, мм; h_{ϕ} — толщина фольги, мм; $S_{\text{п.з}}$ — сечение печатного проводника шины питания и «земли».

Для соединителей прямого сочленения количество контактов

$$n_{\text{п}} = S_{\text{п.з}}/S_{\text{к.п}}, \quad (3.20)$$

где $S_{\text{к.п}}$ — площадь контактирования контактной пары соединителя.

Пример 3.4. Определим количество контактов соединителя ГРПМ-1 — 61Ш1 для подключения шины питания и «земли» при $S_{\text{п.з}} = 3 \cdot 0,035 \approx 0,1 \text{ мм}^2$ и $S_{\text{к.п}} = 5 \text{ мм}^2$. Получаем $n_{\text{п}} = 0,1/5 = 0,02$, принимаем $n_{\text{п}} = 1$.

Требования к электрическим параметрам печатных плат и ГПК необходимо выполнять по ГОСТ 23751—79.

Плотность электрического тока в печатном проводнике не должна превышать $20 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ для ОПП, ДПП и наружных слоев МПП, $1,5 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ — для внутренних слоев МПП. Допустимое рабочее напряжение между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях печатной платы, следует выбирать по табл. 3.16 независимо от наличия защиты электроизоляционным лаком. Напряжение пробоя лакированных плат определяется электрической прочностью лакового покрытия. Допустимое рабочее напряжение между элементами проводящего рисунка, расположенными в одном слое, следует выбирать по табл. 3.17.

Таблица 3.16. Рабочее напряжение, В

Расстояние между элементами проводящего рисунка печатной платы, мм	Гетинакс фольгированный (ГФ)	Стеклотекстолит фольгированный (СФ)
$0,10 < X \leq 0,20$	—	25
$0,20 < X \leq 0,30$	—	50
$0,30 < X \leq 0,40$	75	100
$0,40 < X \leq 0,50$	150	200
$0,50 < X \leq 0,75$	250	350
$0,75 < X \leq 1,50$	350	500
$1,50 < X \leq 2,50$	500	850

Значения допустимого электрического тока для печатных проводников по ГОСТ 23751—79 приведены в табл. 3.18.

Проверочные расчеты по постоянному току и оценка электрических параметров печатных плат могут привести к изменению рисунка и ширины печатного проводника. Поэтому при ограниченном числе слоев печатной платы

Таблица 3.17. Рабочее напряжение, В

Расстояние между элементами про- водящего рисунка печатной платы, мм	Воздействующие факторы							
	$t = 20$ 25°C		Относительная влажность $93 \pm 3\%$ при $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ в те- чение 48 ч		Пониженное атмо- сферное давление			
					53 600 Па (400 мм рт. ст.)		666 Па (5 мм рт. ст.)	
					ГФ	СФ	ГФ	СФ
$0,15 < X \leq 0,20$	—	25	—	15	—	20	—	10
$0,24 < X \leq 0,30$	30	50	20	30	25	40	20	30
$0,30 < X \leq 0,40$	100	150	50	100	80	110	30	50
$0,40 < X \leq 0,75$	150	300	100	200	110	160	58	80
$0,70 < X \leq 1,20$	300	400	230	300	160	200	80	100
$1,20 < X \leq 2,00$	400	600	300	360	200	300	100	130
$2,00 < X \leq 3,50$	500	830	360	430	250	430	110	160
$3,50 < X \leq 5,00$	660	1160	500	600	350	560	150	210
$5,00 < X \leq 7,50$	1160	1500	660	830	500	660	200	250
$7,50 < X \leq 10,00$	1300	2000	830	1160	560	1000	230	300
$10,00 < X \leq 15,00$	1800	2300	1160	1600	660	1160	300	330

Примечание. Цепи с напряжением более 250 В в МПП применять не рекомендуется. Цепи с напряжением больших значений, указанных в табл. 3.17, в печатных платах применять не рекомендуется.

трассировку сигнальных цепей рекомендуется выполнять в последнюю очередь. В соответствии с рекомендациями [9] трассировку цепей питания и «земли» целесообразно проводить в отдельных слоях. Это, конечно, увеличивает сложность печатной платы, но повышает помехозащищенность и электрическую прочность плат.

Для сигнальных цепей расчет по постоянному току не нужен. Минимальная ширина проводника будет диктоваться технологическими возможностями производства (ОСТ 4.010.019 81, ГОСТ 23751 79).

Расчет по переменному току выполняется для сигнальных цепей.

К. Оценка помехоустойчивости. Для оценки помехоустойчивости изделий ЭВА на печатной плате определяют емкостную и индуктивную составляющие паразитной связи, которые зависят соответственно от паразитной емкости C между печатными проводниками и паразитной взаимной индукции M между ними.

Паразитная емкость между двумя печатными проводниками

$$C = C_{\text{пор}} L_d, \quad (3.21)$$

Таблица 3.18

Толщина фольги, мм	Минимальная	Метод изготовления	Допустимый электрический ток, А, при ширине проводника, мм													
			0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,50	2,00	3,00	
20	—	Химический (внутренние слои МПП)	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,30	0,45	0,60	0,90	
35	—		0,08	0,10	0,13	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,42	0,53	0,74	1,05	1,58	
50	—		0,11	0,15	0,19	0,23	0,30	0,37	0,45	0,53	0,60	0,75	1,13	1,50	2,25	
20	—	Химический (наружные слои ОП, ДПП)	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,40	0,60	0,80	1,20	
35	—		0,11	0,14	0,18	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,70	1,05	1,40	2,10	
50	—		0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,50	2,00	3,00	
20	75	Комбинированный позитивный	0,23	0,30	0,38	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,50	2,25	3,00	4,50	
35	80		0,24	0,32	0,40	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28	1,60	2,40	3,20	4,80	
50	95		0,29	0,38	0,48	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,90	2,85	3,80	5,70	
—	35	Электрохимический	0,11	0,14	0,18	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,70	1,05	1,40	2,10	

где l_1 — длина взаимного перекрытия проводников, см,

$$C_{\text{пог}} = \kappa_{\text{п}} \epsilon' \quad (3.22)$$

— погонная емкость между двумя проводниками (табл. 3.19, 3.20), пФ/см; $\kappa_{\text{п}}$ — коэффициент пропорциональности (вы-

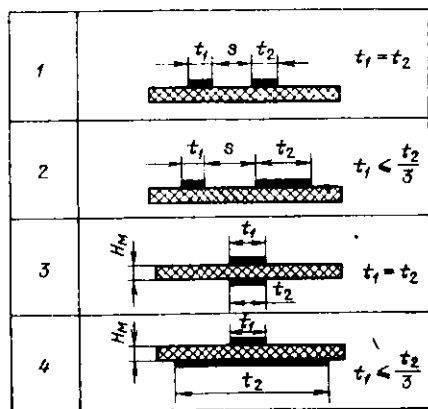
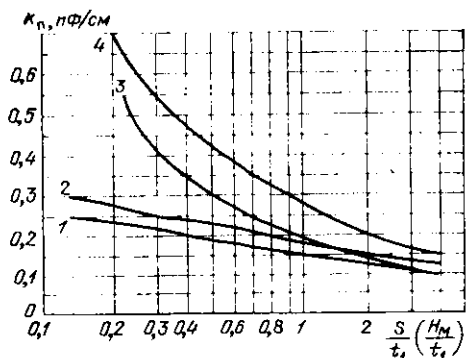


Рис. 3.13. Коэффициент пропорциональности $\kappa_{\text{п}}$

бирается по графику ОСТ 4.ГО.10.009, изображенному на рис. 3.13), пФ/см; ϵ' — диэлектрическая проницаемость среды для проводников, расположенных на поверхности платы или внутри слоев МПП, определяется по формуле

$$\epsilon' = (\epsilon_{\text{в}} + \epsilon_{\text{н}})/2, \quad (3.23)$$

Таблица 3.19. Значения погонных емкостей для печатных проводников, расположенных друг под другом на соседних слоях, пФ/см

Ширина проводников, мм	Двусторонняя печатная плата толщиной 1,5 мм	МПП с толщиной изоляционного слоя, мм		
		0,15	0,25	0,50
0,2	0,54	1,40	1,05	0,75
0,3	0,60	1,86	1,35	0,78
0,4	0,66	2,19	1,62	1,05
0,5	0,72	2,55	1,86	1,20
0,6	0,75	2,70	2,02	1,35
0,8	0,90	3,90	2,25	1,62
1,0	0,96	—	2,76	1,86
1,5	1,20	—	—	2,28
2,0	1,60	—	—	2,76
5,0	2,60	—	—	—

Примечание. ϵ_r — диэлектрическая проницаемость основания двусторонних печатных плат (из стеклотекстолита) и межслойной изоляции МПП (ФДМТ, ФДМ, СПТ, ФП), изготовленных по методам металлизации сквозных отверстий, попарного прессования, комбинированным методом: $\epsilon_r = 6 \pm 10\%$.

Таблица 3.20. Значения погонных емкостей для соседних печатных проводников, расположенных на одном слое, пФ/см

Ширина проводника, мм	Зазор между проводниками, мм	Двусторонние печатные платы		Внутренние слои МПП, $\epsilon' = 6,0$
		нелакированные, $\epsilon' = 3,5$	лакированные, $\epsilon' = 5,0$	
0,2	0,2	0,53	0,75	0,90
0,2	0,6	0,35	0,50	0,60
0,3	0,3	0,53	0,75	0,90
0,3	0,4	0,47	0,68	0,81
0,3	0,5	0,44	0,63	0,75
0,3	0,6	0,42	0,60	0,72
0,3	1,0	0,33	0,48	0,57
0,3	1,5	0,32	0,45	0,54
0,4	0,3	0,58	0,83	0,99
0,4	0,4	0,53	0,75	0,90
0,5	0,3	0,63	0,90	1,08
0,5	0,5	0,53	0,75	0,90
0,6	0,2	0,70	1,00	1,20
0,6	0,3	0,67	0,95	1,14
0,6	0,4	0,60	0,85	1,02
0,6	0,5	0,56	0,80	0,96
0,6	0,6	0,53	0,75	0,90
0,6	1,0	0,46	0,65	0,78
0,6	1,5	0,39	0,55	0,66

Примечания. 1. Для лаков УР 231 и ЭП9111 $\epsilon_r = 4$.
2. Внутренние слои МПП изготовлены методом металлизации сквозных отверстий, попарного прессования или комбинированным методом.

где ϵ_n — диэлектрическая проницаемость материала платы; ϵ_n — диэлектрическая постоянная воздуха; для печатных плат, покрытых лаком

$$\epsilon' = (\epsilon_n^* + \epsilon_n)/2, \quad (3.24)$$

где ϵ_n^* — диэлектрическая проницаемость лака.

Паразитная емкость проводника в системе из трех и более проводников определяется как сумма паразитных емкостей пар проводников.

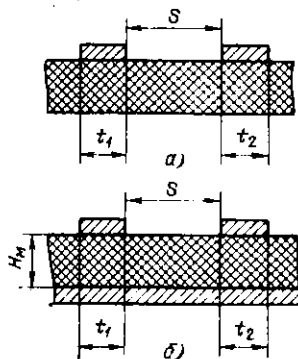


Рис. 3.14. Параллельно расположенные проводники:
а — для платы без экранирующей плоскости;
б — для платы с экранирующей плоскостью

Паразитная взаимоиנדукция между печатными проводниками M , нГн, определяется по формулам:

для платы без экранирующей плоскости (рис. 3.14, а)

$$M = 2l_2 \left[\ln \frac{2l_2}{S + 0.5(t_1 + t_2)} - 1 \right], \quad (3.25)$$

для платы с экранирующей плоскостью (рис. 3.14, б)

$$M = 2l_2 \left[\frac{S + 0.5(t_1 + t_2)}{H_n} + \ln \frac{2l_2}{S + 0.5(t_1 + t_2)} \right], \quad (3.26)$$

где t_1 , t_2 — ширина печатных проводников; l_2 — длина печатного проводника, см; $\ln$ — натуральный логарифм.

Индуктивность печатного проводника

$$L = L_{\text{пог}} l_2, \quad (3.27)$$

где $L_{\text{пог}}$ — погонная индуктивность печатного проводника, мкГн/см (определяется в соответствии с ОСТ 4.ГО.010.009 по рис. 3.15).

Для проверочных расчетов допустимых паразитных связей на печатных платах следует учитывать динамическую

помехоустойчивость применяемых цифровых микросхем или снижение усиления аналоговых микросхем. Паразитные C и L не должны превышать допустимые значения.

Статическая и динамическая помехоустойчивости базовых логических и триггерных элементов (параметры чувствительности и коэффициенты усиления аналоговых ИМС и микросборок) являются одним из основных факторов при определении допустимых значений паразитных связей на печатных платах. При этом возможно два случая:

1) ложное срабатывание, когда помеха, сформированная на печатных платах, может привести к переключению ИМС, не предусмотренному алгоритмом работы функционального узла;

2) сбой работы ИМС по предусмотренному алгоритму, когда сигнал помехи накладывается на информационный сигнал и препятствует нормальному функционированию.

Динамическая помехоустойчивость базовых ИМС в случае ложного срабатывания характеризуется значениями амплитуды импульса помехи $U_{ном}$ и длительности помехи $\tau_{ном}$, при которых еще не происходит переключений RS-триггера.

Допустимые значения амплитуды $U_{ном}$ и длительность импульсов помехи $\tau_{ном}$ для некоторых серий цифровых ИМС, определенные экспериментально, приведены в табл. 3.21.

При длительности информационного сигнала

$$t_{инф} \geq 5t_{з.распр.ср} \quad (3.28)$$

где $t_{з.распр.ср}$ — среднее время задержки распространения сигнала;

$$t_{з.распр.ср} = (t_{\phi_1} + t_{\phi_2})/2, \quad (3.29)$$

где t_{ϕ_1} , t_{ϕ_2} — длительность фронтов сигнала, следует учитывать ложное срабатывание ИМС; при этом обеспечивается условие отсутствия сбоя сигнала.

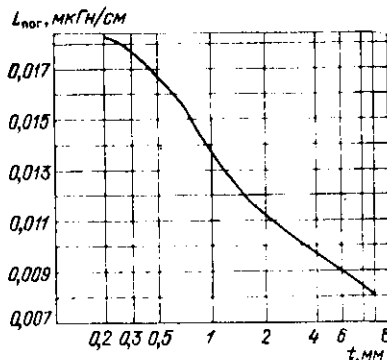


Рис. 3.15. Погонная индуктивность печатного проводника

Таблица 321. Значения амплитуд импульсных помех. $U_{\text{пом}} = I_{\text{ном}}, B$

Серия ИМС	Длительность импульсов помех, мс															800— 2400
	10	20	40	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	700	
114	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6	0,55	0,55	0,48— 0,13
130	1,8	1,6	1,4	1,1	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
133	—	2,0	1,4	1,3	0,9	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
134	—	—	—	—	—	1,9	1,85	1,8	1,73	1,68	1,63	1,55	1,48	1,46	1,46	1,46
137	0,45	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
138	0,50	0,4	0,35	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
155	—	—	2,0	1,7	1,4	0,95	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
187	1,35	1,34	1,26	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
211	—	—	—	—	—	0,65	0,63	0,6	0,55	0,5	0,45	0,35	0,26	0,24	0,22	0,20— 0,10
217	—	2,3	2,0	1,75	1,6	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
229	2,5	1,6	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
230	—	2,2	2,0	1,83	1,65	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
231	—	—	—	—	—	—	—	1,9	0,72	0,66	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
240	—	—	—	—	—	1,5	1,4	1,3	1,28	1,22	1,17	1,0	0,95	0,9	0,9	0,9

Допустимые значения паразитной емкости между двумя соседними (сигнальными) печатными проводниками при сбое сигнала для некоторых серий цифровых ИМС приведены в табл. 3.22.

Допустимые значения паразитной емкости C_d для случая ложного срабатывания цифровых ИМС приведены в табл. 3.22 и 3.23.

Таблица 3.22. Допустимые значения паразитной емкости между двумя соседними проводниками при сбое сигнала, пФ

Серия ИМС	Длительность импульсного сигнала, мс			
	$2t_{\text{з.распр.ср}}$	$3t_{\text{з.распр.ср}}$	$4t_{\text{з.распр.ср}}$	$5t_{\text{з.распр.ср}}$
114	10	15	20	25
130	4	12	20	35
133	10	25	40	50
134	15	25	37	50
136	6	20	45	60
137	5	15	40	80
138	5	15	40	80
155	10	25	40	60
187	10	20	30	45
211	10	15	20	30
217	5	8	10	20
229	10	20	30	40
230	10	22	35	50
231	10	15	30	50
240	15	22	30	40

Примечание. Значения C_d определены при условии использования микросхем одной серии.

Таблица 3.23. Допустимые значения паразитной емкости, пФ, при ложном срабатывании

Серия ИМС	114	130	133	134	136	137	138	155	187	210	217	229	230	231	240
C_d , пФ	25	35	50	50	60	80	80	60	45	30	20	40	50	50	40

Для аналоговых ИМС допустимые значения паразитной емкости между двумя соседними (сигнальными) проводниками получены экспериментально. Для серии ИМС 140УД1 -

140УДЗ, 140УД5, $C_d = 19$ пФ; снижение $k_v = 10\%$ для ИМС 740УД1—740УД3, 740УД5 $C_d = 25$ пФ; снижение $k_v = 10\%$. В табл. 3.24 представлены значения допустимых значений индуктивности шин заземления L_d в зависимости от протекающего в них импульсного тока I_m , мА.

Таблица 3.24. Допустимая индуктивность шин заземления, мкГн

Серия микросхе- мы	Значения импульсного перепала тока в шине заземления, мА												
	200	180	160	140	120	100	90	80	60	40	20	15	10
115	0,33	0,44	0,55	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	—	—	0,04	0,14	0,27	0,46	0,54	0,63	—	—	—	—	—
133	—	—	0,04	0,14	0,27	0,45	0,54	0,63	—	—	—	—	—
134	0,08	0,12	0,18	0,27	0,40	0,60	—	—	—	—	—	—	—
136	0,16	0,23	0,32	0,44	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—
137	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,08	0,40	0,60	—
138	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,22	0,37	0,62
155	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,36	0,40	0,45	—	—	—	—	—
187	—	—	—	—	—	—	—	—	0,08	0,25	0,60	—	—
211	—	—	—	—	0,06	0,08	0,10	0,15	0,26	0,35	0,52	—	—
217	—	—	—	—	—	0,05	0,10	0,16	0,25	0,40	0,55	—	—
229	—	—	—	—	—	—	0,12	0,27	0,35	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	—	0,30	0,42	0,60	—	—	—	—
231	—	—	—	—	0,35	0,40	0,60	—	—	—	—	—	—
240	—	—	0,08	0,12	0,32	0,60	—	—	—	—	—	—	—

Назначение проверочного расчета помехоустойчивости печатных плат (ячеек) заключается в определении допустимых длин проводников в зависимости от учета:

1) одновременного действия емкостной и индуктивной паразитной связи между параллельно расположенными соседними проводниками, тогда

$$L_d = L_{cd} L_{md} / (L_{cd} + L_{md}), \quad (3.30)$$

где L_{cd} — допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников при воздействии только емкостной паразитной связи, см; L_{md} — допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников при воздействии только индуктивной паразитной связи, см;

2) только емкостной паразитной связи параллельно расположенных соседних проводников, тогда

$$L_{cd} = C_d / C_{пор}; \quad (3.31)$$

3) только индуктивной паразитной связи для платы без экранирующей плоскости (рис. 3.14, а), тогда по ОСТ 4.ГО.010.009

$$l_{\text{мд}} = \left[\ln \frac{2l_{\text{мд}}}{S + 0,5(t_1 + t_2)} - 1 \right] \cdot \frac{t_{\text{зд.ср}}(U_{\text{ны}} + U_0)}{\kappa_{\text{зан}} \Delta I} \quad (3.32)$$

и для платы с экранирующей плоскостью (рис. 3.14, б)

$$l_{\text{мд}} = \left[\frac{S + 0,5(t_1 + t_2)}{2H_{\text{м}}} + \ln \frac{l_{\text{мд}}}{S + 0,5(t_1 + t_2)} \right] \cdot \frac{t_{\text{зд.ср}}(U_{\text{ны}} + U_0)}{\kappa_{\text{зан}} \Delta I}, \quad (3.33)$$

где $U_{\text{ны}}$ — значение помехоустойчивости микросхем, приведенное в ТУ, справочниках, В; U_0 — напряжение логического 0, приведенного в ТУ, В; $\kappa_{\text{зан}}$ — коэффициент запаса ($\kappa_{\text{зан}} = 0,5 \dots 1,0$); ΔI — перепад тока в цепи питания при переключении ИМС, А; $t_{\text{зд.ср}}$ — среднее время задержки;

4) двух активных цепей параллельно расположенных проводников (сигнальных шин) при одновременном переключении микросхем (например, для трех проводников $l_{\text{д}} = 0,5l_{\text{д}}$).

Допустимая длина шины заземления определяется по формуле

$$l_{\text{ш.з.д}} = L_{\text{д}}/L_{\text{пор}} \quad (3.34)$$

Значения $L_{\text{ш.з.д}}$ для шин заземления шириной от 0,2 до 2,0 мм для печатных плат с ИМС 1-й и 2-й степени интеграции (§ 3.2) наиболее распространенных серий в зависимости от протекающих в них импульсных токов приведены в табл. 3.25. Эти значения рассчитывались по формуле

$$l_{\text{ш.з.д}} = \frac{2t_{\text{з.распр.ср}} U_{\text{пор}}}{L_{\text{ш.з.пор}} \sum_1^n \Delta I}, \quad (3.35)$$

где $U_{\text{пор}} \approx U_{\text{вых}} + U_{\text{цз}}$; $L_{\text{ш.з.пор}}$ — погонная индуктивность шины заземления; n — число ИМС на плате, подключенных к шине заземления; ΔI — ток переключения ИМС, А.

Т а б л и ц а 3.25. Допустимые длины шин заземления, см

Серии ИМС	Импульсный ток, протекающий				
	200	180	160	140	120
114	18—30	24—40	30—50	43—73	—
130	—	—	2—4	8—13	14—25
133	—	—	2—4	8—13	14—25
136	9—14	12—21	17—29	24—40	43—73
155	5—9	6—11	8—14	10—48	13—25
217	—	—	—	—	—

Незадействованные концевые контакты в модулях при микросборках следует соединять с шинами заземления и располагать между сигнальными выводами.

Для снижения уровня помех, обусловленных индуктивностью шин питания и заземления, рекомендуется увеличивать ширину шин питания и заземления до 5 мм, располагая их друг под другом на соседних слоях или выполняя в виде смежных плоскостей в цепях получения возможно большей конструктивной емкости фильтра цепи питания [7].

Высокочастотные ИМС соединяют между собой согласованными кабелями, витыми парами или парами печатных проводников (сигнальным и заземления).

Емкость фильтрующего (сглаживающего) конденсатора рекомендуется определять в соответствии с формулой

$$C_{\Phi} \geq \Delta t_{\Phi}^2 n^2 / L_{\text{ш}}, \quad (3.36)$$

где Δt_{Φ} — наибольшая длительность фронта импульса тока в переключающих схемах, подключенных к участку шины питания, мкс; n — число, показывающее, во сколько раз уменьшится амплитуда паразитных осцилляций в шинах питания (значение n от 10 до 50); $L_{\text{ш}}$ — суммарная индуктивность участков шин питания и заземления, нГн.

$$L_{\text{ш}} = 4l_3 \left(0,5 + 0,224 \frac{h_3 + t_3}{l_3} + \ln \frac{2l_3}{h_3 + t_3} \right), \quad (3.37)$$

по шине заземления, мА					
100	90	80	60	40	20
—	—	—	—	—	—
25—42	29—49	34—56	—	—	—
25—42	29—49	34—56	—	—	—
—	—	—	—	—	—
20—35	22—37	24—45	—	—	—
3—6	6—9	9—14	14—23	20—36	26—45

где l_3 — длина участка шины питания (заземления), см;
 h_3 — толщина шины заземления, см; t_3 — ширина шины заземления, см.

Тип конденсатора фильтра выбирается по значению емкости и сопротивления этого конденсатора. Сопротивление конденсатора фильтра z_c , Ом, определяется по формуле

$$z_c = U_{\phi}/I_{\phi} \leq L_{ш}/\Delta t_{\phi} n, \quad (3.38)$$

где U_{ϕ} — амплитуда падения напряжения на конденсаторе фильтра, В; I_{ϕ} — амплитуда тока, проходящего через конденсатор фильтра, А.

Для одновременного уменьшения низкочастотных паразитных осцилляций в шинах питания следует параллельно низкочастотному конденсатору включать один или несколько (два, три) высокочастотных конденсаторов с малым модулем сопротивления, низкочастотные конденсаторы фильтра устанавливаются по одному на каждый номинал питающего напряжения в непосредственной близости от электрического соединителя на печатной плате.

Следует отличать шину «земли», от «общей шины». Шина «земля» не должна использоваться для передачи мощности. Проводники «земля» и «общая шина» необходимо соединять только в одной точке системы, в противном случае образуется замкнутый контур, излучающий помехи и схему. Необходимо питать цепи, потребляющие большой ток от отдельного источника.

Итак, для оптимизации межэлементных соединений, монтажа и компоновки модулей и приборных шкафов ЭВА можно выделить некоторые общие рекомендации для удовлетворения требования помехоустойчивости модулей.

При использовании печатного монтажа помехоустойчивость модулей должна обеспечиваться: рациональной разводкой печати с учетом помехоустойчивости ИМС путем минимизации длины связей и оптимизации разрешающей способности печати; применением в МПП экранирующей плоскости; переходом к полосковым линиям; использованием для шин питания полосковых линий с низким полным сопротивлением; согласованием полных сопротивлений полосковых линий с применением ИМС, микросборок и бескорпусных микросборок; расположением между параллельными проводниками заземленных проводников для частичного экранирования параллельных проводников; установкой низко- и высокочастотных фильтров по каждому номиналу питающего напряжения на печатных платах вблизи электрического соединителя.

При использовании объемного монтажа для обеспечения помехоустойчивости изделий применяют [7]: рациональную разводку объемных проводников с учетом помехоустойчивости ИМС; согласование полных сопротивлений симметричных двухпроводных линий передачи со свитыми парами и коаксиальными кабелями или экранирующими проводами; преимущественное использование плоских жгутов (кабелей ГПК); специальные земляные шины в блоках и приборных шкафах; низкочастотные и высокочастотные фильтры в цепях питания; автономные источники питания в блоках; экранирование блоков и приборных шкафов ЭВА.

Для решения проблемы помехоустойчивости модулей на печатных платах необходимо выполнить ряд условий сопряжения функциональных устройств и узлов ЭВА, среди которых можно выделять: применение электрических соединителей, обеспечивающих согласование полного сопротивления и малый уровень перекрестных помех; применение перехода кабеля, свитых пар и экранирующих проводов через электрические соединители.

Для ориентировочного определения параметров объемного монтажа можно использовать усредненные значения погонных емкостей проводников для различных видов связи: одиночный проводник, расположенный вплотную к печатной плате, $(30 \dots 50) 10^{-12}$ Ф/м; проводник в объемном жгуте с плотностью $10 \dots 40$ проводников на 1 см^2 поперечного сечения, $(40 \dots 70) 10^{-12}$ Ф/м; экранированный проводник, $(100 \dots 200) 10^{-12}$ Ф/м; витая пара проводников в экране, $(50 \dots 100) 10^{-12}$ Ф/м; витая пара проводников,

(35 ... 50) 10^{-12} Ф/м; плоский жгут из проводов МГШВ, (0,2 ... 33) 10^{-12} Ф/м [9].

Л. Проверочные расчеты. Подтверждением соответствия конструктивного решения печатной платы заданному ТЗ являются результаты проверочных расчетов, перечень и место которых определяется индивидуально в зависимости от применяемых методов, способов и принципов конструирования ТЗ.

Для печатной платы целесообразно выполнить оценочный расчет вибропрочности. Упрощенной моделью печатной платы является пластина, а моделью электрорадиоэлементов, деталей крепления и т. п. принято считать балку. Для этих упрощенных моделей определяют частоту ν_0 , смещение $\xi_{расч}$ и усилия.

Последовательность выполнения оценочных расчетов следующая [3]:

- 1) выбор расчетных моделей элементов конструкции;
- 2) определение собственной частоты ν_0 для модели.

Резонансная частота плат при равномерно распределенной массе элементов на плате определяется по формуле ОСТ 4.ГО.010.009

$$\nu_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + m_a/m_n}} \cdot \frac{\pi (1 + \Delta^2)}{4 \sqrt{3}} \cdot \frac{\lambda_k H_n}{L_0^2} \sqrt{E \rho_n} \quad (3.39)$$

где m_a — масса навесных элементов; m_n — масса платы; λ_k — коэффициент, зависящий от способа крепления печатной платы, определяется по табл. 3.26; Δ — отношение меньшей стороны платы к большей стороне; H_n — толщина платы; L_0 — большая сторона платы; E — модуль Юнга материала платы; ρ_n — плотность материала платы;

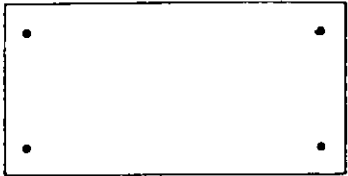
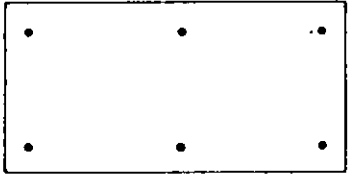
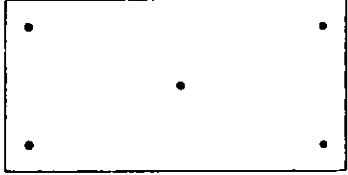
3) определение смещения на частоте ν_0 ; $\xi_{расч} = 250 < k_{вб}/\nu_0$, где $k_{вб}$ — заданный коэффициент вибрации [3, с. 386 ... 393];

4) определение смещения $\xi_v = k_{дин} \xi_{расч}$, где $k_{дин} = 1/(1 - k_v^2 + k_v^2 \varepsilon^{10,5})$; ε — показатель затухания и $k_v = V_1/V_0$ [3]. При малом ε и $k_v \approx 1$ (околорезонансная область) $k_{дин} \approx 1/\varepsilon \approx \pi/\Psi$, где Ψ — логарифмический декремент затухания (для элементов из стеклотекстолита $\Psi \approx 0,2$);

5) определение нагрузки, испытываемой элементом при ξ_0 , $M_{изг}$ и напряжений от действия $M_{изг}$;

б) сравнение полученных значений предела выносливости σ_{-1} с пределом прочности материала $\sigma_{-1} = (0,2 \dots 0,4) \sigma_{пр}$.

Таблица 3.26. Изменение коэффициента λ_k в зависимости от способа крепления печатной платы

Способ крепления печатной платы	λ_k
	1,0
	2,0
	2,5

Для других способов закрепления можно использовать предлагаемый ниже программный модуль, который реализован для диалогового режима с микро-ЭВМ типа «Электроника 760» на языке БЭЙСИК в соответствии с рекомендациями [6, с. 217 ... 220].

```

10 PRINT 'ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПРОСТЕЙШИХ МЕХАНИ
      ЧЕСКИХ СИСТЕМ'
20 PRINT 'ВВЕДИТЕ ДЛИНУ , ШИРИНУ И ТОЛЩИНУ ПЛАСТИНЫ , СМ'
30 INPUT A,B,C
40 PRINT 'ВВЕДИТЕ ПЛОТНОСТЬ ПЛАСТИНЫ;КГ/М^3'
50 INPUT R
51 PRINT '.....'
52 PRINT ' МАТЕРИАЛ ! МОДУЛЬ УПРУГОСТИ, ! КОЭФФИЦИЕНТ'
      Н/СМ^2 ПУАССОНА'
53 PRINT'.....'
54 PRINT'СТАЛЬ ! 0.21Е6 ! 0.3 '
55 PRINT'АЛЮМИНИЙ ! 0.72Е7 ! 0.35 '
56 PRINT'МАГНИЙ ! 0.4Е7 ! 0.3 '
57 PRINT'ЛАТУНЬ ! 0.1Е6 ! 0.4 '
58 PRINT'БРОНЗА ! 0.114Е8 ! 0.25 '
59 PRINT'СФ,СТЕКЛО
      ТЕКСТ ! 0.33Е7 ! 0.25 '
60 PRINT 'ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ;Н/СМ^2'
70 INPUT E
80 PRINT 'ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА;Н/СМ^2'
90 INPUT Y
92PRINT'ИСПОЛЬЗУЕТСЯ 6 СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ ПЛАТ'
93PRINT'СПОСОБ 1: ВСЕ СТОРОНЫ ОПЕРТЫ'
94PRINT'СПОСОБ 2: МЕНЬШИЕ СТОРОНЫ ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕНЫ, БОЛЬШ
      ИЕ СВОБОДНЫ'
95PRINT'СПОСОБ 3: БОЛЬШИЕ СТОРОНЫ ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕНЫ, МЕНЬ
      ШИЕ СВОБОДНЫ'
96PRINT'СПОСОБ 4: БОЛЬШИЕ СТОРОНЫ ШАРНИРНО ЗАКРЕПЛЕНЫ'
97PRINT'СПОСОБ 5: МЕНЬШИЕ СТОРОНЫ И ОДНА БОЛЬШАЯ ЖЕСТКО ЗАК
      РЕПЛЕНЫ'
98PRINT'СПОСОБ 6: ВСЕ СТОРОНЫ ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕНЫ'
100 PRINT 'КАКОЙ СПОСОБ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛАТ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ '

```

```

110 INPUT N
120 LET D=(E*R^3)/(12*(1-Y^2))
130 IF N=1 THEN190
140 IF N=2 THEN200
150 IF N=3 THEN210
160 IF N=4 THEN 220
170 IF N=5 THEN 230
180 GOTO 240
190 LET K=3.14*3.14*(1+A/B):GOTO250
200 LET K=3.14*3.14*SQR(1.54^4+2.5*12*(1-Y)*A^2/B^2/3.14
    *3.14):GOTO 250
210 LET K=3.14*3.14*SQR(1+2.57*A^2/B^2+5.14*A^4/B^4):GO
    TO 250
220 LET K=3.14*3.14*A^2/B^2:GOTO 250
230 LET K=22.4*SQR(1+2.91*A^2/B^2+2.44*A^4/B^4):GOTO 250
240 LET K=22.4*SQR(1+0.65*A^2/B^2+A^4/B^4):GOTO 250
250 LET F=(0.159/A^2)*K*SQR(D*960/(C*R))
260 PRINT 'СОБСТВЕННАЯ ЧАСТОТА КОНСТРУКЦИИ F(0)=';F;'Гц'
270 END

```

Если из расчета выясняется, что вибропрочность конструкции ЭВА недостаточна, то вводят добавочные крепления, используют крепления навесных элементов держателями, применяют ребра жесткости, отбортовки, замкнутые коробчатые конструкции. Можно использовать конструкционные материалы с хорошими демпфирующими свойствами (например, магниевые сплавы) или специальные демпфирующие покрытия, обычно расчетные соотношения составлены для худшего случая воздействия вибрации перпендикулярно длинной оси или плоскости элемента [3], (гл. 4).

3.2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

При разработке современных средств обработки информации применяется элементная база различной степени интеграции и функциональной нагрузки. В ЭВА используются разнообразные ИМС.

Степень интеграции интегральной микросхемы (по ГОСТ 17021—75) определяется по формуле $k = \lg N$, где k — коэффициент, определяющий степень интеграции, значение которого округляется до ближайшего большего целого числа; N — число компонентов и элементов интегральной микросхемы, в том числе содержащихся в составе компонентов, входящих в интегральную микросхему (табл. 3.27).

Таблица 3.27

Обозначение ИМС	Степень интеграции ИМС	Количество элементов и компонентов
ИМС1	1	$N \leq 10$
ИМС2	2	$10 < N < 100$
ИМС3	3	$100 < N < 1000$
ИМС4	4	$1000 < N < 10\,000$
ИМС5	5	$10\,000 < N < 100\,000$
ИМС6	6	$100\,000 < N < 1\,000\,000$

В соответствии со схемой электрической принципиальной конструктору (студенту) обычно задается элементная база. При компоновке изделий с элементной базой низкой степени интеграции необходимо дополнительно выделить определенный объем пространства, так как энергоемкие, емкостные и индуктивные элементы изделий ЭВА (например, элементы блоков питания) требуют для нормальной работы учета их тепловыделения, наличия электрических и магнитных взаимовлияний и заданных условий эксплуатации.

Установочные и габаритные размеры элементной базы современной микроэлектронной аппаратуры можно найти в [2, с. 43 ... 104; 29]. Основные размеры ИМС регламентируются ГОСТ 17467—79. Условное обозначение корпуса при записи в конструкторской документации должно состоять: из слова «Корпус», типоразмера микросхемы, включающего подтип корпуса, и двузначного числа, обозначающего порядковый номер типоразмера, цифрового индекса,

определяющего действительное количество выводов, порядкового регистрационного номера и обозначения стандарта. Пример условного обозначения: Корпус 2101.14—5 ГОСТ 17467—79.

А. Реализация изделий ЭВА на элементной базе низкой степени интеграции. В настоящее время в системах обработки информации основную часть схемы реализуют на ИМС средней и высокой степени интеграции. Однако всегда существует большое количество изделий, которые должны быть реализованы с использованием дискретных вентиляльных схем малой степени интеграции. Отношение числа корпусов вентиляльных ИМС к числу корпусов средней ИМС2, ИМС3 и высокой степени (ИМС4 ... ИМС6) интеграции в очень простых малых системах обработки информации составляет примерно 2 : 1 и около 1 : 1 в сложных больших системах.

Следует отметить, что на часть системы с ИМС малой степени интеграции может приходиться незначительная часть логической схемы системы, которая занимает значительную часть объема изделия, поэтому конструктору в первую очередь необходимо выполнить для нее требования микроминиатюризации и оптимизации конструкции ЭВА.

Важное место среди проверочных расчетов занимает проверка тепловых режимов и прочностных свойств платы.

Основное применение ИМС малой степени интеграции находят в источниках вторичного электропитания (ИВЭ) ЭВА, устройствах управления электрическими машинами и в силовых коммутирующих устройствах.

Тематика курсового проекта по дисциплине «Конструирование и микроминиатюризация ЭВА» предусматривает конструирование ИВЭ, которые предназначены для получения заданной мощности в нагрузке при определенном законе преобразования энергии. Вторичные источники питания нельзя рассматривать как совокупность простых в функциональном отношении элементов, объединенных общей несущей конструкцией.

Основная трудность конструирования ИВЭ связана с микроминиатюризацией, причем заданного уровня микроминиатюризации конструктивного решения ИВЭ нельзя достичь, например, за счет уменьшения площади переходов отдельных полупроводниковых приборов. В этом случае возможно получение лучших показателей микроминиатюризации при увеличении площади переходов полупроводниковых приборов (или их числа) до некоторой оптималь-

ной. Необходимо компромиссное решение пяти взаимосвязанных проблем: энергетической, структурной, конструкторско-технологической, системной, организационной. Основой решения компромисса является системный подход. В результате решения энергетических и структурных задач системный подход в конструировании ИВЭ должен обеспечить соответствие минимального объема устройства и назначения. Необходимо подчеркнуть, что конструкторско-технологическими приемами нельзя уменьшить габаритные размеры устройства при данных условиях теплоотвода.

Критерии для оценки степени микроминиатюризации ИВЭ следующие:

- 1) максимальная удельная мощность, Вт/дм³;
- 2) минимальный относительный объем — это отношение объема преобразователя $V_{пр}$ к объему потребителя (нагрузки) V_n или к суммарному объему $V_{\Sigma} = V_{пр} + V_n$;
- 3) максимальный КПД преобразователя;
- 4) отсутствие свободных воздушных пространств при оптимальном синтезе конструкции ИВЭ (их следует занять материалами с максимально высокой теплопроводностью).

Необходимо выполнять компоновку ИВЭ так, чтобы физический объем оставшегося металла составлял не более 20 ... 30 % габаритного объема изделия. При этом обеспечивается высокая плотность упаковки элементов, отсутствие крепежных деталей;

5) минимальная избыточность площади теплоотвода, которая при заданных входной мощности и условиях теплоотвода полностью определяется КПД преобразователя;

6) минимальный объем конструкции, необходимый для размещения элементов и зависящий от плотности тока j , максимальной индукции B , рабочей частоты ω .

Практика разработки ИВЭ показывает противоречивость представленных критериев: при увеличении удельных нагрузок уменьшается суммарный объем деталей, уменьшается КПД и увеличивается требуемая поверхность теплоотвода.

Необходимо решать многокритериальную задачу поиска конструктивного решения ИВЭ.

Методика конструирования ИВЭ включает в себя следующие этапы:

1) анализ схемы электрической принципиальной, технического задания на проект, который согласуется с рекомендациями § 1.2 и гл. 2 и предусматривающий:

анализ элементной базы (по нормативно-технической и справочной документации уточняются габаритные размеры и допустимые параметры трансформаторов, конденсаторов, ИМС, транзисторов, диодов и других элементов ЭЗ);

оценку электрических связей, электрических соединителей и функционирования изделия с учетом помехоустойчивости (принятие конструктивного решения о реализации электрических связей и соединителей (§ 2.3) и расчет экранов [66]);

анализ теплового режима работы элементов ЭЗ, выбор системы охлаждения этих элементов или согласование с руководителем проекта принятия решения об оптимизации насыщения транзистора при параллельном включении транзисторов, работающих в режиме переключения;

анализ конструктивно-технологических ограничений с учетом основного принципа модульного конструирования, стандартизации, унификации и миниатюризации (§ 1.2, 3.8);

2) расчет конструкции силовых элементов (например, трансформаторов);

3) первоначальную компоновку и размещение навесных элементов на плате;

4) проверку размерных связей, теплового режима, вибропрочности и т. п. в соответствии с заданными условиями эксплуатации;

5) оптимизацию конструктивного решения в целях улучшения критериев микроминиатюризации (рассмотренных выше);

6) уточнение технических решений несущих и крепежных элементов конструкции;

7) расчет экранов;

8) трассировку с учетом рекомендаций ГОСТ 23751—79 и ОСТ 4.010.019—81 при конструктивно-технологическом расчете (§ 3.1);

9) разработку чертежей конструкции (слоев печатной платы, детализовки и сборочного чертежа).

Если проверочные расчеты дают неудовлетворительные результаты, то необходимо изменить конструктивное решение на более ранних этапах конструирования или согласовать с руководителем проекта изменение в задании.

Для расчета системы охлаждения теплонагруженных элементов ИВЭ можно использовать различные литературные источники [3, 6].

В оценочном расчете необходимой поверхности теплоотвода для ИВЭ с выходной мощностью $Q_{\text{вых}}$ и КПД η используют следующие рекуррентные выражения:

$$Q_{\text{расс}} = Q_{\text{вых}} (1 - \eta) / \eta; \quad (3.40)$$

$$S_{\text{т}} = S_{\text{у.п.т}} Q_{\text{расс}} = S_{\text{у.п.т}} Q_{\text{вых}} (1 - \eta) / \eta, \quad (3.41)$$

где $S_{у.п.т}$ — удельная поверхность теплоотвода, $м^2/Вт$; $Q_{расс}$ — рассеиваемая мощность, $Вт$.

Для принятой формы в виде прямоугольного параллелепипеда со сторонами Q и заданной толщиной b полная поверхность $S_T = 2a^2 + 4ab$. Полагая, что тепло отводится со всей поверхности, имеем

$$a = \sqrt{b^2 + S_{у.п.т} Q_{расс}/2} - b. \quad (3.42)$$

$$V = 2b^3 + \frac{b}{2} S_{у.п.т} Q_{вых} \frac{1-\eta}{\eta} - 2b^2 \sqrt{b^2 + \frac{1}{2} S_{у.п.т} Q_{вых} \frac{1-\eta}{\eta}}. \quad (3.43)$$

В ЭВА и ИВЭ, в частности, чаще всего для охлаждения используется процесс теплоотдачи конвекцией. Наиболее эффективным средством контактного отвода тепла являются теплоотводящие радиаторы, тепловые трубы и термоэлектрические батареи [6, 7].

Расчет радиаторов заключается в определении их геометрических размеров при заданной мощности теплового рассеяния, температуре окружающей среды и максимально допустимом нагреве корпуса охлаждаемого элемента. Иногда в расчетах решают другую задачу: определяют допустимый тепловой режим активного элемента, установленного на готовом радиаторе.

Процесс теплоотдачи конвекцией определяется законом Ньютона:

$$Q_{расс} = \alpha_K (T_K - T_c) S_T, \quad (3.44)$$

где $Q_{расс}$ — мощность, передаваемая в виде тепла, $Вт$; α_K — коэффициент теплопередачи конвекцией, $Вт/(м^2 \cdot К)$; S_T — площадь теплоотводящей поверхности, $м^2$; T_K — температура нагретого корпуса, $м^2$; T_c — температура окружающей среды, $К$.

Тогда суммарная поверхность охлаждения радиатора

$$S_T = 0,86 Q_{расс} / [\alpha (T - T_c)], \quad (3.45)$$

где T — температура поверхности радиатора, $К$; $Q_{расс}$ — мощность рассеяния тепла источником, $Вт$; α — коэффициент теплообмена, состоящий из суммы коэффициентов теплообмена боковых $\alpha_{к1}$ и торцевых $\alpha_{к2}$ плоскостей ребер и теплообмена излучением $\alpha_{изл}$, $Вт/(м^2 \cdot К)$;

$$\alpha = \alpha_{к1} + \alpha_{к2} + \alpha_{изл}.$$

Используем порядок расчета теплообмена, приведенный в [6], для нормального атмосферного давления.

Для боковых плоскостей ребер длиной D_p , установленных вертикально (рис. 3.16),

$$\alpha_{к1} = 6,36 [(T - T_c)/D_p]^{0,25}. \quad (3.46)$$

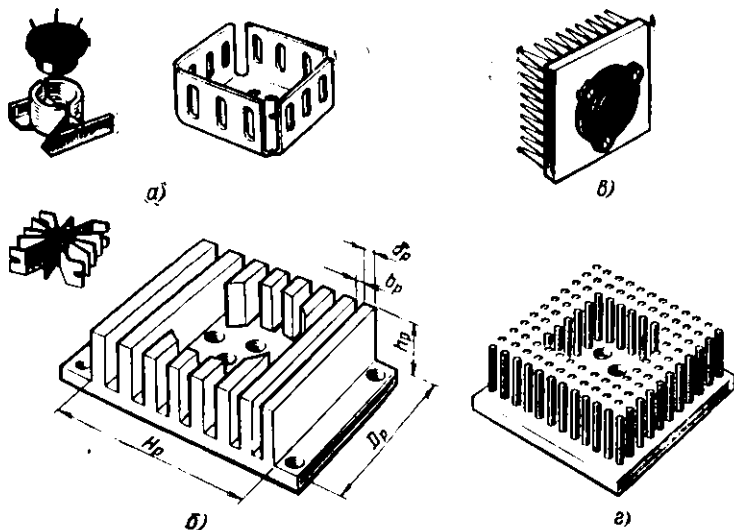


Рис. 3.16. Типовые конструкции радиаторов охлаждения:
а — пластинчатые; б — ребристые; в — штырьковые; г — игольчатые

Для совокупности ребер общей шириной H_p (рис. 3.16), расположенных горизонтально и вершиной вверх,

$$\alpha'_{к1} = 8,61 [(T - T_c)/H_p]^{0,25}. \quad (3.47)$$

Для совокупности ребер, расположенных горизонтально и вершиной вниз,

$$\alpha''_{к1} = 4,70 [(T - T_c)/H_p]^{0,25}. \quad (3.48)$$

Для торцевых плоскостей ребер радиатора с шириной одного ребра δ_p (рис. 3.16)

$$\alpha_{к2} = 0,5 [(T - T_c)/\delta_p^5]^{0,125}. \quad (3.49)$$

Коэффициент теплообмена при излучении получим из выражения

$$\alpha_{\text{изл}} = 5,67 \epsilon_4 \frac{(T \cdot 100)^4 - (T_c/100)^4}{T - T_c} \frac{b_p}{b_p + 2h_p}, \quad (3.50)$$

где ϵ_4 — степень черноты (табл. 3.28); b_p — расстояние между стенками ребер, м; h_p — высота ребер, м.

Таблица 3.28. Степень черноты материалов, используемых при изготовлении несущей конструкции ЭВА

Материал	Состояние поверхности	Температура, К	Степень черноты
Алюминий	Полированная окисленная	273—873	0,04—0,06
		308—773	0,20—0,31
Алюминиевый сплав	Прокат, литье	323—623	0,37—0,41
		373—773	0,33—0,31
Золото	Полированная глянцевая	498—908	0,02—0,04
Краски	(для всех цветов), алюминиевая, бронзовая	293—373	0,93—0,96
		373	0,28
		373	0,51
Лак	Черная матовая, черная глянцевая, белая полуматовая	313—373	0,92—0,96
		298	0,875
		296	0,906
Латунь	Тусклая, полированная, прокат	323—623	0,22
		373	0,075
		295	0,06
Никель	Полированная, матовая	498—648	0,07—0,08
		473—873	0,37—0,48
Серебро	Полированная	498—898	0,02—0,03
Сталь	Прокат, полированная, окисленная, литье необработанное	363	0,07—0,085
		373	0,066
		298	0,8—0,82
		298	0,9
Хром	Глянцевая	398	0,64—0,67
Эмаль (всех цветов)	Полуматовая	373	0,92—0,96

Коэффициент теплообмена при внешнем давлении $P_{\text{вн}}$, н/м², отличающемся от нормального, будет иметь вид $\alpha_k^0 = \alpha_k \sqrt{P_{\text{вн}}/P_{\text{норм}}}$, где $P_{\text{норм}}$ — нормальное давление, н/м².

Приведенные формулы позволяют определить параметры радиатора или тепловой режим установленного на нем активного элемента с практически допустимой погрешностью 10—15 %.

Для естественного охлаждения размеры основания радиатора более 0,150 × 0,150 и высота ребер более 0,04 м

становятся малоэффективными, и делать их больше нецелесообразно. Оребрение поверхности охлаждения становится необходимым лишь тогда, когда соблюдаются условия

$$2\lambda/(\alpha\delta) > 5, \quad (3.51)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

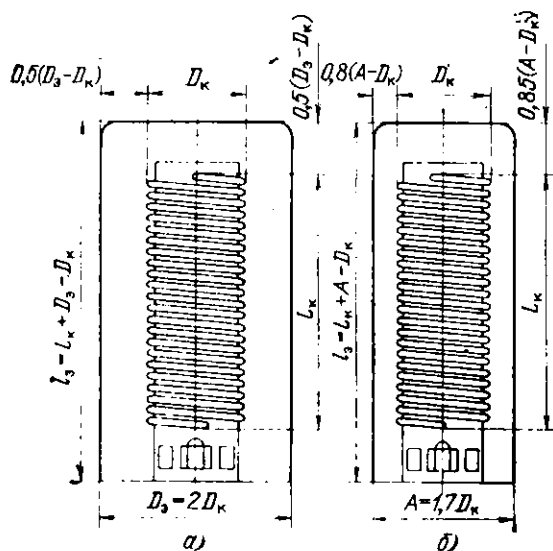


Рис. 3.17. Размеры экранов катушек индуктивности:
а — для цилиндра; б — для параллелепипеда

В рассмотренной выше методике конструирования ВИП уделялось большое внимание вопросам помехоустойчивости. Известно, что существует опасность возникновения трех видов помех: магнитной, электрической и кондуктивной.

Причиной возникновения магнитных помех является протекание переменного тока в проводниках и катушках индуктивности. Размеры экранов определяются габаритными размерами экранируемых элементов (катушек) и минимально допустимыми потерями [индуктивности и добротности от экранирования (рис. 3.17)]. Причем эффективность экранов оценивается ослаблением энергии поля, которая, попадая на экран, частично отражается, частично поглощается и не-

значительная часть проходит сквозь экран. Расчет производится в зависимости от характера поля: магнитного, электрического или в виде плоской волны. Сумма потерь энергии поля на отражение $S_{от}$ и поглощение $S_{п}$ определяет относительное ослабление энергии поля $S_{отп}$ экраном [6].

В расчете экранов ослабление электрического поля отражением определяется из уравнения

$$S_{отп} = 350 : 10 \lg \frac{640G_n}{f_n^3 \mu r^2}, \quad (3.52)$$

где G_n — относительная электропроводность материала экрана (табл. 3.29); μ — магнитная проницаемость (относительно меди); r — расстояние между источником наводки и экраном, мм; f_n — частота поля, Гц.

Таблица 3.29. Значения электрической проводимости и магнитной проницаемости материалов, применяемых для экранов

Материал	Удельное электрическое сопротивление, Ом/м ²	Относительная электропроводность	Магнитная проницаемость
Медь	1,72	1	1
Алюминий	2,83	0,61	1
Цинк	5,9	0,292	1
Никель	7,0	0,246	110—600
Латунь	7,5	0,25	1
Бронза ОФ	11,5	0,15	1
Олово	11,5	0,15	1
Пермаллой	21	0,082	6000—100 000
МКУ-металл	25	0,069	7000—100 000
Сталь малой кремнистости	16	0,107	170—8400
Сталь средней кремнистости	25	0,069	250—7700
Сталь высокой кремнистости	34	0,051	450—7800
Чугун	90	0,019	620

Расчет ослабления магнитного поля отражением выполняется по формуле

$$S_{отп} = 201 \lg \left[\frac{12}{r} (\mu f G)^{1/2} - 0,5 \cdot 10^{-3} r (\mu f G_n)^{-1/2} - 0,35 \right], \quad (3.53)$$

а ослабления отражением для плоских волн определяются из уравнения

$$S_{\text{отр}} = 169 \cdot 10 \lg (G/f_{\text{н}}\mu). \quad (3.54)$$

Потери на поглощение в материале экрана вычисляются из выражения

$$S_{\text{н}} = 0,13a \sqrt{\mu G f_{\text{н}}}, \quad (3.55)$$

где a — толщина материала экрана, мм.

Экранирование магнитных полей осуществляется двумя способами:

шунтированием магнитного поля сплошным экраном из металла с большой магнитной проницаемостью. В ИВЭ магнитные экраны используют и для локализации магнитных полей рассеяния, индуцируемых трансформаторами, дросселями или катушками индуктивности;

использованием эффекта вытеснения поля из экрана за счет индукции и появления в стенках экрана вихревых токов (при частоте выше 1 МГц имеем высокую эффективность экрана).

На частоте 1 МГц достаточна толщина экрана 0,5 ... 1,5 мм, а на 10 МГц и более достаточна медная или алюминиевая фольга толщиной 0,03 ... 0,1 мм. Для катушек индуктивности используется экран замкнутой формы в виде цилиндра или параллелепипеда с квадратным сечением (рис. 3.17). Эти экраны изготовляют из металлического тонкостенного немагнитного материала (медь, латунь, алюминий) [6, с. 104 ... 106].

При расчете ослабления поля необходимо иметь в виду, что в любом экране неизбежны отверстия и поэтому фактически ослабление будет на 20 ... 30 % меньше заданного.

Известно, что при компоновке и размещении крупногабаритных элементов на плате их рекомендуется устанавливать вблизи электрического соединителя или у краев платы (закрепляемых в направляющих). Пример расположения на плате основных навесных элементов ВИП показан на рис. 3.18.

Микросхемы с низким уровнем интеграции располагают в миниатюрных корпусах типов 2102.14-1, 3103.12-1, 4102.14-1 с минимальным числом выводов (8, 12, 14). Такие ИМС малой мощности следует устанавливать на печатные платы без теплоотводящих металлических шин.

Толщину теплоотводящих шин для ИМС с низким уровнем интеграции следует выбирать в пределах 0,2 ... 0,5 мм. Толщина теплоотводящей шины с изоляционной проклад-

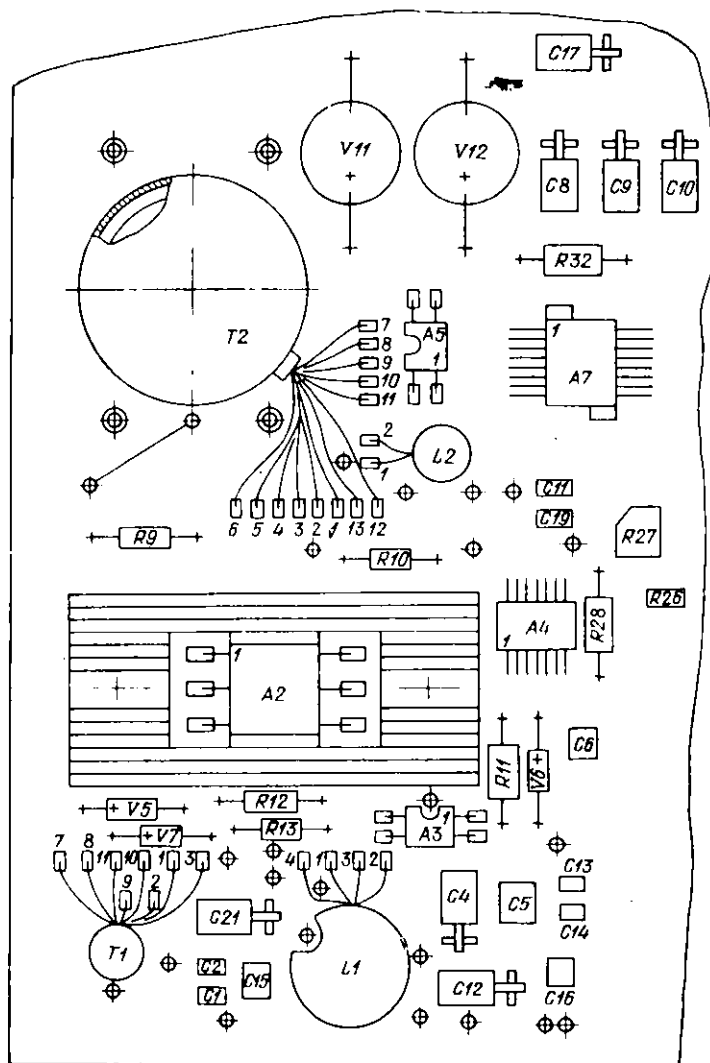


Рис. 3.18. Фрагмент сборочного чертежа ИВЭ:

$T1$, $T2$ — трансформаторы; $L1$, $L2$ — индуктивные катушки; $A2$ — микросхема на радиаторе; $V5 \dots V12$, $C1 \dots C21$, $R9 \dots R28$, $A3$, $A4$, $A5$, $A7$ — ЭРЭ (диоды, конденсаторы, резисторы, ИМС без радиаторов)

кой не должна быть более 0,6 мм. Теплоотводящие шины с прокладкой можно устанавливать на печатные проводники только при обеспечении достаточной влагозащиты печатных проводников. Шины изготавливаются из алюминия, меди и их сплавов. При установке ИМС на теплоотводящие шины следует обеспечить надежный тепловой контакт (минимальное значение термосопротивления) между теплоотводящими шинами и корпусами ИМС и микросборок, а также корпусами модулей и блоков.

Б. Реализация изделий ЭВА на ИМС средней степени интеграции. Обобщенный алгоритм конструирования ЭВА на ИМС средней степени интеграции представлен на рис. 3.19. Здесь следует подчеркнуть ряд специфических особенностей конструирования ЭВА на данной элементной базе, которые дополняют рекомендации § 3.1.

Известно, что корпусные ИМС и микросборки (МСБ), как правило, располагают на печатных платах геометрически правильными рядами; ИМС и МСБ в корпусах со штырьковыми выводами с шагом 2,5 мм размещают на печатной плате таким образом, чтобы выводы совпадали с узлами координатной сетки. Если шаг выводов не равен 2,5 мм (3 мм), то корпуса ИМС необходимо располагать так, чтобы один или несколько выводов совпадали с узлами координатной сетки.

Микросхемы и микросборки (корпусные и бескорпусные) с планарными выводами размещаются на печатной плате по предварительной разметке относительно координатной сетки с обязательным расположением выводов симметрично контактными площадкам. Первый вывод корпуса ИМС и МСБ совмещается с первой контактной площадкой, имеющей ключ, нанесенный на плате. Микросхемы и микросборки со штыревыми выводами устанавливаются только с одной стороны печатной платы, с планарными выводами (корпусные и бескорпусные) могут устанавливаться как с одной, так и с обеих сторон печатной платы симметрично друг другу. В соответствии с ОСТ 4.ГО.029.004, ОСТ 4.ГО.014.002 и частными техническими условиями (ЧТУ) на ИМС и МСБ допускается устанавливать корпусные ИМС, МСБ и бескорпусные МСБ с использованием клея и лака.

Шаг установки ИМС и МСБ на печатной плате (см. рис. 3.7) определяется размерами корпусов ИМС (ГОСТ 17467—79), сложностью ЭЗ, требуемой плотностью компоновки ИМС в изделии, тепловым режимом блока, механическими воздействиями, дестабилизирующими факторами, методом разработки топологии печатных плат, их слоистости

хода. Взаимосвязь указанных ограничений обуславливает согласование результатов проверочных расчетов. Это согласование выполняется в соответствии со значимостью ограничения. Например, на первом этапе оценивают компоновочные параметры платы, затем размещают навесные элементы с учетом механических воздействий, далее учитывают взаимодействие электрических (магнитных) полей и т. д. При неудовлетворительных результатах необходимо возвращаться на более ранний этап конструирования (задавать новую первоначальную компоновку навесных элементов) и повторять процесс конструирования снова. В дополнение к расчету компоновочных характеристик показателей размещения, миниатюризации (рассмотренных в гл. 2) следует уточнить значения краевых полей при конструировании изделий с ИМС средней степени интеграции.

Общие рекомендации даны в ОСТ 4.ГО.010.009 и ОСТ 4.ГО.010.011, [7].

Под размерами краевых полей x_1 , x_2 , y_1 , y_2 следует понимать расстояния от края печатной платы по осям X и Y до первого ряда выводов корпусов ИМС и микросборок (рис. 3.7).

При механизированной сборке краевые поля печатных плат должны быть не менее 5 мм. Значения краевых полей x_1 , x_2 зависят от типа корпуса ИМС, толщины печатной платы и метода установки корпуса. Рекомендуемые значения x_1 (x_2) приведены в табл. 3.30.

Т а б л и ц а 3.30. Значения краевых полей x_1 (x_2) печатных плат, мм (рис. 3.7)

Тип корпуса микросхем и микросборок	Толщина печатной платы	
	до 1,0 мм	до 2,0 мм
1203.14—5	5,0	5,0
1206.14—5, 1207.14—5	7,5	7,5
1211.28—5, 2101.14—5, 2130.24—5	2,5	5,0
2207.48—5	5,0	5,0
3101.8—5	2,5	5,0
3103.12—5, 4105.14—5	2,5*	5,0*
4106.14—5	5,0	5,0
4106.16—2	2,0	5,0
4138.42	2,5	5,0

* Значения ориентировочные.

Краевые поля y_1 и y_2 определяются установочными размерами выбранных элементов электрического монтажа модулей и конструктивных элементов контроля, а также типоразмерами корпусов ИМС.

Краевое поле y_1 на печатной плате предназначено для установки электрического соединителя; его размеры зависят от установочных размеров электрического соединителя и типоразмера корпуса элементной базы и приведены в табл. 3.31. Краевое поле y_2 предназначено для установки на печатной плате элементов контроля, ручек, съемников и т. п., может иметь значения 10 ... 15 мм [7], (табл. 3.31).

Варианты установки навесных элементов на плате обычно выбирают по ОСТ 4Г0.010.030. Установка корпусов типа 1, 2, 3 (ГОСТ 17467 — 79) связана с возможностью автоматизации сборки и монтажа. Корпуса со штыревыми выводами обычно устанавливаются с зазором 1 ... 2 мм или с прокладкой. Выступающая часть вывода с обратной стороны платы должна быть 0,5 ... 1,5 мм.

Микросхемы в корпусах с планарными выводами устанавливают на печатную плату после предварительной формовки выводов по ОСТ 4Г0.010.030. Существуют три варианта установки микросхем с планарными выводами на печатные платы: без зазора, с зазором и на прокладку. При монтаже зазора корпус микросхемы устанавливают на печатную плату, выводы ориентируют относительно контактных площадок и припаивают. Корпус удерживается на выводах или же его приклеивают к поверхности платы. При установке ИМС с зазором корпус удерживается на плате исключительно на припаянных выводах. В технически обоснованных случаях допускается устанавливать ИМС с использованием изоляционных прокладок или металлических шин. В качестве изоляционной прокладки могут быть использованы полоски тонкого (до 0,3 мм) стеклотекстолита или перфорированная пленка с окнами под выводы микросхем. Прокладку приклеивают к поверхности печатной платы, а на нее, в свою очередь, приклеивают корпуса микросхем. Металлическая прокладка (шина) выполняет двойную роль: служит в качестве теплоотвода и экрана. Во избежание возникновения коротких замыканий между печатными проводниками на плате изолируют металлическую прокладку от поверхности платы специальной пленкой.

На стороне установки ИМС и ЭРЭ допускается проводить печатные проводники под ИМС между контактными площадками, расположенными с шагом 2,5 мм.

Таблица 3.31. Значения краевого поля y_1 и y_2 печатных плат, мм (рис. 3.7)

Тип электрического соединителя и число контактов, тип кабеля	Корпус микросхемы или микросборки				
	1203.14 -5 1206.14 -5 1207.14 -5	1211.28 -5	2102.14 -5 2130.24 -5 2207.48 -8	3101.8 -5 3103.10 -5	4105.14 -5 4106.16 -5 4138.45 -5

y_1

ГРППЗ (14, 36, 46, 58)	17,5	20,0	17,5	15,0	17,5
ГРППЗ (24)	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
ГРПМ1-ШУ (31, 45, 61, 90)	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
ГРПМ1-ШУ (122)	27,5	30,0	27,5	25,0	25,0
ГРПМ1-ГУ	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
ГРПМ9-У	20,0	22,2	20,0	17,5	20,0
ГРПМ9-Н	17,5	20,0	17,5	15,0	17,0
ГРПМ5	17,5	20,0	17,5	15,0	17,0
ГРПМ7 (8)	30,0	32,5	30,0	27,5	30,0
ГРПМ10	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
РППМ26 (17)	17,5	20,0	17,5	15,0	17,5
РПП8 (8, 16)	15	17,5	15	12,5	12,5
РППМ8 (9, 15, 31)	15	17,5	15	12,5	15
РППМ (40)	20	22,5	20	17,5	20
РППММ2 (142)	12,5	15	12,5	12,5	12,5
РППММ2 (142)	12,5	15	12,5	12,5	12,5
СНП34 (135)	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
ГПК с металлическими отверстиями	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
ГПК с контактными площадками					
ГПК с контактными лепестками, кабель тканый и опрессованный	25,0	27,5	25,0	25,0	25,0
Жгут объемный	35,0	37,5	35,0	35,0	35,0

y_2

Контактная колодка с запайкой штырей в металлизированные отверстия	12,5	15	12,5	12,5	12,5
Колодка с использованием печатных контактных площадок	12,5	15	12,5	12,5	12,5
Одиночные пистоны и контакты	10	12,5	10	10	10

Для СМ ЭВМ не допускается конструировать узкие места под многовыводными элементами, установленными на высоте до 3 мм над платой

Проводники минимальной ширины 0,2 мм в узких местах необходимо выполнять длиной не более 15 мм. Вдоль большей стороны корпуса ИМС проводник выполняется шириной 0,25 мм по всей длине корпуса ИМС, но не более 50 мм.

Для современных мини-ЭВМ на печатных платах используется шаг координатной сетки, равный 1,25 мм. Для СМ ЭВМ рекомендуется расположение проводников на стороне пайки ИМС и ЭРЭ вертикальное, на стороне установки ИМС и ЭРЭ — горизонтальное по отношению к электрическому соединению.

Допускается вести проводники с отклонением от координатной сетки $\pm 1,5$ мм (это делается для повышения уровня технологичности и ликвидации узких мест).

При конструировании рекомендуется придерживаться соотношений, указанных в табл. 3.32.

Таблица 3.32. Рекомендуемые соотношения

Для отверстий диаметром 0,8; 0,9 мм	Количество проводников, шт.
2,5	1
3,75	2
5,0	3
6,25	4
7,5	5
8,75	6
10	

Наиболее употребляемыми в микроэлектронной аппаратуре являются ИМС серий К131, К155, К133 и К158.

При использовании ИМС серии К131 необходимо производить экранировку управляющих цепей в соответствии с рекомендациями табл. 3.33.

Таблица 3.33. Максимальная длина неэкранированной части печатного проводника управляющей цепи

Количество параллельных проводников	Интервал между печатными проводниками, мм				
	0,5	1,0	1,5	3,0	5,0
2	25 (35)	30 (42)	35 (50)	40 (56)	45 (63)
3	15 (20)	18 (25)	20 (28)	25 (35)	30 (42)
4	12 (17)	15 (20)	16 (22)	20 (28)	25 (35)
5	10 (14)	10 (14)	15 (20)	15 (20)	20 (28)

Примечания. 1. В скобках указана длина проводников, не выходящих за пределы платы. 2. Длины проводников для ИМС серии К131 и К155 могут быть увеличены в 2 и 4 раза соответственно.

При выполнении монтажа одиночными проводами или парой свитых проводов их прокладку необходимо осуществлять по кратчайшему пути.

Провода логической «земли» плоских кабелей или пар свитых проводов, экран коаксиального кабеля необходимо закрепить как у приемной, так и у передающей стороны. Длина разделенных концов пары свитых проводов или плоского кабеля должна быть не более 5,5 см.

Основные рекомендации по применению ИМС в конструкциях различного назначения даны в [9].

В. Реализация ЭВА на ИМС большой и сверхбольшой степени интеграции. Интегральную микросхему с высокой степенью интеграции принято называть большой интегральной микросхемой (БИС). Она содержит 500 и более элементов, изготовленных по биполярной технологии, и 1000 и более элементов, изготовленных по МДП-технологии.

По конструктивному оформлению все микро-ЭВМ, выпускаемые в СССР и за рубежом, можно разделить на три группы: однокорпусные (или однокристалльные), одно- и многоплатные [4].

Наибольшее развитие получили одноплатные микро-ЭВМ. Однокорпусные микро-ЭВМ, как правило, не применяются автономно: для их включения в сложную систему необходимо использовать дополнительные ИМС, обеспечивающие функциональную полноту и возможность стыковки микро-ЭВМ с элементами съема, контроля и управления информацией. Поэтому однокристалльные микро-ЭВМ превращаются в элементную базу одноплатной. Совершенствование элементной базы и увеличение требований микроминиатюризации развивает общую тенденцию к более широкому использованию одноплатных микро-ЭВМ.

Модульность, магистральность и микропрограммируемость при разработке микро-ЭВМ привели к использованию следующих типов ячеек [4]:

- 1) процессорные платы (рис. 3.20), которые содержат только центральный процессор (ЦП) (например К580 на рис. 3.20) или наряду с ЦП, память и различные комбинации схем ввода—вывода;

- 2) платы для расширения памяти (рис. 3.21), содержащие ПЗУ или ОЗУ (или сочетание тех и других) общей емкостью 64 К байт и более (например, на базе К565РУ2 на рис. 3.21) и логические схемы ввода-вывода;

3) платы специальных функций, выполняющие быстрые вычислительные операции с плавающей запятой, аналого-цифровое преобразование, функции синхронизации;

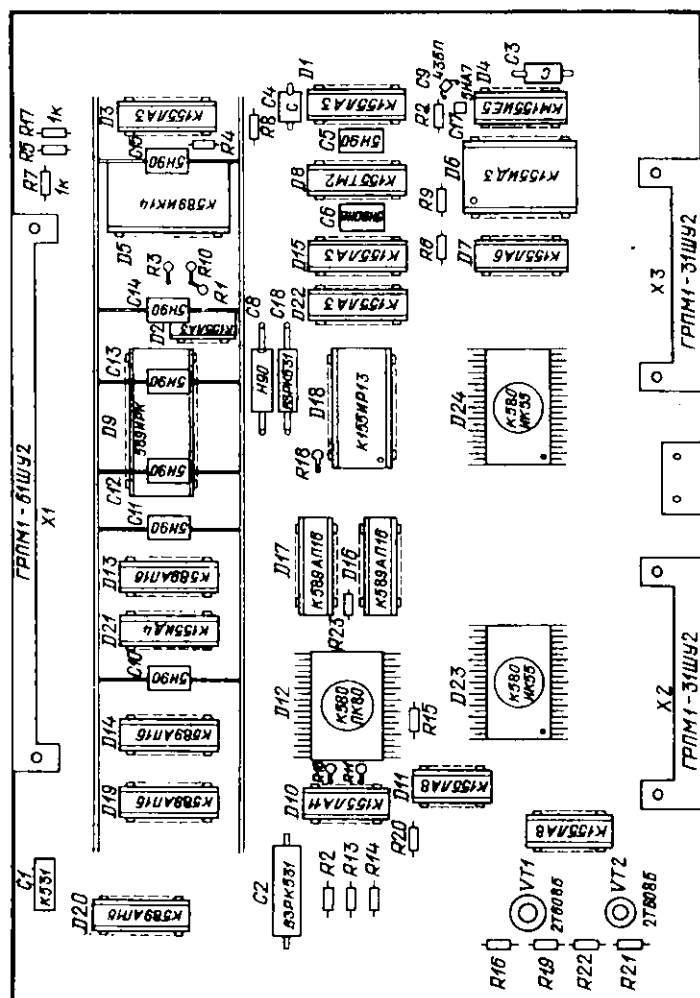


Рис. 3.20. Плата процессора на микропроцессоре серии KR580

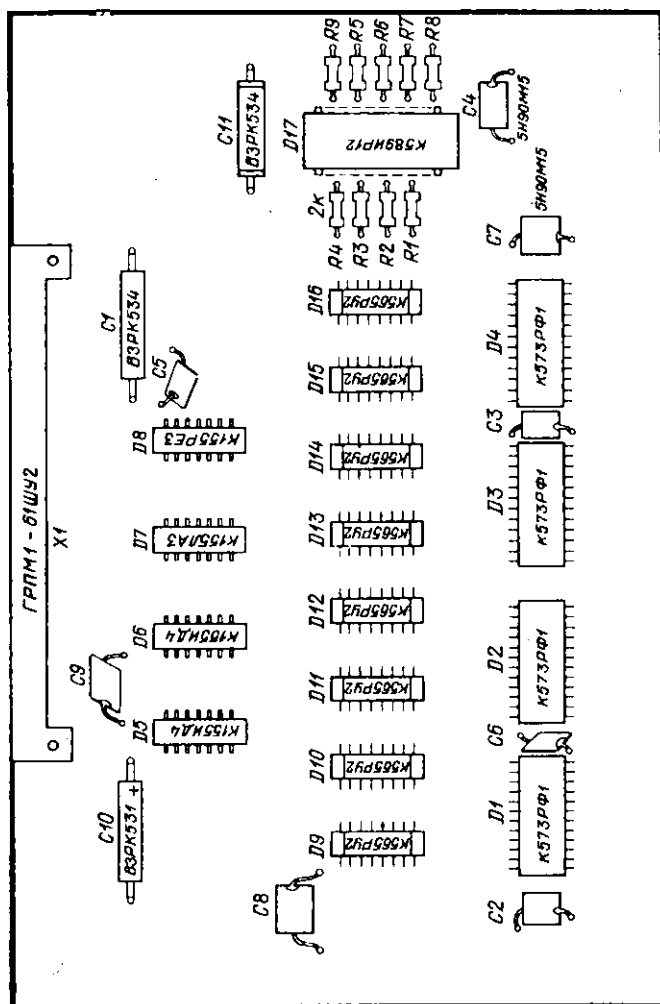


Рис. 3.21. Плата ОЗУ на БИС

4) платы ввода-вывода, содержащие блоки последовательного и параллельного интерфейсов, многоканальные цифровые входы и выходы, оптронные элементы и разнообразные функциональные блоки ввода-вывода аналоговых сигналов.

Кроме этого, в интересах технического предложения или эскизного проектирования на этапе отладки могут разрабатываться так называемые оценочные печатные платы. На такой плате в центре устанавливают ЦП, а вокруг в специальные розетки (рис. 3.22) — ОЗУ, ПЗУ и далее ИМС ввода-вывода и согласования.

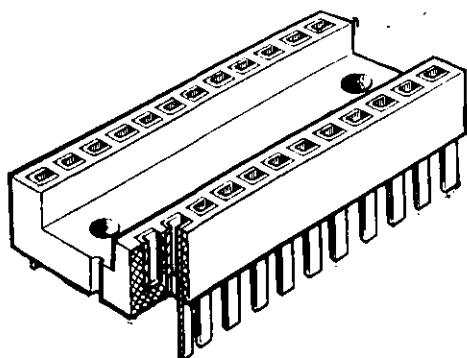


Рис. 3.22. Специальная розетка для упаковки БИС

Конструирование микро-ЭВМ и микропроцессорных систем должно выполняться с учетом требований стандартов. В [4] сделан обзор конструктивных систем всех уровней, которые соответствуют международным и отечественным стандартам и рекомендациям МЭК 48Д, МС МЭК 297—1, 1982, МС МЭК 297—3, 1982, МС МЭК 297—1, 1983, МС МЭК 297—3, 1983, МС МЭК 603—2, ГОСТ 26.201—80, ГОСТ 26.202—81 и т. д.

С учетом сказанного выше рассмотрим алгоритм конструирования второго конструктивного уровня изделия ЭВА на ИМС большой интеграции (рис. 3.23).

Раскроем основные этапы конструирования ЭВА на ИМС большой интеграции, отличающиеся от рекомендаций и указаний § 3.1 (рис. 3.23):

1. Определение базового конструктивно-функционального модуля (КФМ); его можно выполнить с учетом вышеуказанных стандартов и рекомендуемой литературы [4].

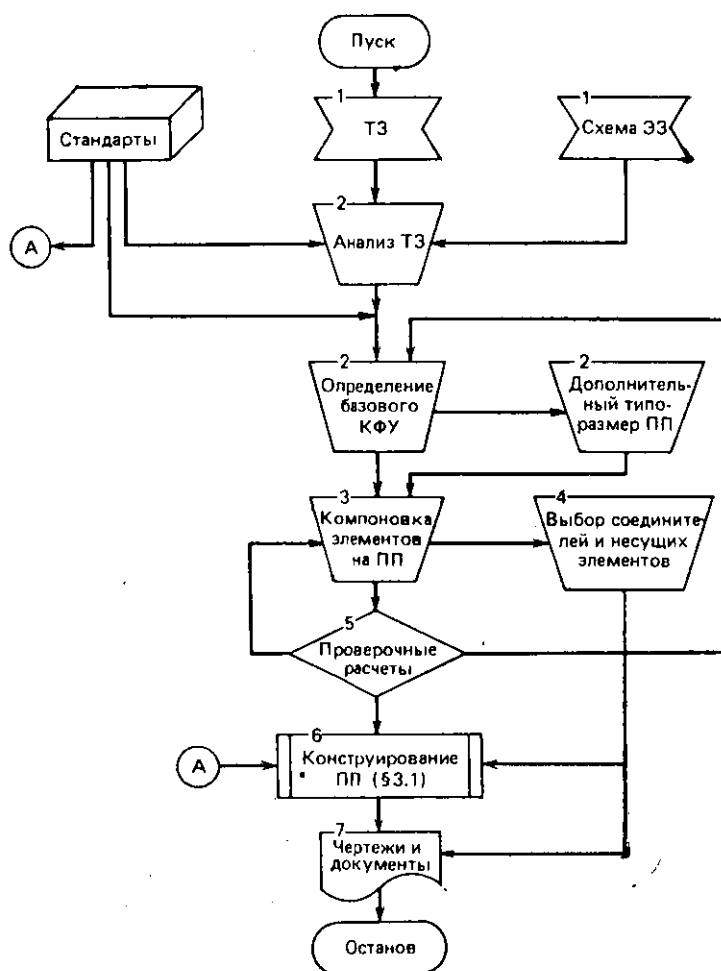


Рис. 3.23. Алгоритм конструирования изделий ЭВА на ИМС3... ИМС6

Основные размеры высоты (H) и ширины (B) печатных плат общего назначения выбираются по ГОСТ 10317—79. До 100 мм можно применять любые размеры, кратные 2,5 мм;

до 350 мм принимаются размеры, кратные 5,0 мм, а свыше 350 мм — кратные 10 мм. Предельные значения печатных плат указаны в табл. 3.3, при этом соотношение сторон не более 1 : 4. Числовые значения основных размеров печатных плат выбирают на основе исходного типоразмера 100 × 100 мм по смешанной системе мер: размер H — кратным U — 44,45 мм, размер B — кратным 60 мм. Так, в выборе типоразмеров печатных плат существует два направления, включающие размеры H , кратные $2U$: $2U$, $4U$, $8U$, $12U$ и кратные $3U$: $3U$, $6U$, $9U$, $12U$, и размеры B , кратные 60 мм: 100, 160, 220, 280, 400 мм.

Кроме этого, также находят применение типоразмеры печатных плат по метрической системе мер (по ГОСТ 10317—79), тогда H — 135; 140; 170; 360 мм и B — 150; 200, 240; 280 мм. Типоразмеры плат, применяемые в отечественной промышленности, даны в [4, табл. 4.2 и 4.6]. Типоразмеры комплектных корпусов принимаются по МС МЭК 297—1, 1983; присоединительные и установочные размеры — по МС МЭК 297—3, 1983.

2. Дополнительный типоразмер печатной платы или корпусов и КФМ определяется увеличением и уменьшением принятых размеров на этапе 1.

3. Компоновка элементов на плате, удовлетворяющая средней плотности элементов, приведенных к корпусам ИМС с 16-ю выводами, находится в пределах $5 \dots 12 \text{ см}^2/\text{ИМС}_{16}$.

Средняя плотность компоновки элементов в основном зависит от методов проектирования (автоматизированного или ручного), методов монтажа платы и компоновки элементов на ней; от площади платы; внешних и внутренних влияющих факторов. Например, для ячейки серии «Электроника» с двусторонним монтажом площадью 807 см^2 ($H \times B = 366,7 \times 220 \text{ мм}$) при полуавтоматизированной разводке плотность компоновки устанавливается $8 \text{ см}^2/\text{ИМС}_{16}$ (допускается до $6,5 \text{ см}^2/\text{ИМС}_{16}$) [4].

4. Выбор типа соединителя. В микропроцессорных системах применяются преимущественно два вида соединений — непосредственного и косвенного контактирования. В качестве магистральных соединителей применяются СНП 54—64394, СНП 59—96/94, СНП 34—135/132. Для интерфейсных связей используют СНО 51—40/62, СНР 53—60/95, ГРПМ 1—61 и др.

5. Проверочные расчеты, включающие оценку удельной тепловой нагрузки, которая для обычной конструкции ячейки (блока) с перфорированным кожухом при естественной

конвекции составляет 0,025 ... 0,05 Вт·см² или 15 ... 30 Вт/дм³. При этом необходимо искать конструктивное решение для обеспечения теплообмена с учетом распределения элементов, выделяющих тепловую энергию в пространстве КФМ.

Так как КФМ микропроцессорных систем имеют большую площадь, то необходимо оценить максимальную деформацию печатной платы по формуле (ГОСТ 23752--79) $h_{\max} = h_d L_{\text{контр}}^2 / 100^2$, где h_d — допустимая деформация (изгиб и скручивание) на 100 мм длины для двустороннего стеклотекстолита, равная 0,4 мм; $L_{\text{контр}}$ — размер контролируемой платы в направлении большей деформации, мм, например, для рассматриваемой печатной платы серии «Электроника» $L_{\text{контр}} = 366,7$ мм, $h_{\max} = 5,38$ мм.

При расчете наибольшего усилия расчленения электрических соединителей необходимо исходить из того, что усилие расчленения, приходящееся на одну контактную пару, в пределах 40 ... 120 г, тогда, например, для СНП 34 - 135/132 необходимо приложить наибольшее усилие 0,12 × 135 = 16,2 кг.

Для сложных условий эксплуатации микропроцессорной системы требуются более подробные расчеты теплового режима с учетом механических и радиационных воздействий (§ 3.2, табл. 1.2).

3.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ БЛОКОВ

При конструировании блоков применяется разъемный, этажерочный, книжный или кассетный вариант конструкции блоков в негерметичном и герметичном исполнении.

Выбор варианта конструкции блока производится исходя из технических требований, на основе анализа главных определяющих факторов, специфических для разрабатываемой аппаратуры (надежности, ремонтопригодности, габаритных размеров, массы, тепловых режимов, условий эксплуатации и др.).

По результатам анализа ТЗ в гл. 2 дана методика получения расширенных технических требований к конструкции, которые и служат ограничениями для выбора варианта конструкции блока. Здесь можно использовать известные из дисциплины «Теоретические основы конструирования, технологии и надежности» алгоритмы оптимизации по-

иска лучшего варианта. В частности, может быть полезен аппарат линейного программирования, случайного поиска и известные методы инженерного поиска [5, 7].

Блоки рекомендуется конструировать прямоугольной формы, за исключением некоторых вариантов бортовой аппаратуры, когда в технически обоснованных случаях форма блока может отличаться от прямоугольной.

Габаритные размеры корпусов блоков рекомендуется выбирать в соответствии с требованиями ГОСТ 26.201—80, ГОСТ 17046—71, ГОСТ 12863—67, ОСТ 4.ГО.010.009, ГОСТ 20504—81, ГОСТ 25122—82 и т. п. и ТЗ на конструирование. Принципы размерной и функциональной взаимозаменяемости могут быть реализованы на основе модульного (базового) принципа конструирования.

Возможные направления конструирования блоков зависят от разнообразных ограничений ТЗ. Так, в ТЗ на конструирование блока могут указываться ограничения в соответствии со стандартами, местом установки или другими индивидуальными данными. Учитывая наибольшую потребность в разработке конструкции блока на базе стандартов (например, ГОСТ 20504—81), в данном пособии будут рассмотрены методические аспекты конструирования блоков для данного типа ограничений.

Укрупненно алгоритм конструирования блока показан на рис. 3.24.

Остановимся на некоторых деталях рассматриваемого алгоритма конструирования.

1. Начальный этап анализа ТЗ (гл. 1 и 3) позволяет уточнить и конкретизировать назначение блока, конструктивно-технологические и эксплуатационные ограничения.

Как уже подчеркивалось в § 1.2, необходимо расширить информацию об ограничениях на размеры конструктивных элементов и конструкцию блока в целом. Для этого нужно иметь данные о связи функциональной сложности и конструктивной реализации (§ 1.2). Функциональная сложность изделия может быть оценена приближенно количеством функциональных элементов, которые имеют одинаковые конструктивно-технологические данные. Одним из таких элементов в ОСТ 4.ГО.010.036 [5] принято называть эквивалентный вентиль. Основываясь на результатах анализа аналогичных конструктивных решений, можно получить эмпирическую связь объема блока и функциональной сложности. Используя данные ГОСТ 17021—75, можно приближенно оценить функциональную сложность схемы

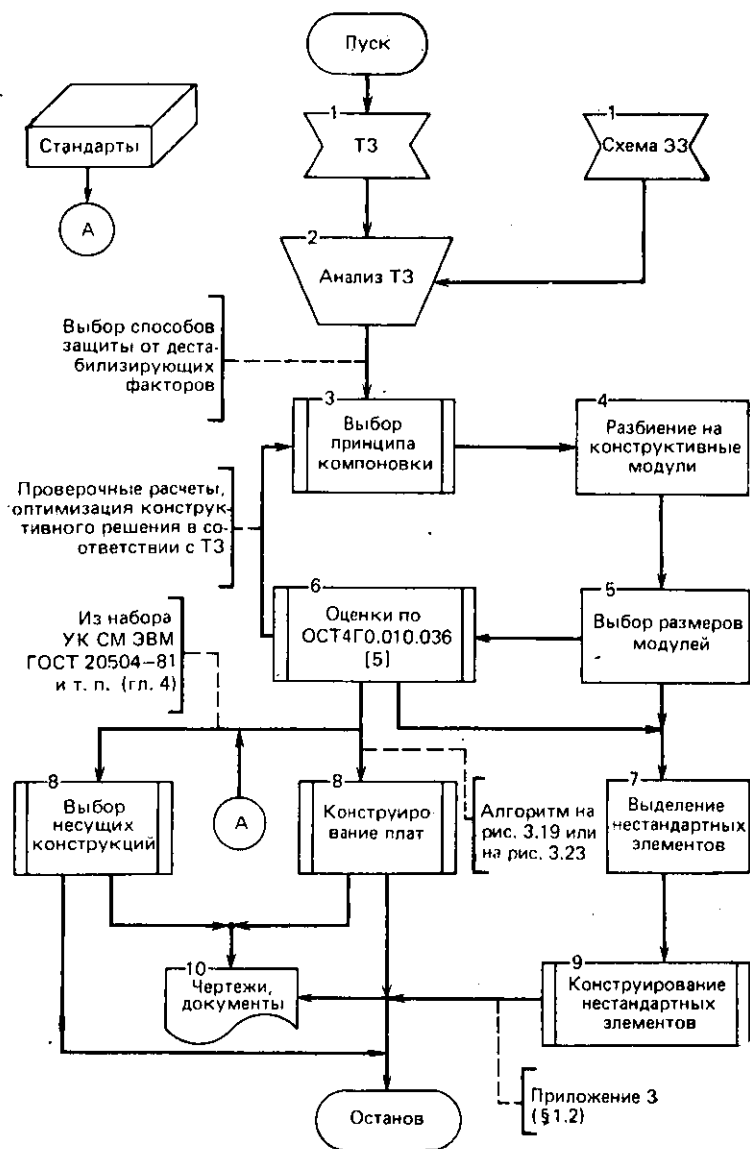


Рис. 3.24. Обобщенный алгоритм конструирования блока

электрической, реализованной на элементах различной степени интеграции.

Если сложно установить связь между физическими параметрами (назначением) и конструктивными размерами модулей по аналогичному изделию или такое изделие вообще отсутствует, то компоновку блока целесообразно осуществить «снизу—вверх». Тогда наличие данных о корпусах элементов и рекомендации по шагу установки навесных элементов (§ 3.1) позволяет оценить размеры платы. Оценка размеров корпуса блока возможна при учете принятого шага установки плат в блоке, монтажа, крепления пакетов плат для обеспечения эксплуатационной надежности.

2. Задача компоновки блока состоит в объединении функциональных элементов с помощью несущих, конструктивных, электрических связей и вспомогательных элементов (терминология для СМ ЭВМ).

3. Перечень проверочных расчетов на соответствие конструктивного решения ТЗ и их очередность зависят от типа разрабатываемой аппаратуры, сложности дестабилизирующих факторов (теплого, механического, радиационного воздействия) и определяется конструктором индивидуально (§ 1.2). Рекомендуется начать проверку с уточнения размеров, а затем проверить соответствие конструктивного решения механическим и климатическим условиям эксплуатации и т. д.

4. Выбор конструктивных способов защиты от дестабилизирующих факторов включает:

а) обоснование применения таких способов защиты от внешних воздействий, как полная или частичная герметизация изделия с помощью корпусов, заливки, пропитки, обволакивания, опрессовки [3];

б) определение видов применяемых покрытий (химических, гальванических и лакокрасочных по ОСТ 4.010.019—81, ГОСТ 9.008—82, ГОСТ 9.402—80, ГОСТ 9.032—74) [3];

в) выбор методов защиты от воздействия механических нагрузок [6];

г) выбор способов обеспечения нормального теплового режима устройства [7], при этом следует определить:

взаимоположение компонентов в изделии;

необходимость применения оребрения стенок корпуса или перфорирования [6];

необходимость применения радиаторов [7]

виды покрытий, увеличивающих теплоотдачу [3, 7];

необходимость термостатирования компонентов изделия [6];

необходимость применения дополнительных или специальных методов охлаждения [7];

5. Выбор конструктивных решений для обеспечения удобства эксплуатации и ремонтпригодности (удобство смены компонентов изделия, доступность к электрическим соединителям и контрольным точкам и т. п.) [6];

6. Обеспечение требований стандартизации, унификации и миниатюризации и оценка технологичности конструкции (ГОСТ 14.202-73, ГОСТ 14.203-73, ГОСТ 14.204-73) [5];

7. Оформление окончательного варианта конструктивного решения в соответствии с ЕСКД.

Перечисленные выше этапы конструкторской проработки должны быть отражены в пояснительной записке (ПЗ) и фактически являются названиями разделов ПЗ (см. гл. 5). Разделы ПЗ иллюстрируются рисунками (эскизами), таблицами, графиками, и содержат необходимые расчеты с применением ЭВМ. В ПЗ необходимо ссылаться на соответствующие чертежи графической части проекта.

А. Функциональные блоки ЭВА. В настоящее время конструктивные элементы ЭВА должны отвечать следующим требованиям:

- 1) модульного конструирования;
- 2) стандартизации;
- 3) унификации типоразмеров и ограничению компонентов конструкции;
- 4) современным методам автоматизированного конструирования;
- 5) прогрессивным технологическим процессам.

Конструирование изделий ЭВА выполняется с учетом требований к стандартизации. В настоящее время для ЕС и СМ ЭВМ разработаны стандартные базовые конструкции для радиоэлектронной аппаратуры — унифицированные типовые конструкции, для микроэлектронной аппаратуры — типовые конструкции.

С учетом поставленных выше требований комплексы универсальных типовых конструкций (УТК) можно подразделить на три класса в зависимости от условий эксплуатации и конструктивно-технологических особенностей [3].

Первый класс (УТК-I) — стационарная аппаратура, предназначенная для работы в отапливаемых и неотапливаемых помещениях категории 3 и 4 по ГОСТ 15150-69.

Второй класс (УТК-II) — стационарная, полустационарная и подвижная аппаратура, работающая на открытом воздухе, во временных помещениях и укрытиях, палатках, на колесном и гусеничном транспорте категории 1 и 2 по ГОСТ 15150-69 и 4 т 6 по ГОСТ 16019-78.

Третий класс (УТК-III) — аппаратура на ИМС и МСБ, устанавливаемая на подвижных объектах в труднодоступных местах и работающая на ходу в жестких условиях эксплуатации.

По ГОСТ 20504-81 рекомендуется применять унифицированные типовые конструкции УТК-20, предназначенные для использования в качестве несущих конструкций технических средств агрегатных комплексов приборов и средств автоматизации ГСП, в том числе измерительной и вычислительной техники, наладочно-испытательного оборудования для технологических установок.

Для микро-ЭВМ и микропроцессорных систем конструирование выполняют в соответствии с МС МЭК 3,1982 для частичных корпусов, МС МЭК 297-3, 1982, МСМ ЭК 291-1, 1982 для комплектных корпусов [4].

Разработку нетиповых конструкций выполняют для оригинальных или вновь разрабатываемых изделий. На начальных стадиях анализа такого ТЗ форма и размеры корпуса принимаются упрощенными и в основном зависят от места установки. Далее анализ ТЗ предусматривает декомпозицию конструкции изделия на подсистемы (§ 1.2). Оценка первоначального представления осуществляется с помощью агрегатирования конструктивных подсистем и проверкой выполнения требований ТЗ. Процесс конструирования оригинальных изделий предусматривает многократный анализ, синтез и оптимизацию конструктивного решения (рис. 1.2) с увеличением степени детализации конструктивных элементов. При этом конструктивное решение должно удовлетворять основному требованию современных изделий — минимизации временных и стоимостных затрат на стадии разработки, изготовления и эксплуатации. Эффективными средствами в достижении этой цели являются стандартизация и модульность конструктивного решения. Поэтому, выполняя оригинальную разработку, необходимо рационально использовать опыт предшествующих стандартных разработок отечественных и зарубежных аналогов.

Вариант разъемной конструкции. В изделиях 3-го конструктивного уровня разъемного типа ячейки (с одной или несколькими платами) кассеты, субблоки, типовые элементы замены (ТЭЗ) снабжаются, как правило, электрическим вилочным соединителем (разъемом), при помощи которого ячейка, ТЭЗ и т. п. легко вставляется или удаляется из блока прибора или панели.

Разъемная конструкция изделия 3-го конструктивного уровня может быть скомпонована из ячеек двух типоразмеров, установленных параллельно лицевой панели по высоте блока (рис. 3.25, а). Ячейки малого типоразмера устанавливаются в два ряда, ячейки двоянного типоразмера — в один.

Основным конструктивным элементом блока является каркас (рис. 3.25, а). Для фиксации ячеек в блоке предусмотрены направляющие. Электрический монтаж между ячейками может осуществляться с помощью коммутационной платы 6 (рис. 3.25, б) и соединителей ГРППЗ Кс0.364.003 ТУ и ГРППМ 7-90, Кс 0.364.10 ТУ, монтаж может осуществляться методом накрутки. Обычно ячейки крепятся невыпадающими винтами к угольнику, установленному в каркасе блока. На шасси блока со стороны задней панели часто предусмотрены ролики, обеспечивающие легкое выдвижение блока из шкафа.

Лицевая панель блока (рис. 3.25, а) может быть расположена со стороны установки ячеек, в этом случае ячейки можно устанавливать в один или два ряда в наборные шасси каркаса, тогда ячейки располагаются перпендикулярно задней стенке каркаса блока. Для установки и фиксации ячеек в шасси блока предусмотрены индивидуальные направляющие. Направляющие стянуты в пакет шпильками через боковые стенки наборного шасси. Электрический монтаж между ячейками можно осуществить с помощью электрического соединителя ГРПМ 1 Кс Р.364.006 ТУ на 61 контакт и монтажных проводов. Розетки электрических соединителей установлены на шасси. Для межблочных электрических соединений на боковых панелях блока установлены электрические соединители. Крепление ячеек в блоке осуществлено групповым способом с помощью прокладок, укрепленных на передних крышках блока.

Другой вариант блока разъемной конструкции (рис. 3.25, б) скомпонован из набора ячеек, которые установлены параллельно передней панели. На верхней и нижней стенках корпуса предусматриваются направляющие и

элементы крепления субблоков. Верхняя и нижняя стенки крепления к передней и задней панелям образуют замкнутую жесткую конструкцию. В таком блоке обычно имеются боковые съемные крышки. Электрический монтаж между ячейками может осуществляться с помощью электрического соединителя ГРПМ 1 на 61 контакт и монтажных проводов.

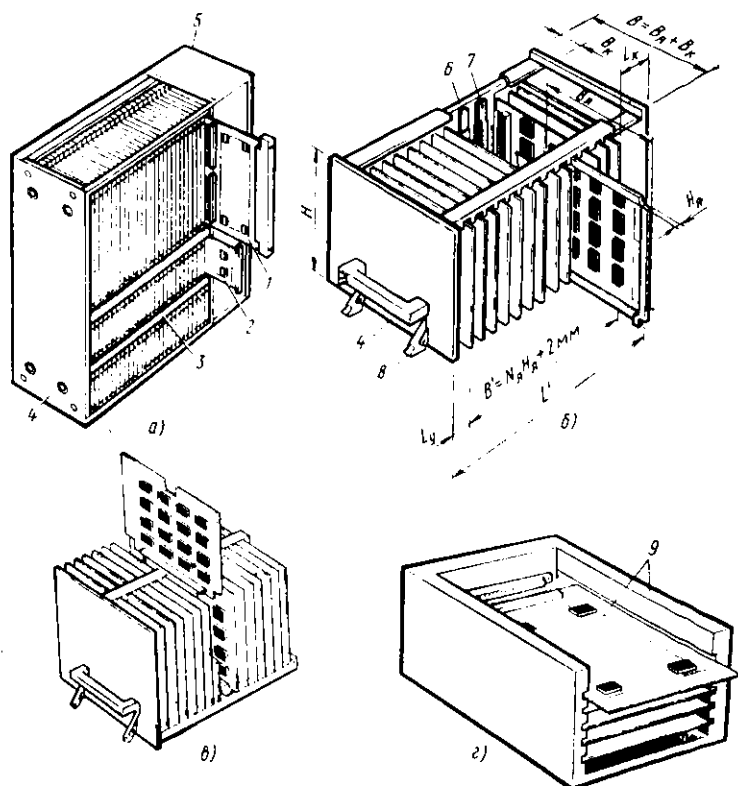


Рис. 3.25. Варианты разъемной конструкции изделий 3-го конструктивного уровня:

а — компоновка ячеек двух типоразмеров, установленных параллельно лицевой панели; *б* — компоновка ячеек параллельно передней панели; *в* — вертикальная ориентация ячеек относительно нижней стенки приборного корпуса; *г* — горизонтальная ориентация ячеек, субблоков больших размеров относительно нижней стенки корпуса блока.

1 — ячейка с электрическим соединителем сдвоенного типоразмера; 2 — ячейка с электрическим соединителем малого типоразмера (устанавливается в два ряда); 3 — каркас; 4 — панель передняя (лицевая); 5 — задняя стенка; 6 — плата коммутационная (монтажная панель); 7 — розетка электрического соединителя; 8 — замок; 9 — место установки болтов вентиляторов

Для варианта конструкции, представленной на рис. 3.25, б, можно устанавливать ячейки рядами по высоте блока. Ячейки (субблоки) в блоки обычно устанавливаются по направляющим. Электрическое соединение между субблоками осуществляется с помощью электрических соединителей и объемного монтажа.

Вертикальное расположение монтажной панели в сочетании с горизонтальной ориентацией ячеек больших размеров (относительно нижней стенки корпуса блока) (рис. 3.25, в) встречается в конструкциях мини- и микро-ЭВМ типа СМ2, «Электроника-60М». Тепловой режим изделия обеспечивается за счет применения принудительного охлаждения с одним или двумя блоками вентиляторов.

Горизонтальное расположение монтажной панели (рис. 3.25, г) затрудняет охлаждение блока естественной конвекцией. Данные блоки обычно ставят в приборы настольного типа унифицированной конструкции.

Базовые конструкции технических средств единой системы электронных вычислительных машин (ТС ЕС ЭВМ) имеют разъемный вариант конструкции элементов (ГОСТ 25122—82). Допускается выполнение базовых конструкций с размерами по СТ СЭВ 834—77. Выполнение конструкций ТС ЕС ЭВМ nestочного типа для периферийного оборудования определяется требованиями для конкретных устройств.

Базовые конструкции ТС ЕС ЭВМ строятся по модульному принципу, обеспечивающему создание унифицированных сборочных единиц в различных технических средствах (табл. 3.34).

Т а б л и ц а 3.34

Уровень модуля	Конструктивный модуль
Первый	Корпус интегральной схемы (ИМС, БИС), электрорадиоэлемент
Второй	Типовой элемент замены (ТЭЗ) (кассета, частичный вставной блок, пакет ТЭЗ)
Третий	Панель (блочный каркас), специальный блок
Четвертый	Рама
Пятый	Стойка (шкаф); тумба, пульт

Типовые элементы замены ТС ЕС ЭВМ выполняют на двусторонней или многослойной печатной плате. Габарит-

ные размеры и основные параметры печатной платы ТЭЗ должны соответствовать рис. 3.26 и табл. 3.35.

Расположение зон маркировки печатной платы, концевых печатных контактов или розетки соединителя должно соответствовать расположению на рис. 3.26. Допускается установка дополнительных соединителей в зонах в соответствии с рис. 3.26.

Центры отверстий под монтажные элементы и выводы должны располагаться в точках пересечения линий координатной сетки чертежа печатной платы.

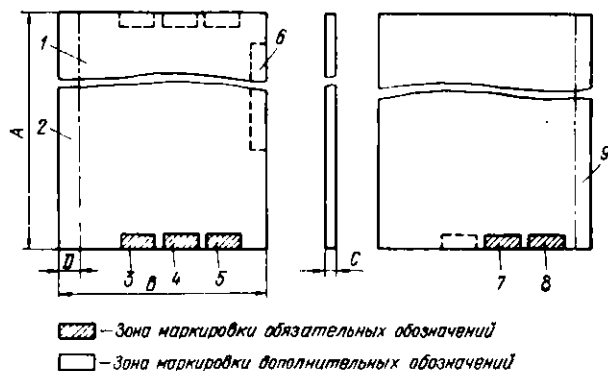


Рис. 3.26. Печатная плата ТЭЗ ТС ЕС ЭВМ:

1 — зона установки электрорадиоэлементов; 2 — зона расположения концевых печатных контактов или розетки соединителя; 3 — обозначение ТЭЗ; 4 — шифр ТЭЗ; 5 — заводской номер ТЭЗ; 6 — зона установки дополнительных разъёмных соединителей; 7 — заводской номер платы; 8 — обозначение печатной платы; 9 — зона расположения концевых печатных контактов

Максимальный габаритный размер установки конструктивных модулей первого уровня по высоте над печатной платой при шаге ТЭЗ, равном 15,0 мм, не должен превышать 8,5 мм.

Допускается увеличение габаритного размера установки конструктивных модулей первого уровня по высоте над печатной платой при условии обеспечения зазоров при установке ТЭЗ в панель и предотвращения электрического контактирования с рядом стоящими конструктивными элементами или ТЭЗ. Допускается выполнение конструктивного модуля второго уровня в виде пакета ТЭЗ, толщина пакета при шаге ТЭЗ, равном 15,0 мм, не должна превышать $(15n - 2,0)$ мм, где $n = 2,3$ и т. д.

Т а б л и ц а 3.35. Габаритные размеры печатной платы
(ТЭЗ) ТС ЕС ЭВМ, мм

Наименование параметра	Обозначение	Габаритные размеры, мм	
		1	2
Число колодок соединителя, шт.	—	1	2
Ширина печатной платы	A	140	300; 310; 320; 330
Длина печатной платы	B	150	
Толщина печатной платы: двусторонней	C	1,5	
многослойной, не более		2,6	
Ширина зоны расположения концевых печатных контактов или розетки соединителя, не более	D	1,5	
Диаметр монтажных отверстий, не менее	E	0,8	
Шаг координатной сетки чертежа печатной платы в двух взаимно перпендикулярных направлениях	F	Определяется присоединительными размерами (шагами выводов) корпусов ИМС	

П р и м е ч а н и е. Дополнительные шаги координатной сетки (рис. 3.49) печатной платы F/n , где $n=2-6$.

Печатная плата ТЭЗ должна предусматривать возможность для его съема (ТЭЗ из панели следует извлекать специальным съемником).

Допускается установка в ТЭЗ конструктивных элементов (ручки, рычагов и т. п.), позволяющих без нарушения целостности ТЭЗ и его печатной платы производить его съем.

Основные размеры панелей и блоков ТС ЕС ЭВМ различного назначения должны соответствовать ГОСТ 25122—82.

Шаг установки ТЭЗ в панелях должен быть равным 15,0 мм. В технически обоснованном случае допускается шаг установки ТЭЗ, равный $(15,0 \pm 2,5 m)$ мм, где $m = 1, 2, 3$ и т. д.

По ГОСТ 25122—82 допускается применение специальных блоков с печатными узлами со следующими габаритными размерами печатных плат: ширина $(140 \pm 5 K)$ мм, длина $(150 \pm 5 K)$ мм, где $K = 0, 1, 2, 3$ и т. д.

Шаг координатной сетки чертежа печатной платы панели в двух взаимно перпендикулярных направлениях должен быть 2,5 мм. Монтажные отверстия в печатной плате панели, предназначенные для соединения выводов модульных элементов первого уровня или контактов соединителя с печатной платой, должны иметь диаметр не менее 0,8 мм. Размеры некруглых отверстий не регламентируются.

Оценочный расчет массогабаритных параметров блоков разъемной конструкции. Для стационарных ЭВМ типа ЕС ЭВМ используются конструкции стандартных панелей, в которых помещается 20 или 40 ячеек (ТЭЗ). В этом случае количество ТЭЗ, равное N_n , является основополагающим при определении массогабаритных параметров панели (блочного каркаса) специального блока.

Обоснование типоразмера 3-го конструктивного уровня можно выполнить в следующей последовательности:

1) выбор ширины корпуса блока B исходя из ширины печатной платы с установленными на ней ИМС и ЭРЭ (рис. 3.25, б) — B_n и ширины зоны коммутации ячеек $B_k \approx 30 \dots 50$ мм по ОСТ 4.ГО.010.009 или другим нормативным документам;

2) определение длины

$$L' = N_n H_n + L_k + L_y; \quad (3.56)$$

3) выбор длины корпуса блока по L' ;

4) выбор двухъярусной конструкции корпуса блока (рис. 2.1), если корпус блока подобрать нельзя (L' большое); при этом

$$L' = \left(E \left\lfloor \frac{N_n - 1}{2} \right\rfloor + 1 \right) H_n + L_k + L_y, \quad (3.57)$$

где E — целая часть;

5) если и при этом корпус блока не удастся подобрать, то необходимо выбрать некоторое количество блоков N_6 из ряда чисел меньше 2^n , где n принимает значения чисел натурального ряда $n = 1, 2, 3, \dots, a$

$$L' = \left(E \left\lfloor \frac{N_n - 1}{2^n} \right\rfloor + 1 \right) H_n + L_k. \quad (3.58)$$

Выбор H зависит от количества ярусов и размеров платы (на рис. 3.25, б $H_n \approx L_n$).

Входимость изделий низшего конструктивного уровня в высший обеспечивается с помощью вспомогательных изделий соответствующего уровня. В расчетах можно использовать рекомендации нормативных документов на размеры вспомогательных изделий ОСТ 4.ГО.010.009, ГОСТ 20504—81 и т. п.

Размеры корпуса блока в основном зависят от варианта компоновки, количества плат, типа соединителей, коммутационных связей (B_k) и условий эксплуатации.

Блоки книжной конструкции. Блоки книжной конструкции на рис. 3.27 скомпонованы из набора печатных плат, которые объединены между собой механически и с несущей конструкцией осуществляют крепление шарнирными узлами, позволяющими поворачивать относительно оси раскрытия печатные платы подобно страницам книги. В рабочем состоянии печатные платы стягиваются в пакет стяжными винтами.

Блок книжной конструкции на рис. 3.27, а скомпонован из набора печатных плат, которые установлены перпендикулярно передней панели блока. Печатные платы шарнирно соединены между собой и с основанием корпуса блока. Электрическое соединение между печатными платами и внешним соединителем осуществлено с помощью монтажных проводов, пропущенных через колодки. Такой способ соединения обеспечивает максимальный угол раскрытия. Печатные платы стянуты в пакет распорными втулками и винтами через боковые крышки блоков.

Блок книжной конструкции на рис. 3.27, б скомпонован из набора субблоков, которые установлены перпендикулярно передней панели. Субблоки шарнирно соединены между собой вдоль вертикальной оси раскрытия в звенья (двойки), или кассеты, которые также шарнирно соединены между собой и с корпусом блока. Такое соединение обеспечивает наилучшее условие раскрытия при большом количестве субблоков. Электрическое соединение между субблоками и внешним соединителем осуществлено с помощью монтажных проводов.

Субблоки стянуты в пакет винтами через боковые крышки. Блок книжной конструкции на рис. 3.27, в состоит из пакета субблоков, установленных параллельно (или перпендикулярно) лицевой панели. Крепление субблоков в блоке групповое. Электрическое соединение в блоке выпол-

няется с помощью коммутационных печатных плат, ГПК (гибкого печатного кабеля) и плоского ленточного кабеля [3].

Конструкция блока (рис. 3.27, а) предусматривает установку коммутационных плат как параллельно субблокам,

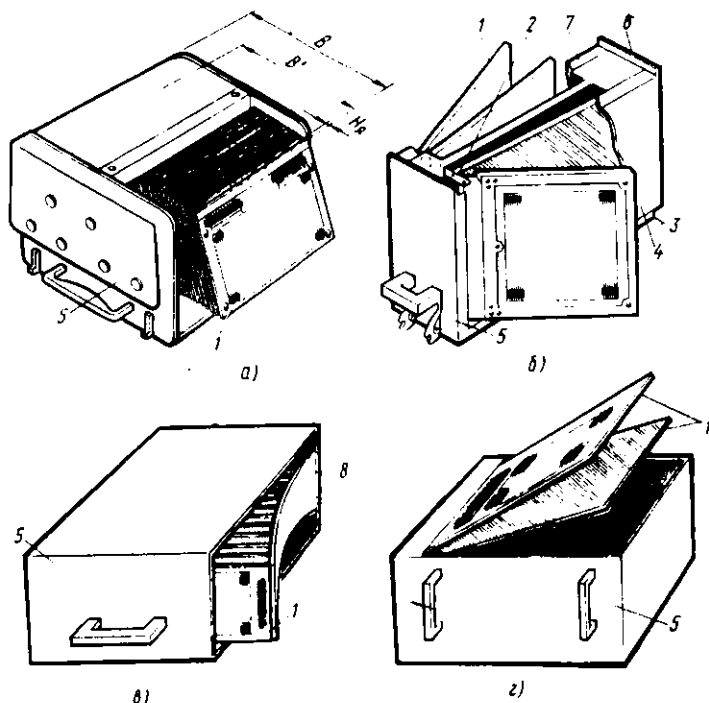


Рис. 3.27. Варианты блоков книжной конструкции:

а — ячейки установлены перпендикулярно передней панели блока, коммутация ячеек в верхней части корпуса; б — субблоки установлены перпендикулярно передней панели с коммутацией между ними у тыльной стенки корпуса; в — пакет субблоков установлен параллельно или перпендикулярно лицевой панели; г — блок с вертикальной осью раскрытия.

1 — субблок; 2 — шарнир; 3 — основание (дно); 4 — стенка боковая; 5 — панель передняя; 6 — панель задняя; 7 — крышка боковая; 8 — коммутационная плата

так и перпендикулярно им. При установке блока в стойку теплоотводящие пружины, установленные на субблоках, контактируют по стенкам стойки, обеспечивая отвод тепла от микросхем к корпусу.

Блок книжной конструкции с вертикальной осью раскрытия (рис. 3.27,г) состоит из набора субблоков, комму-

тационной платы, задней стенки и передней панели, шарнирно соединенных между собой. Дно и крышка блока съемные. Боковые стенки шарнирно соединены с передней панелью и снабжены со стороны задней панели крошштейнами, сопрягающимися с винтами задней панели, предназначенными для стягивания пакета. Конструкция элементов шарнирного устройства исключает возможность соприкосновения смежных субблоков в процессе раскрытия и обеспечивает плотное взаимное прилегание субблоков по опорным поверхностям при стягивании пакета.

Электрические соединения субблоков, ячеек, ТЭЗ, касет выполняется в соответствии с рекомендациями § 4.3.

Оценочный расчет параметров блоков книжной конструкции. Книжный вариант конструкции блока имеет постоянную фиксированную длину и высоту. Это объясняется применением ячеек с постоянным типоразмером печатных плат.

Наращивание функциональных возможностей изделия приводит к увеличению количества ячеек, а следовательно, и к изменению ширины B , по которой и определяется блок (рис. 3.27, а). В этом случае выбор корпуса блока (при определенной его длине) сводится только к выбору ширины B , исходя при этом из ширины пакета ячеек B' . Ширина пакета ячеек определяется высотой ячейки $H_{я}$, количеством ячеек $N_{я}$ и конструктивным зазором по 2 мм с обеих сторон пакета ячеек. На каждые три ячейки книжной конструкции приходится одна коммутационная плата. Эта плата устанавливается с тем же шагом, что и обычная ячейка.

В случае, если ширина пакета превышает 120 мм, то используют два пакета. Раскрытие страниц предусматривается для одного пакета в левую сторону, раскрытие второго пакета — вправо (рис. 3.27, б). Вспомогательные изделия — шарниры займут дополнительный объем, и ширине B' необходимо увеличить на 15 мм.

Определив ширину пакета, можно подобрать ширину корпуса блока. Если пакет не размещается в найденных максимальных размерах, рекомендуемых нормативными документами, то необходимо выбрать некоторое количество блоков из ряда чисел 2^n , начиная с единицы и последовательно увеличивая на единицу до тех пор, пока пакет ячеек шириной

$$B' = L \left(E \left\lfloor \frac{N_{я} - 1}{3 \cdot 2^n} \right\rfloor + 1 \right) H_{я} + 4 \quad (3.59)$$

не будет размещаться в корпусе блока шириной B , при этом количество блоков аппаратуры N_6 принимается равным 2^2 .

Б. Блоки питания. Большое значение для высокого качества современных средств обработки информации играют источники питания. Неоправданно малое внимание к источникам питания при разработке аппаратуры приводит к значительным габаритным размерам ЭВА, большой энергоемкости, низкому КПД, снижению качества изделия в целом и, следовательно, к его низкой конкурентоспособности по сравнению с зарубежными образцами.

При решении проблемы оптимального проектирования силовых электронных устройств можно использовать рекомендации [12] и материалы сборника статей «Электронная техника в автоматике»/Под ред. Ю. И. Конева, вып. 11. — М.: Советское радио, 1980).

Для принятой формы изделия в виде прямоугольного параллелепипеда полная геометрическая поверхность корпуса конструкции силового электронного устройства определяется по формуле

$$S = 2ab + 2h(a + b) = 2[ab + 2h(a + b)/2], \quad (3.60)$$

где a, b — размеры основания, см; h — высота конструкции, см.

Заменив среднее арифметическое a и b в (3.60) их средним геометрическим, получим приближенное значение полной поверхности

$$S_{\text{прибл}} = 2(ab + 2h\sqrt{ab}). \quad (3.61)$$

Тогда оценку относительной погрешности можно выполнить по следующей формуле:

$$\delta^0 = \frac{S - S_{\text{прибл}}}{S} = \frac{h'(1 - \sqrt{k})^2}{1 + h'(1 + \sqrt{k})}, \quad (3.62)$$

где $h' = h/a$; $k = b/a$.

Анализ результатов (3.62) для $k = 1,5; 2; 2,5; 3$ и $h' = 0,1; 0,2; 0,3 \dots$ показывает, что $\delta^0 \leq 5\%$ и удовлетворяет требованиям инженерных расчетов, т. е. можно практически использовать (3.61). В этом случае объем устройства можно выразить рекуррентным выражением

$$V = h^3 (\sqrt{1 + S_T/2h^2} + 1)^2. \quad (3.63)$$

Подставив в (3.63) значение требуемой поверхности теплоотвода $S_T = S_{\text{у.п.т}} Q_{\text{расс}}$ для заданной $S_{\text{у.п.т}}$ поверхности теплоотвода на 1 Вт рассеиваемой мощности (удельной

поверхности теплоотвода) и $Q_{\text{расс}}$ рассеиваемой мощности, найдем

$$V = h^3 \left(\sqrt{1 + Q_{\text{расс}} S_{\text{у.п.т}} / 2h^2} - 1 \right)^2. \quad (3.64)$$

В проверочных расчетах целесообразно оценить соотношение объемов ИВЭ и потребителя. Приняв $h_{\text{п}}$, $h_{\text{н}}$, h (индексы «п» и «н» относятся к преобразователю и нагрузке), найдем

$$\frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{н}}} = \left(\frac{\sqrt{1 + \frac{(1 - \eta_{\text{п}}) Q_{\text{вых}} S_{\text{у.п.т}}}{\eta_{\text{п}} \eta_{\text{н}} 2h^2}} - 1}{\sqrt{1 + \frac{(1 - \eta_{\text{п}}) Q_{\text{вых}}}{\eta_{\text{п}} 2h^2} S_{\text{у.п.т}}} - 1} \right)^2, \quad (3.65)$$

где $\eta_{\text{п}}$ — КПД нагрузки; $\eta_{\text{н}}$ — КПД преобразователя; $Q_{\text{вых}}$ — выходная мощность потребителя. Отсюда видно, что, объем ИВЭ может быть мал по сравнению с объемом потребителя только при высоких КПД источника.

Удельная мощность ИВЭ с учетом рассеиваемых в конструкции потерь определяется выражением

$$\frac{Q_{\text{вых}}}{V_{\text{п}}} = \frac{Q_{\text{вых}}}{h^3 \left(\sqrt{1 + \frac{Q_{\text{вых}} (1 - \eta)}{2h^2 \eta} S_{\text{у.п.т}}} - 1 \right)^2}. \quad (3.66)$$

Наилучшие показатели (3.66) могут быть достигнуты в ключевых стабилизаторах напряжения, имеющих КПД 0,9 и более. Мощность нагрузки оказывает определенное влияние на предельную удельную мощность: с ростом $Q_{\text{вых}}$ удельная мощность снижается при прочих равных условиях.

Задача оптимизации объема ИВЭ формулируется следующим образом: минимизировать функцию

$$V_{\text{п}} = h^3 \left(\sqrt{1 + Q_{\text{расс}} S_{\text{у.п.т}} / 2h^2} - 1 \right)^2 \quad (3.67)$$

при ограничении

$$h^2 \left(\sqrt{1 + Q_{\text{расс}} S_{\text{у.п.т}} / 2h^2} - 1 \right)^2 \geq S_{\Sigma} K_{\text{к.з}}, \quad (3.68)$$

$$h \leq A, \quad (3.69)$$

где A — заданное число (предельное значение высоты); $K_{\text{к.з}}$ — коэффициент конструктивного запаса; S_{Σ} — суммарная площадь, занимаемая элементами.

В приведенной постановке задачи предполагалось, что отвод тепла осуществляется всеми гранями конструкции, поверхность которой не имеет ребер. Элементы размещаются только на площади основания. При оребрении поверхности основания и крышки конструкции (3.67) принимает вид

$$V_{\text{н}} = \frac{h_1^3}{K_1^2} \left(\sqrt{1 + \frac{K_1 Q_{\text{расс}} S_{\text{у.п.т}}}{2h_1^3}} - 1 \right)^2, \quad (3.70)$$

где K_1 — коэффициент, учитывающий увеличение поверхности при наличии ребер; h_1 — высота конструкции с учетом оребрения.

Расположение элементов на основании конструкции и крышке приведет к тому, что ограничение (3.68) распадается на два. В оптимизационной задаче (3.67) — (3.69) могут быть сформулированы и другие ограничения, накладываемые на параметры всего устройства или на отдельные элементы. (Методы решения поставленной задачи оптимизации известны из дисциплины «Теоретические основы конструирования и надежности» (§ 3.8).)

Пример 3.5. Требуется найти минимальный объем двухзвенного LC-фильтра при учете активных сопротивлений конденсаторов. Для объема каждого дросселя (из практических рекомендаций в сборнике статей «Электронная техника в автоматике»/Под ред. Ю. И. Конева, вып. 11. — М.: Советское радио, 1980) выбираем аппроксимирующее выражение

$$V_L = 2120 - 2089 \exp(-2,46L), \text{ см}^3.$$

Объем конденсаторов первого и второго звеньев фильтра

$$V_{C1} = 32 \cdot 10^3 C_1, \text{ см}^3; \quad V_{C2} = 23,4 \cdot 10^3 C_2, \text{ см}^3.$$

Сопротивление потерь первого и второго конденсаторов, Ом,

$$r_1 = r_1^* C_1^*/C_1; \quad r_2 = r_2^* C_2^*/C_2,$$

где C_1^* , C_2^* , r_1^* , r_2^* — емкости и сопротивления единичных конденсаторов, из которых составляется C_1 и C_2 .

Следовательно, целевую функцию можно записать так:

$$V_{\text{ср}} = 4240 - 2089 [\exp(-2,46L_1) + \exp(-2,46L_2)] + 32 \times 10^3 C_1 + 23,4 \cdot 10^3 C_2.$$

При расчёте должен выполняться заданный коэффициент сглаживания фильтра $k_{\text{сгл}}$, удовлетворяющий соотношению

$$k_{\text{сгл}} = G \sqrt{D(F^2 + P^2)},$$

где

$$G = [(1 + T_1^2)(1 + T_2^2)]^{-1/2},$$

$$D = (1 + T_1^2 - \omega^2 L_1 C_1)^2 + T_1^2 (\omega^2 L_1 C_1)^2;$$

$$F = 1 - (\omega^2 L_2 C_2 - T_2^2);$$

$$P = \frac{\omega L_2}{R_H} + T_2 \left(\omega^2 L_2 C_2 + T_2 \frac{\omega L_2}{R_H} \right);$$

$$T_1 = \omega r_1 C_1^*; T_2 = \omega r_2 C_2^*; \omega = 2 \pi f.$$

При решении данной задачи индуктивности и емкости должны находиться в определенных границах: $L_1 \geq L_{1min}$; $L_1 \leq L_{1max}$; $L_2 \geq L_{2min}$; $L_2 \leq L_{2max}$; $C_1 \geq C_1^*$; $C_2 \geq C_2^*$.

Таким образом, задача нахождения минимального объема двухзвенного LC-фильтра свелась к решению задачи оптимизации при одном ограничении типа равенство и шести ограничениях типа неравенство.

Для задачи с данными: $k_{срл} = 4160$; $R_H = 10$ Ом; $r = 0,20$ Ом; $r^* = 0,1$ Ом; $f = 2$ кГц; $L_{1min} = 0,82$ мГн; $L_{1max} = L_{2max} = 160$ мГн; $L_{2min} = 0,3$ мГн; $C_1^* = 22$ мкФ; $C_2^* = 30$ мкФ решение проводилось при различных сочетаниях значений вектора (L_1, L_2, C_1, C_2) .

Результат решения: $V_\Phi = 95,6$ см³; $L_1 = 1,8$ мГн; $L_2 = 2,75$ мГн; $C_1 = 162$ мкФ; $C_2 = 212$ мкФ.

В этом примере тепловой режим не входил в ограничение задачи, так как предполагалось, что все элементы фильтра могут работать при заданных температурных условиях.

Если в оптимизационной задаче не имеет место ограничение по высоте конструкции (3.69), то (3.67) и (3.68) переходят в следующее рекуррентное соотношение:

$$h^3 (V \sqrt{1 + Q_{\text{расс}} S_{\text{у.п.т}} / 2h^2} - 1)^2 = S_{\Sigma} K_{\text{н.з}}, \quad (3.71)$$

где $K_{\text{н.з}}$ — коэффициент конструктивного запаса. Следовательно требуемая поверхность основания по тепловому режиму должна быть равна поверхности основания, требуемой для размещения элементов.

Соотношение (3.71) можно рассматривать как уравнение относительно искомым переменных. Целесообразно одни переменные выразить через другие. Например, индуктивность и емкость сглаживающего фильтра можно представить как функции конструктивных параметров элементов и частоты. В свою очередь, площадь основания, занимаемую конденсаторами и дросселями, можно выразить через S или L , аналогично площадь, занимаемую трансформатором, можно выразить через частоту (при заданных плотности тока и индукции). Таким образом, (3.71) можно свести к одному неизвестному — частоте, полагая, что высота конструкции h — максимальное значение из множества, определяемого высотами компонентов.

Конструктивные параметры ИВЭ должны соответствовать ограничениям стандартизации и унификации, так для ЕС ЭВМ по ОСТ 4.ГО.208.006 регламентируются типы размеров и параметры унифицированных источников питания (УВИП).

Тепловой режим работы блока питания выполняют в соответствии с рекомендациями § 2.5, 3.1, 6.1 [6, 7].

В. Блоки загоминающих устройств. Для оценки конструкции ЗУ используют показатель удельной стоимости. Удельная стоимость ЗУ определяется отношением его стоимости к информационной емкости, т. е. стоимостью бита хранения информации. Кроме этого, для ЗУ весьма существенными являются характеристика надежности, а для систем специального назначения — массогабаритные характеристики и потребляемая мощность. Важной характеристикой ЗУ является способность сохранения информации при отключении источников питания.

Анализ характеристик быстродействия, достижимой емкости и удельной стоимости БИС ОЗУ показывает, что выпускаемые в настоящее время БИС полупроводниковой памяти перекрывают почти весь диапазон применений ОЗУ [8].

Для микро-ЭВМ конструкции печатных плат блоков ОЗУ, ППЗУ (перепрограммируемых постоянных ЗУ) и ПЗУ (постоянных ЗУ) аналогичный ячейкам, субблокам других устройств ЭВМ (рис. 3.21, 3.22). Особенности конструирования таких ЗУ заключаются в наличии на одной печатной плате разногабаритных элементов, что вызывает значительные трудности при автоматизации конструирования.

3.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА БЛОКОВ

А. Заземление. Выбор способа заземления и элементов заземляющих устройств для ячеек и блоков электронной аппаратуры следует производить в соответствии с требованиями ОСТ 4.ГО.010.009; ОСТ 4.ГО.209.001; ОСТ 4.ГО.773.000; ОСТ 4.ГО.583.000 и ОСТ 4.ГО.483.001.

При заземлении элементов конструкции, выполненных из металлического проката (алюминиевого и стального), следует руководствоваться ОСТ 4.ГО.773.000 и ОСТ 4.ГО.483.000.

При заземлении шинами следует пользоваться ОСТ 4.ГО.483.001.

Общие рекомендации к выполнению заземления ОСТ 4.ГО.010.009 следующие:

1) непосредственный электрический контакт заземляющего печатного проводника с несущей конструкцией ячейки или блока не допускается;

2) для заземления ячеек следует использовать их концевые контакты соединителя;

3) в местах выхода экранированного кабеля из блока необходимо обеспечивать надежное контактирование экранирующей оплетки кабеля с корпусом блока;

4) нарушение заземления не допускается (при раскрытии пакета книжных конструкций);

5) заземление ячеек в блоках выполняется последовательным и параллельным способами [7].

Б. Экранирование. Выбор способов защиты рекомендуется выполнять в соответствии с [3, 6].

Для защиты от внешних электромагнитных и электростатических полей применяются экраны.

Материал и толщина экранов для защиты от электромагнитных полей выбираются в зависимости от частоты электромагнитного поля. Экраны для защиты от постоянных и медленно изменяющихся магнитных полей следует выбирать из материалов с высокой магнитной проницаемостью (табл. 3.36), а от электростатических полей — из диамагнитных материалов. Качество экранирования зависит от толщины экрана.

Допускается экранирование в ячейках групп ИМС и других навесных элементов, при этом следует предусматривать надежное контактирование экрана путем его пайки с заземляющим полем печатной платы.

Экранирование ячеек в блоках может быть осуществлено с помощью металлических экранов, располагаемых между ячейками. В качестве материалов для экранов используются металлические пластины или фольгированный диэлектрик.

Экран должен иметь надежный контакт с переходными контактами и через них с земляным полем объединительной печатной платы.

Экранирование печатных шин гибких печатных кабелей следует осуществлять путем заземления рядом расположенных проводников.

При необходимости допускается размещение электростатических экранов на внутренних слоях МПП.

Т а б л и ц а 3.36. Характеристики материалов для экранов

Материал	Относительная магнитная проницаемость μ_r	Частота, Гц	Толщина материала, мм, не менее
Медь	1	10^5	0,30
		10^6	0,10
		10^7	0,05
		10^8	0,03
Латунь	1	10^5	0,60
		10^6	0,20
		10^7	0,10
		10^8	0,10
Алюминий	1	10^5	0,50
		10^6	0,15
		10^7	0,10
		10^8	0,05
Сталь	50	10^6	—
		10^6	0,05
		10^7	0,05
		10^8	0,05
	200	10^2	2,00
		10^3	0,50
		10^4	0,20
		10^5	0,08
Пермаллой	12 000	10^2	0,60
		10^3	0,20
		10^4	0,08
		10^5	0,02

Особое внимание уделяют экранировке при обеспечении электрогерметичности изделия ЭВА.

3.5. ЗАЩИТА БЛОКОВ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Основным способом изоляции блоков ЭВА от вибрации и ударов является установка ее на виброизоляторы. Основные параметры приборных амортизаторов приведены в [3, 6, с. 177—183].

При воздействии на изделие ЭВА гармонических колебаний система виброизоляции моделируется системой с одной степенью свободы и ее расчет может быть выполнен, если заданы габаритные размеры и масса прибора, координаты центра тяжести, число виброизоляторов N , координаты их установки l_x , l_y , l_z , амплитуда или частота возмущающих колебаний и допустимая перегрузка, действующая на прибор.

Порядок расчета рассмотрим на примере [6].

Пример 3.6. Прибор весом $G = mg = 40 \cdot 10$ Н должен быть установлен на четыре виброизолятора. Виброизоляторы расположены на днище прибора симметрично относительно осей X и Y . Центр тяжести прибора совпадает с геометрическим центром и с началом координат. Частота вынужденных колебаний $f_B = 24$ Гц. Допустимая перегрузка, действующая на прибор, $j = 4g$. Необходимо выбрать виброизоляторы, определить коэффициенты расстройки и передачи при виброизоляции.

Находим максимальную амплитуду колебания прибора

$$S_a = 250/jf_B^2 = 250 \cdot 4/24^2 = 1,74 \text{ мм} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (3.72)$$

Суммарная жесткость виброизоляторов системы

$$c_\Sigma = G/S_a = 40 \cdot 10/1,74 \cdot 10^{-3} = 23 \cdot 10 \text{ Н/м.} \quad (3.73)$$

Тогда нагрузка на один виброизолятор будет $p_i = 40 \cdot 10/4 = 100$ Н и жесткость виброизолятора $c_i = 23 \cdot 10^4/4 = 5,75 \cdot 10^4$ Н/м.

Из этих условий выбираем виброизоляторы типа АП-3-11,5 (см. табл. 8.1 в [6]). Находим собственную частоту системы

$$f_0 = (1/2\pi) \sqrt{c_\Sigma/m} \approx 0,16 \sqrt{23 \cdot 10^4/40} = 12 \text{ Гц.} \quad (3.74)$$

Коэффициент расстройки

$$\eta_p = f_B/f_0 = 24/12 = 2, \quad (3.75)$$

т. е. удовлетворяет условию $\eta_p = 2 \dots 5$ [6]. Пренебрегая демпфированием как малой величиной, находим коэффициент передачи

$$v_H = 1/(\eta_p^2 - 1) = 1/(2^2 - 1) = 0,33. \quad (3.76)$$

В системе с одной степенью свободы получаются однонаправленные колебания, поэтому статические нагрузки виброизоляторов p_i образуют систему параллельных сил, удовлетворяющих условию

$$\sum_{i=1}^N p_i = G; \quad \sum_{i=1}^N p_i l_x = 0; \quad \sum_{i=1}^N p_i l_y = 0 \quad (3.77)$$

и дополнительному уравнению

$$\sum_{i=1}^N p_i l_x l_y = 0. \quad (3.78)$$

Первое из этих условий означает, что общая грузоподъемность всех виброизоляторов равна весу виброизолированной аппаратуры. Последующие три условия означают, что центр параллельных упругих сил виброизоляторов совпадает с центром тяжести виброизолированной аппаратуры.

Виброизоляторы должны быть установлены на жесткой плоскости. Кроме того, виброизоляторы должны иметь ограничители, препятствующие отрыву изделия ЭВА от фундамента при разрушении упругих элементов. Как отмечалось в гл. 1, наиболее перспективными методами конструирования являются методы, основанные на применении ЭВМ.

В качестве примеров реализации программных модулей для диалогового режима работы конструктора с микро-ЭВМ ниже приведены модули для оценки собственных частот виброизолированных систем [6]. Программные модули на языке БЭЙСИК для работы на микро-ЭВМ типа «Электроника-60».

Первый программный модуль можно использовать, когда центр жесткости виброизоляторов совпадает с центром тяжести прибора, масса которого равномерно распределена по объему [6, с. 169].

Второй программный модуль можно использовать, когда виброизоляторы крепятся к основанию прибора в одной плоскости и симметрично относительно плоскостей XZ и YZ . Координаты осей являются главными осями моментов инерции, а центр тяжести прибора и начало координат находятся на высоте l_2 от плоскости, проходящей через центр жесткости системы, параллельной плоскости X, O, Y [6, с. 170].

Программный модуль, приводимый ниже, позволяет оценить изоляцию аппаратуры от ударов [6, с. 176].

Под влиянием виброускорений в элементах конструкций ЭВА возникает инерционные нагрузки, создающие механические напряжения, из-за чего одно из условий работоспособности может быть сформулировано в виде непревышения действующим уровнем напряжения определенного предельно допустимого значения. Например, для одноосного напряженного состояния условие работоспособности записывается в виде

$$|\eta_{a,n}| \leq \sigma_a / \sigma_d, \quad (3.79)$$

```

5   DIM F(10)
10  PRINT'ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ АМОТИЗИРОВАННЫХ
    СИСТЕМ'
20  PRINT'СЛУЧАЙ 1: ЦЕНТР ЖЕСТКОСТИ АМОТИЗАТОРОВ СОВПАДА
    ЕТ С ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ ПРИБОРА, МАССА'
30  PRINT'      КОТОРОГО РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕНА ПО'
40  PRINT'      ОБЪЕМУ, И НАЧАЛОМ КООРДИНАТНЫХ ОСЕЙ'
50  PRINT'      X,Y,Z. ОНИ ЖЕ ЯВЛЯЮТСЯ ГЛАВНЫМИ ЦЕНТ
    РАЛЬНЫМИ ОСЯМИ ИНЕРЦИИ'
60  PRINT'ПРИБОР УСТАНОВЛЕН НА ЧЕТЫРЕХ АМОТИЗАТОРАХ'
70  PRINT'ВВЕДИТЕ ЖЕСТКОСТИ АМОТИЗАТОРОВ ПО ОСЯМ X,Y,Z,
    Н/М '
75  INPUT C1,C2,C3
80  PRINT'ВВЕДИТЕ РАЗМЕРЫ ПРИБОРА: ШИРИНУ, ГЛУБИНУ, ВЫСО
    ТУ, М'
85  INPUT A,B,H
90  PRINT'ВВЕДИТЕ МАССУ ПРИБОРА, КГ'
100 INPUT M
110 PRINT'ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЯ ОТ АМОТИЗАТОРОВ ДО ЦЕНТРА
    ЛЬНЫХ ОСЕЙ ПО ОСИ Y,М'
140 INPUT Y1,Y2,Y3,Y4
150 PRINT'ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЯ ОТ АМОТИЗАТОРОВ ДО ЦЕНТРА
    ЛЬНЫХ ОСЕЙ ПО ОСИ Z,М'
160 INPUT Z1,Z2,Z3,Z4
170 LET C4=4*C1:LET C5=4*C2: LET C6=4*C3
180 LET C7=4*(C2*Z1^2+C3*Y1^2)
190 LET C8=4*(C1*Z1^2+C3*X1^2)
200 LET C9=4*(C1*Y1^2+C2*X1^2)
210 LET I1=M*(B^2+H^2)/12
220 LET I2=M*(A^2+H^2)/12
230 LET I3=M*(A^2+B^2)/12
235 LET P=0

```



```

240 LET F(1)=0.16*SQR(C4/M)
250 LET F(2)=0.16*SQR(C5/M)
260 LET F(3)=0.16*SQR(C6/M)
270 LET F(4)=0.16*SQR(C7/M)
280 LET F(5)=0.16*SQR(C8/M)
290 LET F(6)=0.16*SQR(C9/I3)
300 FOR I=1 TO 6
310 IF F(I)>P THEN LET P=F(I) : GOTO 320
320 NEXT I
330 LET F=P*SQR(2)
340 PRINT ' ПРИ МАХ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЕ';P8;'Гц';' MIN
      ЧАСТОТА'
350 PRINT ' ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ДОЛЖНА БЫТЬ НЕ
      МЕНЕЕ ';F;'Гц'
360 STOP
370 END

```

где σ_{Π} — предельное значение напряжения; $\eta_{\Sigma,\Pi}$ — запас прочности, принятый для данной конструкции; σ_d — действующее напряжение (при сложном напряженном состоянии вместо σ_d используется эквивалентное напряжение по одной из теорий прочности).

Для конструктивных элементов и ЭРЭ на основании линейной теории суммирования повреждений можно ввести условие работоспособности по критерию выносливости

$$\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i(S_i)_{\gamma_d}} \leq 1, \quad (3.80)$$

где n_i — число действующих циклов нагрузки S уровня i ; $N_i(S_i)_{\gamma_d}$ — предельное число циклов нагрузки S i -го уровня, определяемое по кривой из семейства кривых, равной вероятности отказов, соответствующее заданному уровню доверительной вероятности γ_d .

```

10PRINT'ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ АМОРТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ'
20PRINT'СЛУЧАЙ 2: АМОРТИЗАТОРЫ КРЕПЯТСЯ К ОСНОВАНИЮ ПРИ
БОРА В ОДНОЙ ПЛОСКОСТИ'
30PRINT'      И СИММЕТРИЧНО ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОСКОСТЕЙ
ХОЗ И УОZ.'
40PRINT'      КООРДИНАТЫ ОСЕЙ ЯВЛЯЮТСЯ ГЛАВНЫМИ ЦЕН
ТРАЛЬНЫМИ ОСЯМИ'
45PRINT'      МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ.'
50PRINT'      ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ПРИБОРА И НАЧАЛО КООРДИ
НАТ НАХОДЯТСЯ НА'
55PRINT'      НЕКОТОРОМ РАССТОЯНИИ ОТ ПЛОСКОСТИ,
ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ ЦЕНТР'
60PRINT'      ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЛОСКО
СТИ ХОУ.'
70PRINT'      ПРИБОР УСТАНОВЛЕН НА 4 АМОРТИЗАТОРАХ'
80PRINT'ВВЕДИТЕ ЖЕСТКОСТИ АМОРТИЗАТОРОВ ПО ОСЯМ Х,У,З,
      Н/М'
85INPUTC1,C2,C3
90PRINT'ВВЕДИТЕ РАЗМЕРЫ ПРИБОРА: ШИРИНУ, ГЛУБИНУ, ВЫСОТУ,
      М'
100INPUTA,B,H
110PRINT'ВВЕДИТЕ МАССУ ПРИБОРА, КГ'
120INPUTM
130PRINT'ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЯ ОТ АМОРТИЗАТОРОВ ДО ОСИ Х, М'
140INPUTX1,X2,X3,X4
150PRINT'ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЯ ОТ АМОРТИЗАТОРОВ ДО ОСИ У, М'
160INPUTY1,Y2,Y3,Y4
170PRINT'ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЯ ОТ АМОРТИЗАТОРОВ ДО ОСИ З, М'
180INPUTZ1,Z2,Z3,Z4
190LETC4=2*C1+2*C2
200LETC5=2*C2+2*C1

```

```

210LETC6=4*C3
220LETC7=C5*Z1*Z1+C6*Y1*Y1
230LETC8=C4*Z1*Z1+C6*X1*X1
240LETC9=C4*Y1*Y1+C5*X1*X1
250LETR1=C4*Z1
260LETR2=C5*Z1
270LETI1=M*(B^2+H^2)/12
280LETI2=M*(A^2+H^2)/12
290LETI3=M*(A^2+B^2)/12
300LETF1=0.16*SQR(C6/M)
310LETF2=0.16*SQR(C9/I3)
320LETA1=(M*C8+I2*C4)/(M*I2)
330LETB1=(C4*C8-R1*R1)/(M*I2)
340LETA2=(M*C7+I1*C5)/(M*I1)
350LETB2=(C5*C7-R2*R2)/(M*I1)
360LETF3=0.16*SQR(0.5*(A1+SQR(A1*A1-4*B1)))
370LETF4=0.16*SQR(0.5*(A1-SQR(A1*A1-4*B1)))
380LETF5=0.16*SQR(0.5*(A2+SQR(A2*A2-4*B2)))
390LETF6=0.16*SQR(0.5*(A2-SQR(A2*A2-4*B2)))
400PRINT'СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ СИСТЕМЫ'
410PRINT'F(0X)=';F4;'Гц'
420PRINT'F(FX)=';F3;'Гц'
430PRINT'F(0Y)=';F6;'Гц'
440PRINT'F(FY)=';F5;'Гц'
450PRINT'F( 0Z)=';F1;'Гц'
460PRINT'F(FZ)=';F2;'Гц'
470STOP
480END

```

```

10 PRINT'ИЗОЛЯЦИЯ АППАРАТУРЫ ОТ УДАРОВ'
20 PRINT'СЛУЧАЙ 1: УДАР ЯВЛЯЕТСЯ СЛЕДСТВИЕМ СВОБОДНОГО
    ПАДЕНИЯ'
30 PRINT'ПРИБОР ПОДВЕШЕН В ЯЩИКЕ НА 8 ПРУЖИНАХ'
40 PRINT'ВВЕДИТЕ МАССУ ПРИБОРА, КГ'
50 INPUT M
60 PRINT'ВВЕДИТЕ МАХ ДОПУСТИМОЕ УСКОРЕНИЕ, НЕ ВЫЗЫВАЮ-
    ЩЕЕ РАЗРУШЕНИЯ ПРИБОРА , G'
70 INPUT P
80 PRINT'ВВЕДИТЕ ВОЗМОЖНУЮ ВЫСОТУ ПАДЕНИЯ ПРИБОРА, М'
90 INPUT H
100 LET G=9.81:LET M=M*9.81
105 LET H=H*100
110 LET W=(P^2*G)/(2*H)
115 PRINT'СВОБСТВЕННАЯ ЧАСТОТА СИСТЕМЫ W(0)^2=';W;'1/С^2'
120 LET C=W*M/G
125 PRINT'ЖЕСТКОСТЬ АМОРТИЗИРУЮЩИХ ПРУЖИН C=';C;'Н/СМ'
130 LET C1=C/8
140 PRINT'ЖЕСТКОСТЬ КАЖДОЙ ПРУЖИНЫ C(1)=';C1;'Н/СМ'
150 LET Z=SQR(2*G*H/W)
160 PRINT'ДИНАМИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ ПРУЖИН Z=';Z;'СМ'
170 STOP
180 END

```

Для системы элементов, устанавливаемых на плате (например, для ТЭЗ), условием работоспособности будет выполнение системы неравенств

$$|G_j(t)| \leq G_j^*, \quad (3.81)$$

где G_j^* — допустимые уровни перегрузок для каждого из конструктивных элементов и ЭРЭ, входящих в состав ТЭЗ; $G_j(t)$ — действующее значение перегрузки.

Введенные условия работоспособности изделия ЭВА являются исходными при разработке эквивалентных расчетных схем, на основании которых проводится оценка динамических характеристик.

3.6. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ

Герметизация блоков ЭВА осуществляется для предотвращения воздействия внешних климатических факторов на элементы схемы электрической изделия.

Внутри герметизированной конструкции блока создается благоприятный микроклимат для функционирования изделия. Для этого через откачную трубку корпуса внутренний объем герметизированного блока заполняется инертным газом или смесью газов с избыточным давлением не более $12 \cdot 10^4$ Па. Обычно для этого используют сухой азот (газ, близкий по своим тепловым характеристикам к воздуху) [5].

Герметичность блока ЭВА обеспечивается герметизацией корпуса и внешних соединителей. Качество герметизации зависит от перепада давлений между внутренней и наружной средой корпуса, а при заполнении внутреннего объема нейтральным газом — от истечения газа D_r (газопроницаемости), определяемой выражением

$$D_r = V_{\text{в}} \Delta P / t, \quad (3.82)$$

где $V_{\text{в}}$ — внутренний объем, м^3 ; ΔP — перепад давления, Па; t — срок службы и хранения блока, с.

Выбор способа герметизации определяется требованиями, предъявляемыми к блокам в зависимости от условий эксплуатации, материалов покрытий по графикам на рис. 3.28 ... 3.30.

Герметизация корпусов блоков может осуществляться с помощью уплотнительной прокладки (рис. 3.31), сварки, паяного демонтируемого соединения либо одновременно всеми (или несколькими) перечисленными способами герметизации.

Внутренний свободный объем блоков должен лежать в интервале от 50 до 5000 см^3 , критическое сечение конструктивного элемента герметизации l_0 (наименьший размер сечений пайки, сварки или резиновой прокладки) должно лежать в интервале 0,03 ... 0,50 см, критическая влажность внутри корпуса — 60 % при 20 °С.

Для конструктивных элементов на рис. 3.32 в зависимости от герметизируемого объема и избыточного давления,

создаваемого в нем, имеем следующие расчетные формулы:

$$B_{\phi} = 2h_k + 2,6D_{\phi}, \quad (3.83)$$

где h_k — толщина стенки корпуса (кожуха); D_{ϕ} — диаметр крепежного болта;

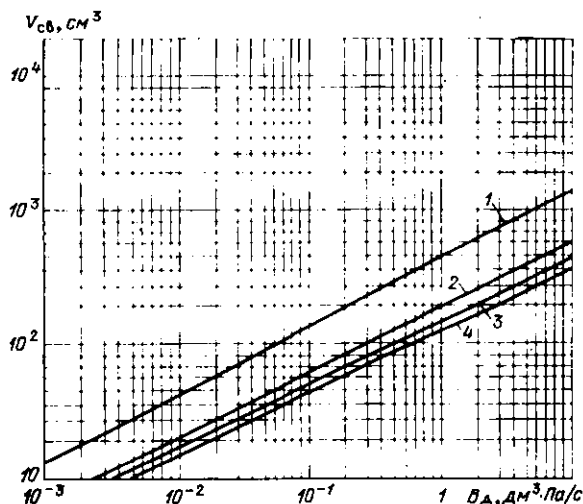


Рис. 3.28. График зависимости протекания от внутреннего свободного объема для различных групп эксплуатации блоков, герметизированных пайкой и сваркой:

1 — для групп эксплуатации 2, 4 — 19, 37 — 39; 2 — для группы 3; 3 — для групп 21, 24 — 26; 4 — для групп 32 — 35, 42

для определения размеров канавки надо удовлетворить следующую зависимость:

$$B_{\text{кан}} H_{\text{кан}} \approx 1,15 B_{\text{пр}} H_{\text{пр}}, \quad (3.84)$$

где $B_{\text{кан}}$ — ширина канавки; $H_{\text{кан}}$ — высота канавки; $B_{\text{пр}}$ — ширина прокладки; $H_{\text{пр}}$ — высота прокладки; для вычисления размера плеча:

$$L_{\text{пл}} = 1,5h_k + 1,1D_{\phi}. \quad (3.85)$$

Высота фланца на H_{ϕ} на рис. 3.32 должна быть максимально допустимой. Материал для изготовления болтов выбирается с пределом текучести σ_T в 2 или 3 раза выше пре-

дела текучести материала фланца. Количество болтов определяется с учетом внутреннего избыточного давления в блоке и усилия, необходимого для деформации уплотнительного кольца при герметизации блока.

Герметизация сваркой применяется для блоков, не подлежащих ремонту (объемом до $0,5 \text{ дм}^3$). Для доступа внутри корпуса вскрытие необходимо осуществить механическим

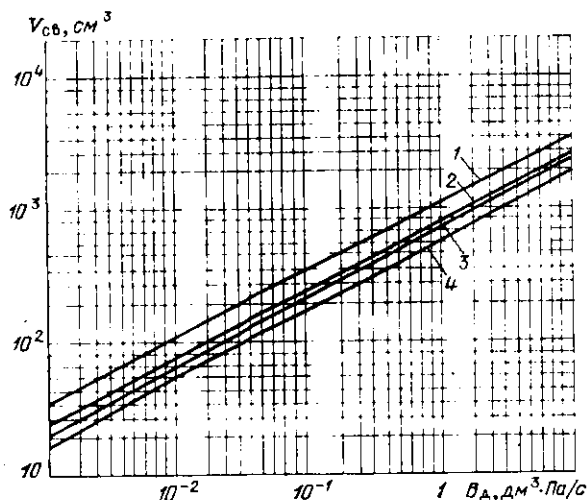


Рис. 3.29. График зависимости натекания от внутреннего свободного объема при различных значениях критического сечения I_0 для различных групп эксплуатации блоков, герметизированных с помощью уплотнительных резиновых прокладок (замена прокладок через 3 года):

1 - для групп эксплуатации 2, 4-19; 2 - для группы 3; 3 - для групп 21, 24-26; 4 - для групп 32-35, 37-39, 42

путем. Такое конструктивное решение обеспечивает натекание не более $1,33 \cdot 10^{-10} \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Герметизация с помощью паяного демонтируемого соединения (рис. 3.32) применяется для блоков (объемом от $0,5$ до $5,0 \text{ дм}^3$) с допустимым снабжением натекания $V_d = 1,22 \cdot 10^{-7} \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}$.

К элементам паяного соединения (рис. 3.32) предъявляются следующие требования:

1) в целях устранения перегрева блока в момент осуществления паяного соединения между корпусом 1 и крыш-

кой 2 следует предусматривать канавку вблизи паяного соединения;

2) прокладка 3 должна выполняться прямоугольного сечения из термостойкой резины (размер сечения прокладки определяется расчетом);

3) диаметр проволоки должен быть меньше ширины зазора между крышкой и корпусом на 0,1—0,2 мм.

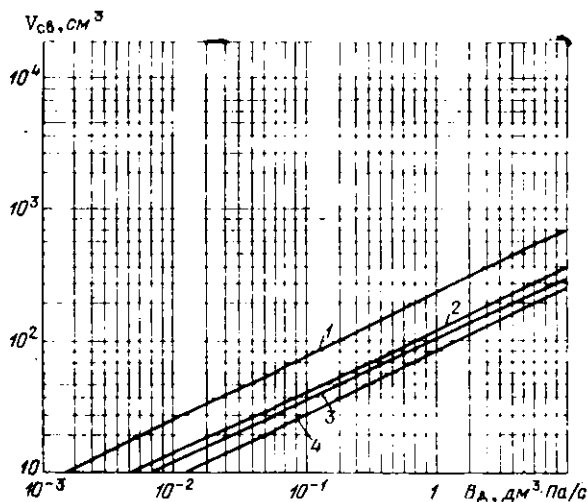


Рис. 3.30. График зависимости величины протекания от внутреннего свободного объема при значениях критического сечения l_0 для различных групп эксплуатации блоков, герметизированных с помощью уплотнительных резиновых прокладок (замена прокладок через пять лет):

1 — для групп эксплуатации 2, 4—19; 2 — для группы 3; 3 — для групп 21, 24—26; 4 — для групп 32, 35, 37—39, 42

Материалы и покрытия элементов конструкций блоков, герметизируемых паяным соединением, приведены в табл. 3.37.

В паяном соединении проволока ($\varnothing 0,2 \dots 0,4$ мм) укладывается над прокладкой по всему периметру соединения. Один конец проволоки через паз в крышке выводится из зоны соединения и укладывается в тепловую канавку. Расстояние по всему периметру соединения заполняется легкоплавким припоем (ПОС-61). Допускается повторяемость пайки после вскрытия корпуса не более 3 раз.

Наружная поверхность паяного соединения не должна являться установочной поверхностью блока. Элементы крепления блоков следует располагать на максимальном расстоянии от паяного соединения.

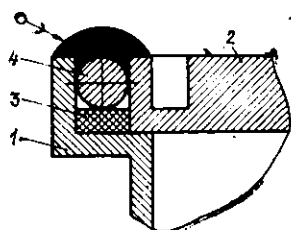
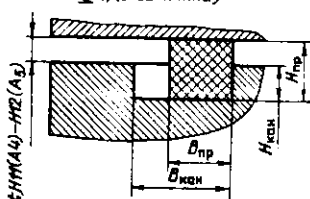
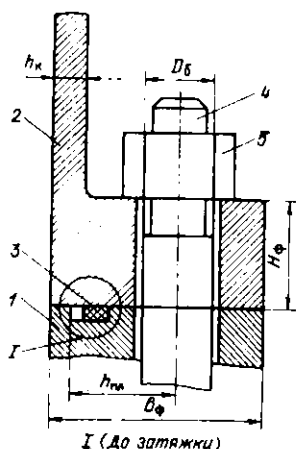


Рис. 3.32. Герметизация корпуса блока с помощью соединения:

1 — корпус блока; 2 — крышка; 3 — прокладка изоляционная; 4 — проволока

Рис. 3.31. Герметизация корпуса блоков уплотнительной прокладкой:

1 — основание блока; 2 — корпус блока; 3 — прокладка уплотнительная; 4 — болт; 5 — гайка

Таблица 3.37. Материалы и покрытия для элементов конструкций

Материал	Покрытие по ГОСТ 9.073 -77	Условия эксплуатации
Алюминиевый сплав АМц	Н12.0-Ви (99,7) 6	Легкие
Алюминиевый сплав АМг	Н24.0-Ви (99,7) 12	Средние
Алюминиевый сплав Д16	Н24.0-Ви (99,7) 12	Жесткие
Алюминиевый сплав В95	Н24.0-Ви (99,7) 12	То же
Латунь Л63	Ср 6.43.0-Ви (99,7) 3	Средние
Латунь ЛС 59-1	Н3.0-Ви (99,7) 6	Жесткие
Сталь Ст. 10кп	М3.0-Ви (99,7) 3	Средние
Сталь Ст.20	М3.0-Ви (99,7) 3	То же
Титановый сплав ВТ1-0	НВ.М3.Ср 6	Жесткие

Межблочная электрическая коммутация в герметичных блоках осуществляется с помощью герметичных соединителей типа РСГ или врубных соединителей типа РПС1 с обеспечением их герметизации. Герметизация и конструкции специальных электрических соединителей, герметизируемых с помощью металлостеклянных соединителей, имеют ряд специфических особенностей, рассмотренных в [5].

Для блоков, критическое сечение которых отличается от 0,05 см ($l_{кр}$) и лежит в интервале 0,03 ... 0,05 см ($l_{д.кр}$), определенное по графику расчетное допустимое значение натекания для критического сечения $l_{кр} = 0,05$ см умножают на поправочный коэффициент q_n , равный отношению действительного критического сечения $l_{д.кр}$ к критическому сечению $l_{кр} = 0,05$ см;

$$q_n = l_{д.кр} / l_{кр}. \quad (3.86)$$

Герметичность (критерий герметичности B_r) блока следует принимать равной расчетному допустимому значению B_d для заданного критического сечения с учетом поправочного коэффициента q_n по формуле

$$B_r = B_d q_n, \quad (3.87)$$

где первая десятичная цифра округляется в сторону уменьшения для ближайшей цифры.

Если для заданного критического сечения расчетное допустимое значение натекания более $0,133 \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}$, то герметичность блока (критерий герметичности) принимается равной $0,133 \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Пример 3.7. Определить герметичность блока, для герметизации которого использованы резиновые прокладки (с заменой через 3 г.), а в некоторых местах соединения корпуса и крышки — лайка и сварка. Внутренний свободный объем $V_{с.в} = 200 \text{ см}^3$, а критическое сечение $l_{д.кр} = 0,03$ см.

Из графика на рис. 3.30 при $l_{кр} = 0,05$ см и $V_{с.в} = 200 \text{ см}^3$ определяем $B_d = 0,13 \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Так как $l_{д.кр} \neq l_{кр}$, вводится поправочный коэффициент по (3.86)

$$q_n = 0,03/0,05 = 0,6.$$

Тогда для заданного критического сечения расчетное значение натекания по (3.87)

$$B_r = 0,13 \cdot 0,6 = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}.$$

Герметичность, определяемая расчетным значением натекания, принимается равной $8 \cdot 10^{-2} \text{ дм}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Приборы состоят из трех основных частей: кожуха, панели и плат (ОПП, ДПП, МПП). В приборах применяются соединители МР-1 и РСГ, однако допускается применение других типов соединителей.

Конструктивно бортовые приборы представляют собой набор плат, сборный пакет которых располагается в кожухе перпендикулярно передней стенке. На каждой плате из набора в местах крепления установлены распорные сухари, определяющие шаг установки плат в приборе. На нижней плате прибора установлены сухари с резьбовыми металлическими втулками, с помощью которых крепится весь пакет плат сквозными винтами. На средней плате набора сзади надеты сухари-ограничители, которые при надевании кожуха фиксируют положение пакета плат в приборе. Угольники жестко связаны с панелью и крепят пакет плат к панели. Для герметизации приборов в панели предусмотрена канавка, в которую с небольшим натягом вдевается резиновая прокладка. При снятии кожуха платы раскрываются в виде книги, что обеспечивает хороший доступ к любой из них и к панели при регулировке.

Приборы имеют геометрическую точку крепления в центре, куда вставляется фланец для крепления набора плат и кожуха винтами.

3.7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

На этапе ЭП изделия ЭВА способ охлаждения выбирается по графику на рис. 3.33. За основной показатель, определяющий области целесообразного применения способа охлаждения, принимается плотность теплового потока, проходящего через поверхность теплообмена:

$$q = Q_{\text{расс}} k_a / S_T, \quad (3.88)$$

где $Q_{\text{расс}}$ — суммарная мощность, рассеиваемая с поверхности теплообмена; k_a — коэффициент, учитывающий давление воздуха (при атмосферном давлении $k_a = 1$); S_T — условная величина поверхности теплообмена:

$$S_T = 2 [L_1 L_2 + (L_1 + L_3) L_3 k_3]$$

Здесь L_1 , L_2 — горизонтальный и L_3 — вертикальный размеры «больших» элементов или изделия ЭВА и $k_3 = \sum_{i=1}^n V_i / V$ — коэффициент заполнения при V_i — объеме

i -го элемента; n — число элементов в блоке ЭВА; V — объем, занимаемом изделием.

Вторым показателем может служить минимально допустимый перегрев элементов

$$\Delta T_c = T_{i \min} - T_c, \quad (3.89)$$

где $T_{i \min}$ — допустимая температура корпуса наименее теплостойкого элемента в блоке, т. е. элемента, для которого допустимая температура имеет минимальное значение

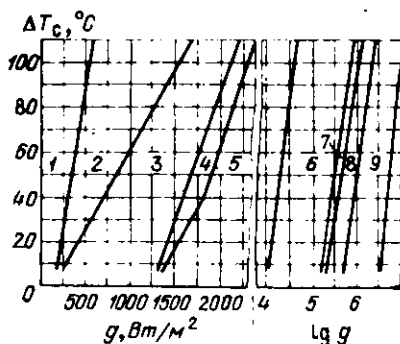


Рис. 3.33. Рекомендации по выбору способа охлаждения:

1 — естественное воздушное охлаждение; 2 — естественное или принудительное воздушное охлаждение; 3 — принудительное воздушное охлаждение; 4 — смешанное воздушно-жидкостное охлаждение; 5 — жидкостное охлаждение; 6 — жидкостно-испарительное охлаждение без прокачки; 7, 8 — жидкостно-испарительное охлаждение с интенсивной прокачкой; 9 — охлаждение испарения жидкости с прокачкой

(для больших элементов это температура охлаждаемой поверхности); T_c — температура окружающей среды, для естественного охлаждения $T_c = T_{c \max}$, т. е. соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ, для принудительного охлаждения $T_c = T_{\text{вх}}$, т. е. соответствует температуре (жидкости) на входе в изделие ЭВА.

На этапе ЭП могут быть выбраны варианты конструкции блока по ОСТ 4.ГО.010.009 [2...6] или другим источникам. Для расчета на этапе ТП методику можно выбрать в одном из литературных источников [3, 6, 7] и др.

3.8. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ С УЧЕТОМ СИСТЕМО- И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ

Одной из важнейших задач разработки микроэлектронной аппаратуры является уменьшение сроков и стоимости проектирования. Эффективным средством ускорения и удешевления проектирования современных ЭВА является использование рациональных методов физического и матема-

тического моделирования с применением средств вычислительной техники в автоматическом или автоматизированном режиме работы. Именно стоимость модели и время на ее разработку и использование определяют основные затраты проектирования.

Расширение опыта использования современной элементной базы и ЭВА в целом позволяют сократить затраты на моделирование, а методы оптимизации технического решения [7] с помощью ЭВМ позволяют сократить затраты на выбор удовлетворительных решений среди множества возможных и лучшего решения среди удовлетворительных.

Оптимизация построения ЭВА достигается выбором из общего числа возможных оптимального варианта построения, при котором обеспечивается наибольшая степень соответствия ЭВА своему назначению.

При решении технических задач такого рода необходимо решить основные проблемы, известные из исследования операций:

- 1) выбор критериев, по которым проводится оптимизация;
- 2) построение модели операции;
- 3) определение информации для модели (исходных данных);
- 4) отыскание оптимального решения с помощью математических методов.

Оптимальным конструктивным решением ЭВА является такое, которое обеспечивает выполнение поставленной задачи при минимуме материальных и временных затрат, или такое, которое при фиксированных материальных затратах обеспечивает выполнение поставленной задачи с максимальной эффективностью.

Здесь подчеркнем, что реализация системного подхода к оптимальному синтезу конструкции ЭВА на модулях высокой степени интеграции (БИС, МП) требует решения следующих задач:

- 1) разработки методов формализованного представления исходной информации (ТЗ);
- 2) разработки методов оценки качества изделий ЭВА;
- 3) создания компактного множества допустимых технических решений;
- 4) разработки методов направленного перебора возможных вариантов конструктивного решения ЭВА.

Под показателями качества изделий ЭВА принято понимать варьируемые числовые характеристики общих техни-

ческих требований ТЗ (§ 1.2), изменение каждой из которых при прочих равных условиях существенно влияет на качество ЭВА, т. е. степень удовлетворения предъявляемых к ней технических требований ТЗ. Различают единичные, групповые и комплексные показатели качества. Правило, в соответствии с которым одно сочетание числовых значений показателей качества конструкции ЭВА можно считать лучшими по сравнению с другими, является критерием предпочтения (оптимальности).

В общем случае номенклатура групповых показателей качества, по которым производится оценка уровня качества устройств, включает показатели: назначения, надежности, технологичности; эргономические; эстетические; стандартизации и унификации; патентно-правовые; экономические.

Под групповыми показателями качества понимается комплексный показатель, относящийся к совокупности свойств определенного вида показателей (ОСТ 4ГО.091.057).

Единичные показатели качества, входящие в состав групповых показателей, определяются по методикам, изложенным в технических условиях (ТУ) на средства вычислительной техники (СВТ). Для оценки уровня качества СВТ используются значения показателей назначения, взятые из ТУ на СВТ.

Для ЭВМ основной технической характеристикой назначения является внутренняя производительность ЭВМ, операции (команд) в секунду.

Для ОЗУ технической характеристики будет отношение емкости памяти к времени цикла, Кбайт/мкс.

В общем случае эффективность СВТ

$$q_s = B_{\text{изд}}/S_{\text{р.с}}, \quad (3.90)$$

где $B_{\text{изд}}$ — основная техническая характеристика изделия; $S_{\text{р.с}}$ — общезаводская себестоимость реализованной продукции, руб.

Вариант оценки технических характеристик микроэлектронной аппаратуры на этапе ЭП предлагается в ОСТ 4.ГО.010.036. [5], где для обоснования конструктивно-технологического решения рассчитывается интегральный показатель качества (технико-экономической эффективности) аппаратуры. Интегральный показатель качества аппаратуры $P_{\text{и}}$ в условных единицах, характеризующихся произведением часов на эквивалентные вентили, отнесенных к единицам стоимости, определяется по формуле

$$P_{\text{и}} = 8760 \omega_a N_{\text{а.и}}/3, \quad (3.91)$$

где Z — затраты на обеспечение функционирования аппаратуры, ед. ст.; 8760 — среднее число часов в году; ω_3 — коэффициент эксплуатации аппаратуры; $N_{a.и}$ — исходное количество эквивалентных вентилей, необходимое для построения аппаратуры (§ 2.5).

Затраты на обеспечение функционирования аппаратуры

$$Z = Z_k E_n + Z_t, \quad (3.92)$$

где $Z_k = Z_p + Z_n$ — капитальные вложения, ед. ст. (Z — затраты на разработку аппаратуры, ед. ст.; Z_n — затраты на производство аппаратуры, прогнозируемые в виде оптовых цен, ед. ст.); E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12; $Z_t = Z_{3v} + Z_{3g} + Z_{3.пит} + Z_{3.ил}$ — текущие затраты, ед. ст. (Z_{3v} — затраты на эксплуатацию объема аппаратуры, ед. ст.; Z_{3g} — затраты на эксплуатацию массы аппаратуры, ед. ст.; $Z_{3.пит}$ — затраты на эксплуатацию источников питания аппаратуры, ед. ст.; $Z_{3.ил}$ — затраты на комплект запасных элементов, ед. ст.). Рекомендации для определения перечисленных затрат даны в [5, с. 186 ... 190].

Значения единичных показателей надежности СВТ определяются по результатам испытаний согласно методикам, изложенным в ТУ на СВТ. Перечень показателей надежности должен соответствовать ГОСТ 72.002—83.

Для микроэлектронных изделий на ИМС и МСБ интенсивность отказов ячеек j -го типа

$$\lambda_{яj} = N_{ИМСj} \lambda_{ИМС} + N_{МСБj} \lambda_{МСБ} + (M_{яj} + N_{ИМСj} M_{ИМС} + N_{МСБj} M_{МСБ}) \lambda_{Ик.п}, \quad (3.93)$$

где $\lambda_{ИМС}$ — интенсивность отказов ИМС широкого применения; $\lambda_{МСБ}$ — интенсивность отказов микросборок; $\lambda_{Ик.п}$ — интенсивность отказов паяного контакта; $N_{ИМСj}$, $N_{МСБj}$ — соответственно число ИМС и МСБ; $M_{яj}$, $M_{ИМС}$, $M_{МСБ}$ — соответственно число паяных контактов ячеек, микросхем и микросборок.

Максимальная интенсивность отказов аппаратуры разъемной конструкции

$$\lambda'_a = \sum_{j=1}^{N_{т.я}} N_{яj} \lambda_{яj} + M_a \lambda_{Ик.п} + \sum_{j=1}^{N_{т.я}} M_{яj} (\lambda_{Ик.п} + \lambda_{Ик.в}) \lambda_{яj}, \quad (3.94)$$

где $\lambda_{1.кв}$ — интенсивность отказов контакта врубного соединителя; $M_a = E | k_1 (N_a^{2/3} + 1) / (\lg N_a + 1) —$ число используемых выводов аппаратуры (k_1 — средний коэффициент объединения по входу, увеличенный на единицу; N_a — показатель технической сложности аппаратуры [5]; E — знак, указывающий на процедуру целочисленного выделения [5]; $N_{т.я}$ — количество типов ячеек; $N_{яj}$ — число ячеек j -го типа). Для аппаратуры книжной конструкции.

$$\lambda_a = \sum_{j=1}^{N_{т.я}} N_{яj} \lambda_{яj} + M_a \lambda_{1к.п.} \quad (3.95)$$

Интенсивность отказов изделий ЭВА λ_a с учетом поправочного коэффициента $k_{уср} = 0,1 \dots 0,4$, учитывающего соотношение условий, при которых получена информация об интенсивностях отказов, и условий эксплуатации, определяется по формуле [5]

Таблица 3.38

Относительная влажность, %	Т, °С	$K_{вл}$
60...70	20...40	1,00
90...98	20...25	2,00
90...98	30...40	2,50

$$\lambda_a = \lambda_a' K_{уср} K_{вл} K_m K_{раз} \quad (3.96)$$

Таблица 3.39

Вид аппаратуры	K_m
Лабораторная	1,00
Портативная переносная	1,07
Морская	1,37
Автофургонная	1,46
Авиационная	1,65

где $K_{вл}$ — коэффициент влияния влажности (табл. 3.38); K_m — коэффициент влияния механических воздействий (табл. 3.39); $K_{раз}$ — коэффициент влияния разряженности окружающей среды (табл. 3.40).

Таблица 3.40

Высота, км	$H \cdot 10^3$ Па	$K_{раз}$	Высота, км	$H \cdot 10^3$ Па	$K_{раз}$
0	100	1,0	7...8	41...36	1,20
1...2	90...80	1,05	10...11	26...23	1,25
2...3	70...60	1,10	12...14	19...14	1,30
3...5	54...47	1,14	15...18	11...7,50	1,35
5...6	47...43	1,16	20 и более	55...25	1,38

Основным показателем, используемым для оценки технологичности конструкции, является комплексный (интегральный) показатель, под которым понимается показатель технологичности конструкций, характеризующий несколько ее признаков [5]. Комплексный показатель определяется на основе базовых показателей по формуле

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^{i=g} K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^{i=g} \varphi_i} = \frac{K_1 \varphi_1 + K_2 \varphi_2 + \dots + K_g \varphi_g}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_g}, \quad (3.97)$$

где K_i — показатель, определяемый по таблице базовых показателей соответствующего класса блоков (табл. 3.41); φ_i — функция, нормирующая весовую значимость показателя в зависимости от его порядкового номера в табл. 3.41; i — порядковый номер показателя в ранжированной последовательности (место в таблице); g — общее число относительных частных показателей в таблице для данной стадии разработки изделия.

Величина φ_i принимается для каждого показателя соответствующей строки таблицы независимо от полноты состава определяемых показателей на различных стадиях разработки.

Количественный анализ конструкции изделий на технологичность производится в два этапа:

1) количественный анализ ранее разработанных базовых конструкций (изделий-аналогов) в целях установления базовых показателей уровня технологичности для сопоставления и оценки уровня технологичности вновь разрабатываемых изделий (§ 2.4, [5]);

2) количественный анализ вновь разрабатываемых конструкций по стадиям проектирования с установлением их уровня технологичности [5].

Определение единичных эргономических показателей (композиции, гармонии, цветовой гармонии) производится экспертным методом (§ 2.4).

Определение значений единичных показателей стандартизации и унификации производится по ОСТ 4.ГО.012.010.

Показателями уровня стандартизации и унификации изделий и их составных частей являются:

Таблица 3.41

Порядковый номер в ражированной последовательности	Показатели технологичности электронных блоков K_i	Ψ_i	ЭП	ПТ	Рабочая доку- ментации		
					опытного образца	установочной серии	серийного производства
1	Коэффициент использова- ния ИМС и МСБ в блоке $K_{\text{ИМС}} = n_{\text{ИМС}} / (n_{\text{ИМС}} + n_{\text{ЭРЭ}})$	1,000	~	~	+	+	+
2	Коэффициент автоматиза- ции и механизации монтажа изделия $K_{\text{а.м}} = n_{\text{а.м}} / n_{\text{м}}$	1,000	—	~	+	+	+
3	Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ $K_{\text{м.п}} = n_{\text{м.п}} / n_{\text{ЭРЭ}}$	0,750	~	+	+	+	+
4	Коэффициент механизации контроля и настройки $K_{\text{м.к.н}} = n_{\text{м.к.п}} / n_{\text{к.н}}$	0,500	—	~	+	+	+
5	Коэффициент повторяемо- сти ЭРЭ $K_{\text{пов.ЭРЭ}} = 1 - n_{\text{т.эрэ}} / n_{\text{ЭРЭ}}$	0,310	~	~	+	+	+
6	Коэффициент применяемо- сти ЭРЭ $K_{\text{п.эрэ}} = 1 - n_{\text{т.ор.эрэ}} / n_{\text{т.эрэ}}$	0,187	~	~	+	+	+
7	Коэффициент прогрессив- ности формообразования деталей $K_{\text{п.ф}} = n_{\text{пр}} / n_{\text{д}}$	0,110	—	—	+	+	+

Примечания: + — показатель должен определяться; ~ — показатель определяется приближенно; — — показатель не определяется; $n_{\text{ИМС}}$ — общее число ИМС и МСБ в изделии, штук; $n_{\text{а.м}}$ — число монтажных соединений, которые могут осуществляться механизированным или автоматизированным способом; $n_{\text{м}}$ — общее число монтажных соединений; $n_{\text{ЭРЭ}}$ — общее число ЭРЭ, штук; $n_{\text{м.к.п}}$ — число операций контроля и настройки, которые можно осуществить механизированным или автоматизированным способом (в число указанных операций включаются операции, не требующие средств механизации); $n_{\text{к.н}}$ — общее число операций контроля и настройки; $n_{\text{т.эрэ}}$ — общее число типоразмеров ЭРЭ в изделии; $n_{\text{м.п}}$ — число ЭРЭ, шт. подготовка которых к монтажу может осуществляться механизированным или автоматизированным способом; в число указанных ЭРЭ включаются ЭРЭ, не требующие специальной подготовки к монтажу (реле, электрические соединители, патроны и т. п.); $n_{\text{т.ор.эрэ}}$ — число типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии; $n_{\text{пр}}$ — число деталей (шт.), заготовки которых или сами детали получены прогрессивными методами формообразования; $n_{\text{д}}$ — общее число деталей без нормализованного крепежа в изделии, шт.

1) коэффициент применяемости

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Sigma_c + \Sigma_y}{\Sigma_c + \Sigma_y + \Sigma_o} 100, \quad (3.98)$$

где Σ_c — стандартные составные части изделия (приборы, узлы, детали); Σ_y — унифицированные составные части изделия (приборы, узлы, детали); Σ_o — оригинальные составные части изделия (приборы, узлы, детали);

2) коэффициент повторяемости

$$K_{\text{п.с}} = \frac{\Sigma_c}{\Sigma_{\text{с.т}}}; K_{\text{п.у}} = \frac{\Sigma_y}{\Sigma_{\text{у.т}}}; K_{\text{п.о}} = \frac{\Sigma_o}{\Sigma_{\text{о.т}}}, \quad (3.99)$$

где Σ_c — стандартные составные части изделия (приборы, узлы, детали), шт.; $\Sigma_{\text{с.т}}$ — число типоразмеров стандартных составных частей изделия (приборы, узлы, детали), шт.; Σ_y — унифицированные составные части изделия (приборы, узлы, детали), шт.; Σ_o — оригинальные составные части изделия (приборы, узлы, детали), шт.; $\Sigma_{\text{у.т}}$ — число типоразмеров унифицированных составных частей изделия (приборы, узлы, детали); $\Sigma_{\text{о.т}}$ — число типоразмеров оригинальных составных частей изделия (приборы, узлы, детали).

К стандартным относят составные части изделия, установленные государственными, республиканскими и отраслевыми стандартами. Их подразделяют на стандартные покупные и стандартные, изготавливаемые на данном предприятии.

Применение (3.98) и (3.99) при расчете уровня унификации сложной ЭВА в целом на уровне деталей дает неправильное представление о степени унификации всей системы и каждого функционально законченного узла. Поэтому для сложной ЭВА коэффициенты унификации определяют на уровне блоков, ячеек, ТЭЗ и т. п. Коэффициенты унификации определяют для каждого вида конструкции отдельно, а затем находят обобщенный коэффициент унификации для каждого функционально законченного устройства и ЭВА в целом.

Коэффициент конструкторской типизации (унификации)

$$K_{\text{т. (y)}} = N_{\text{т. (y)}} / N \quad (0 \leq K_{\text{т. (y)}} \leq 1), \quad (3.100)$$

где $N_{\text{т. (y)}}$ — число типонаименований, выполненных на базе типовой унифицированной конструкции; N — общее число типонаименований.

Средний коэффициент повторяемости

$$K'_n = \left(\sum_{i=1}^N n_i \right) / N \quad (1 \leq K'_n), \quad (3.101)$$

где n_i — число i -го типоминала, шт.

Коэффициент заимствования типоминалов

$$K_{з.тн} = K_z / N \quad (0 \leq K_{з.тн} \leq 1), \quad (3.102)$$

где N_z — число типоминалов, заимствованных в других устройствах.

Соответственно определяют коэффициент собственных типоминалов:

$$K_{с.тн} = N_c / N \quad (0 \leq K_{с.тн} \leq 1), \quad (3.103)$$

где N_c — число собственных типоминалов, используемых только в одном устройстве схемы.

Так как $N = N_c + N_z$, то $K_{з.тн} + K_{с.тн} = 1$.

Коэффициент заимствования в устройствах $K_{з.у_i}$ показывает число устройств, в которых применяется i -й типоминал блока или ТЭЗ. Для всей аппаратуры характерно среднее значение коэффициента $K'_{з.у}$, которое вычисляют как среднее всех типоминалов, заимствованных в аппаратуре:

$$\frac{1}{K'_{з.у}} = \frac{1}{N_z} \sum_{i=1}^{N_z} \frac{1}{K_{з.у_i}} \quad (2 \leq K'_{з.у}). \quad (3.104)$$

Значения указанных коэффициентов унификации находятся для каждого вида унифицированной конструкции блока, ячейки, ТЭЗ и т. д., для каждого функционально законченного устройства и всей аппаратуры в целом.

Кроме указанных факторов, необходимо учитывать затраты, связанные, например, с проектированием и изготовлением типовых конструкций, которые необходимо отразить в обобщенном коэффициенте унификации.

Показатель патентной защиты

$$П_{п.з} = П'_{п.з} + П''_{п.з}, \quad (3.105)$$

где $П'_{п.з}$ — показатель патентной защиты изделия авторскими свидетельствами в СССР; $П''_{п.з}$ — показатель патентной защиты изделия, принадлежащего советским предприятиям и организациям за рубежом.

Показатель

$$P_{п.з} = (m'_1 N'_1 + m'_2 N'_2 + m'_3 N'_3) / N_{общ}, \quad (3.106)$$

где m'_1, m'_2, m'_3 — коэффициенты весомости составных частей изделия, защищенных авторскими свидетельствами в СССР, по группам значимости (табл. 3.42); N'_1, N'_2, N'_3 — количество составных частей изделия, защищенных авторскими свидетельствами в СССР по группам значимости; $N_{общ}$ — общее число составных частей в изделии.

Показатель

$$P_{п.з} [m (m''_1 N''_1 + m''_2 N''_2 + m''_3 N''_3)] / N_{общ}, \quad (3.107)$$

где m — коэффициент весомости;

$$m = 0,5R' + R'', \quad (3.108)$$

где R' — число стран патентования; R'' — число стран, в которых проявлен интерес к приобретению лицензии; m''_1, m''_2, m''_3 — коэффициенты весомости составных частей изделия, защищенных принадлежащими советским предприятиям и организациям патентами за рубежом по группам значимости (табл. 3.42).

Таблица 3.42

Группы значимости составных частей изделия	Значения коэффициентов весомости		
	m'_i	m''_i	m''_{ni}
Особо важные	1,0	1,0	1,0
Основные	0,8	0,8	0,8
Вспомогательные	0,5	0,5	0,5

Показатель патентной чистоты изделия

$$P_{п.ч} = \left(\sum_{j=1}^R P_{п.ч.j'} \right) R, \quad (3.109)$$

где $P_{п.ч.j'}$ — показатель патентной чистоты по j -й стране; R — число стран, занимающих ведущее место в данной отрасли техники; $j' = 1, 2, \dots, R$ — порядковый номер страны.

Показатель

$$P_{п.ч.j'} = [N - (m_{n1} N_1 + m_{n2} N_2 + m_{n3} N_3)] / N_{общ}, \quad (3.110)$$

где N_1, N_2, N_3 — количество составных частей изделия, попадающих под действие патентов в данной стране, по группам значимости; m_{n1}, m_{n2}, m_{n3} — коэффициенты весомости составных частей изделия, попадающих под действие патентов в данной стране, по группам значимости.

Определение значений экономических показателей средств вычислительной техники производится по ОСТ 4ГО.000.017.

За образцы-эталоны, используемые в качестве базовых при оценке уровня качества, принимают гипотетические образцы, параметры которых соответствуют перспективному уровню качества и рекомендациям международных организаций.

Значения единичных показателей качества образцов-эталонов приведены в табл. 3.43.

Оценка уровня качества изделий производится комплексным методом в следующей последовательности.

1. Вычисляются относительные единичные показатели качества:

$$D_i = P_i / P_{i \text{ эт}}, \quad (3.111)$$

или

$$D_i = P_{i \text{ эт}} / P_i, \quad (3.112)$$

где P_i — значение i -го единичного показателя качества оцениваемого изделия; $P_{i \text{ эт}}$ — значение i -го единичного показателя качества эталона.

Из формул (3.111) и (3.112) выбирается та, при которой увеличению D_i отвечает улучшение качества продукции.

2. Вычисляются групповые показатели качества изделия:

$$K_j = \sum_{i=1}^n D_i m_i, \quad (3.113)$$

где D_i — относительный единичный показатель качества; m_i — коэффициент весомости i -го единичного показателя качества, удовлетворяющего требованиям $0 < m_i < 1$ и $\sum_{i=1}^n m_i = 1$; n' — количество единичных показателей качества; j — порядковый номер группового показателя качества ($j = 1, 2, 3, \dots, n'$).

Значения коэффициентов весомости групповых показателей качества приведены в табл. 3.43.

Отнесение изделий к высшей, первой или второй категории качества осуществляется на основе сопоставления обоб-

Таблица 3.43. Показатели качества средств вычислительной техники и значения показателей качества образцов-эталонов

Наименование показателей	Значение показателей качества образцов-эталонов для ЭВМ			Коэффициент весомости показателей	
	ЕС-1020	ЕС-1030	ЕС-1050	единичных	групповых
<i>Показатели назначения</i>					0,3
Эффективность команд в с/руб.	—	—	—	0,4	—
Максимальная емкость оперативной памяти, Кбайт	256	512	1024	0,2	—
Пропускная способность каналов, Кбайт/с:					
селекторного	200	800	1300	0,2	—
мультиплексного	20	40	100	0,1	—
Разрядность устройства обработки, бит	16	32	64	0,1	—
<i>Показатели надежности</i>					0,25
Наработка на отказ	250	150	150	0,4	—
Среднее время восстановления, мин	30	30	30	0,2	—
Наработка на сбой	40	40	20	0,2	—
Коэффициент технического использования	0,95	0,95	0,95	0,2	—
<i>Показатели технологичности</i>					0,15
Коэффициент технологичности	0,85	0,85	0,85	0,6	—
Трудоемкость изготовления, ч	—	—	—	0,4	—
<i>Эргономические показатели</i>					0,025
Гигиенические, балл	5	5	5	0,4	—
Антропометрические, балл	5	5	5	0,3	—
Физиологические и психофизиологические, балл	5	5	5	0,3	—
<i>Показатели стандартизации и унификации</i>					0,1
Коэффициент применяемости, %	70	70	70	0,7	—
Коэффициент повторяемости, %	20	20	20	0,3	—
<i>Патентно-правовые показатели</i>					0,05
Показатель патентной чистоты	1,0	1,0	1,0	0,6	—
Показатель патентной защиты	0,3	0,3	0,3	0,4	—
<i>Экономические показатели</i>					0,01
Полная себестоимость изготовления изделия в серийном производстве, тыс руб.	—	—	—	0,6	—
Рентабельность к полной себестоимости, %	14	14	14	0,4	—

щенного показателя качества оцениваемого изделия и образца-эталона. Для образца-эталона обобщенный показатель качества равен 1.

К высшей категории качества относятся СВТ: 1) полностью соответствующие требованиям стандартов, ТУ и другой нормативно-технической документации; 2) имеющие обобщенный показатель качества K не менее 0,8; 3) имеющие групповой показатель качества K_g не менее 0,5.

К первой категории качества относятся СВТ: 1) полностью соответствующие требованиям стандартов, ТУ и другой нормативно-технической документации; 2) имеющие обобщенный показатель качества K в пределах 0,6 ... 0,8.

Ко второй категории относят СВТ, если обобщенный показатель качества K менее 0,6.

Итак, конструкция ЭВА характеризуется совокупностью показателей качества $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$. Будем рассматривать эти показатели как компоненты вектора

$$K = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_n\} \quad (3.114)$$

или как координаты точки K в n -мерном евклидовом пространстве E^n .

Вектор K , определенный значениями этих показателей, назовем вариантом конструктивного решения [7]. Область существования вариантов конструктивного решения ЭВА — это совокупность вариантов, определенных на допустимом множестве решений $D_K = \{K_j^d\}$, на стадии конструирования D_K определяется допустимыми изменениями выбираемых параметров конструкции, при которых конструктивно осуществимо ТЗ и заданная ЭЗ.

Суть системного конструирования сводится к выбору наилучшего варианта конструкции ЭВА из множества допустимых D_K в соответствии с принятой целевой функцией $W(K)$ и ограничениями на ресурсы.

Целевой функцией обычно принимают наиболее важный показатель (в данном случае критерии) или используют линейную свертку единичных показателей.

Можно рекомендовать следующую методику системного модульного конструирования ЭВА (с учетом этапов разработки, изготовления и эксплуатации);

1) выделение конструктивных модулей первого конструктивного уровня (элементной базы) в соответствии с ТЗ и ЭЗ (§ 3.1 ... § 3.3, гл. 4);

2) поиск варианта конструктивного решения ЭВА (вариант компоновки и размещения модулей в заданном или принятом объеме (§ 2.5, 3.1 ... 3.3);

3) оценку K (3.90) ... (3.104) (табл. 3.41);

4) варьирование компоновки и размещения модулей оценки $K_1, K_2, \dots, K_m$, где m — число вариантов конструктивного решения, полученных одним из методов математического программирования (рис. 3.73) (наиболее применим по координатный и случайный поиск);

5) сравнение вариантов конструктивных решений.

В курсовом проекте можно применить смешанный метод сравнения вариантов. Метод заключается в следующем:

Шаг 1. Из сравниваемых технических решений в первую очередь исключаются все те, показатели которых хуже остальных.

Шаг 2. Исключаются те показатели, значение которых у всех вариантов одинаково.

Шаг 3. Остальные варианты сравниваются по оставшимся показателям. Показатели ранжируют и располагают в порядке убывающей важности.

Шаг 4. Сравнивают варианты с наилучшими показателями. Далее процесс повторяется для всех остальных показателей. Выбранный вариант не будет лучшим, но будет компромиссным.

6) сравнение эталона-аналога (табл. 3.43) его с полученным компромиссным вариантом конструкции (3.111) ... (3.112);

7) выполнение этапа технического проектирования и рабочей документации (§ 3.1 ... 3.3).

ГЛАВА 4

ТИПОВЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Любая реальная конструкция ЭВА состоит из ряда механических деталей и узлов, несущих на себе все схемные элементы. Эти детали и узлы образуют иерархическую структуру и называются несущими конструкциями.

При выполнении курсового проекта могут применяться два подхода в конструировании изделий ЭВА с помощью ЭВМ:

1) в режиме пользователя банком данных о нормализованных, унифицированных или стандартизованных несущих конструкциях;

2) в режиме разработчика, когда синтезируются несущие конструкции из известных и оригинальных элементов конструкции.

4.1. ЭЛЕМЕНТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Элементы несущих конструкций (корпус, шасси, панели, рамы, основания, направляющие и т. п.) предназначены для размещения, механического крепления, защиты от механических перегрузок и внешних воздействий ячеек и блоков.

Оптимальная несущая конструкция ЭВА должна обеспечивать выполнение функции ЭВА с высоким качеством, а форма соответствовать минимальной материалоемкости, при этом должны быть учтены величины и направления действия всех статических и динамических нагрузок, а также в разумной мере должны быть использованы упругие свойства материалов. Так, при изгибе и кручении целесообразно использовать пустотелые профили.

Практически преобладающая часть элементов несущей конструкции ЭВА, работающая в нормальных условиях, на прочность не рассчитывается. В нормальных условиях металлонагруженные несущие конструкции имеют такой запас прочности, при котором определяющими могут быть лишь значения деформации, т. е. жесткость.

Степень жесткости характеризуется коэффициентом жесткости. Для бруса постоянного сечения при работе на изгиб

$$\lambda_{изг} = F_{с.д}/f = K_{у.н} I/El_6, \quad (4.1)$$

а при работе на кручение

$$\lambda_{кр} = M/\varphi = G_l I_p/l_6, \quad (4.2)$$

при работе на растяжение-сжатие

$$\lambda_p = F_{с.д}/f = ES_6/l_6, \quad (4.3)$$

где I — момент инерции сечения бруса; E — модуль нормальной упругости материала; $F_{с.д}$ — действующая сила; f — прогиб (деформация); M — крутящий момент; I_p — полярный момент инерции сечения бруса; l_6 — длина бруса; $K_{у.н}$ — коэффициент, зависящий от условий нагружения [6]; S_6 — сечение бруса; G_l — модуль сдвига.

Эффективность использования конструкционных материалов может определяться удельным расходом материала на один схемный элемент

$$\eta_a = F_{c.d}/N_a. \quad (4.4)$$

Из (4.1), (4.2) могут быть получены зависимости деформации от характера нагрузки для случаев: растяжения или сжатия

$$f_p = F_{c.d} ES_0, \quad (4.5)$$

изгиба

$$f_{изг} = F_{c.d} l_0^3 / K_{y.n} EI, \quad (4.6)$$

кручения

$$f_{кр} = F_{c.d} l_1^2 l_0 / GI_p, \quad (4.7)$$

где l_1 — длина плеча приложения силы, скручивающей брус.

Зависимость деформации от массы и характера материала получим из (4.5) при объеме материала $V = a_0 b_0 l_0$ и отношению массы материала к его объему $\gamma_{пл}$ (плотности массы):

$$f_p = \gamma_{пл} l_0^2 / E. \quad (4.8)$$

Из (4.6), подставляя значение момента инерции $I = a_0^3 b_0 / 12$, получаем

$$f_{изг} = 12 l_0^4 \gamma_{пл} / K_{y.n} a_0^3 E. \quad (4.9)$$

и аналогично из (4.7)

$$f_{кр} = 12 l_1^2 l_0^2 \gamma_{пл} / a_0 G. \quad (4.10)$$

Отсюда видно, что отношение $F_{c.d}/E$ выражает физическое свойство материала, а отношение l_0/a_0 — размерные свойства конструкции. При малом $F_{c.d}/E$ и при тех же размерах тела деформация его от собственного веса будет меньше. Наименьшую деформацию имеет материал, у которого отношение $\gamma_{пл}/E$ или $\gamma_{пл}/G$ является наименьшим. Выбор материала конструкции целесообразно выполнять по обратной величине этих отношений (табл. 4.1).

Для увеличения жесткости элементов несущих конструкций можно рекомендовать следующие способы (приложение 3):

- замену изгиба растяжением-сжатием;
- создание специального профиля у балок;
- гибку листового проката;

Таблица 4.1

Наименование материалов	$E/10^3, \text{Н/м}^2$	$\gamma_{\text{пл}}/10^3, \text{кг/м}^3$	$\frac{E}{\gamma_{\text{пл}}} / 10^3$
Сталь	21 000	7,8	2700
Алюминиевый сплав	7 200	2,8	2600
Магнелиевый сплав	4 000	1,7	2270
Латунь	10 000	8,4	1200
Бронза	11 400	8,5	1360
Титан	11 500	4,5	2600
Керамика	8 000	3,8	2100
Ситал	10 000	2,6	3800
Пластмассы терморезистивные	60...1000	1,3...1,8	44...800
Пластмассы термопластичные	10...100	1,2...1,5	8,5...85

блокирование деформации с помощью косых связей; использование балок с симметричными профилями, которые исключают моменты кручения;

Применение ребер жесткости для плоских деталей несущих конструкций (рис. 4.1);

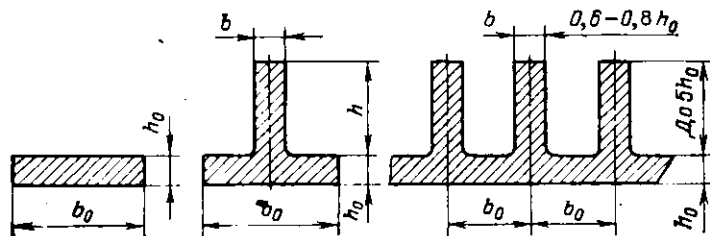


Рис. 4.1. Ребра жесткости плоских деталей несущих конструкций

использование зиговки, высадки, вытяжки в штампе или отбортовки кромок (рис. 4.2).

Обычно высота ребер в литых деталях составляет не более $h = 5h_0$, а толщина — не более $(0,6 \dots 0,8)h_0$ (рис. 4.1). В деталях, изготовленных из тонколистового проката, высоту ребер выбирают из соображений прочности.

Для вибропрочной ЭВА прочность конструкции определяют по циклической нагрузке (циклическая прочность материала). Пределом усталости (выносливости) материала

принято называть напряжение σ_y , которое материал в состоянии выдержать при данном числе циклов [6].

Для симметричного знакопеременного цикла существуют установившиеся соотношения между пределом усталости на изгиб $\sigma_{y,изг}$, пределом прочности $\sigma_{пр}$ и условным пределом текучести $\sigma_{тек}$: для стали

$$\sigma_{y,изг} = (0,2 \dots 0,3) \sigma_{пр} (1 + \sigma_{тек}/\sigma_{пр}); \quad (4.11)$$

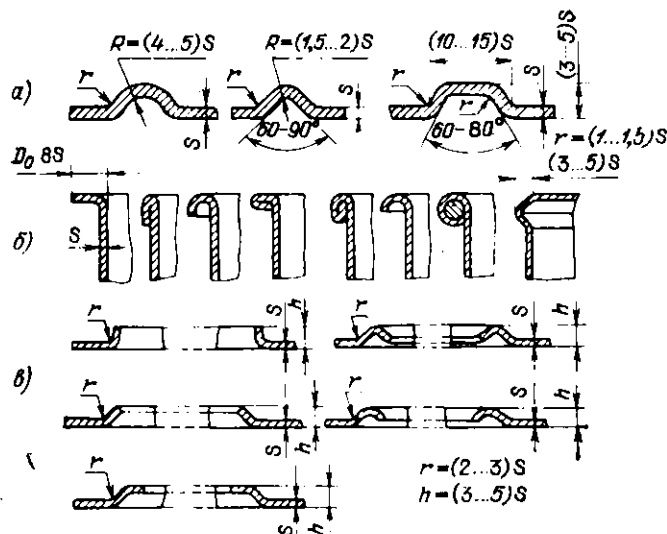


Рис. 4.2. Образование профиля жесткости на плоскости и по периметру деталей из тонколистового проката:

а — профиль и размеры зига для мягких сортов металла; б — отгибка кромок; в — отбортовка внутренних кромок

для алюминиевых и магниевых сплавов

$$\sigma_{y,изг} = (0,25 \dots 0,5) \sigma_{пр}; \quad (4.12)$$

для медных сплавов

$$\sigma_{y,изг} = (0,3 \dots 0,4) \sigma_{пр}. \quad (4.13)$$

В сравнении с симметричным знакопеременным изгибом предел усталости на растяжение или сжатие больше в 1,1 ... 1,5 раза, а на кручение — меньше в 1,5 ... 2 раза [6].

4.2. ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПЛЕНИЯ И ФИКСАЦИИ

Элементы крепления и фиксации должны обеспечивать надежное крепление ячеек и блоков и исключать самопроизвольное взаимное перемещение сопрягаемых элементов.

Элементы крепления и фиксации должны удовлетворять требованиям удобства сборки, монтажа и эксплуатации аппаратуры, а также требованиям ремонтпригодности. Для обеспечения указанных требований необходимо, чтобы в конструкции ЭВА было минимальное число элементов крепления и фиксации. Требования механической прочности изделия ЭВА определяют расположение и количество элементов крепления и фиксации. Механическое крепление печатных плат в ячейках и блоках осуществляется винтами и заклепками.

Обычно ориентация ячеек в блоках разъемной конструкции осуществляется с помощью штырей-ловителей и невыпадающих винтов. Для индивидуального крепления кардасных ячеек, оканчивающихся соединителями, следует предусматривать: с одной стороны фиксирующие штыри-ловители, с другой, противоположной, стороны — невыпадающие винты. Штыри могут выполняться плавающими или с жестким закреплением. Их следует располагать на расстоянии, максимально отдаленном друг от друга.

4.3. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В конструкциях ЭВА встречаются самые различные элементы электрических соединений.

В разъемных конструкциях наиболее распространены электрические соединители. Их рекомендуется использовать в ячейках, кассетах и блоках, которые должны быть легкоъемными и обладать способностью быстрого электрического соединения.

Соединительные колодки и переходные контакты могут использоваться в узлах, ячейках и кассетах, для которых предъявляются высокие требования по надежности электрических соединений, малых габаритных размеров и массы.

Плоские кабели применяются преимущественно в блоках книжной конструкции для обеспечения рационального использования объема блока, уменьшения его габаритных размеров и массы.

Не менее 10 % выходных контактов общего их числа в электрических соединениях следует резервировать (для ячеек, кассет и блоков).

Современные миниатюрные электрические соединители делятся на две группы: 1) для внутриблочного печатного и объемного монтажа; 2) для межблочного объемного монтажа.

К диэлектрическим соединителям, используемым в ЭВА на ИМС, предъявляются следующие основные требования: высокая надежность электрических соединений; малые габаритные размеры и масса; рациональная компоновка (совместимость) с ИМС; удобство эксплуатации.

Для внутриблочных электрических соединений узлов, ячеек и кассет рекомендуется применять малогабаритные электрические соединители (табл. 4.2).

Таблица 4.2 Типы малогабаритных соединителей

Виды соединений	Тип соединителя	Технические условия
Печать — печать	ГРППЗ, ГРПМЗ ГРППМ7 ГРППМ8 ГРППМ10 РППМ26 СНПЗ4	Ке0.364.003 ТУ Ке0.364.010 ТУ Ке0.364.010 ТУ Ке0.364.010 ТУ Ке0.364.036 ТУ 6Р0.364.009 ТУ
Печать — объемный монтаж	ГРПМ1 ГРПМ9 ГРПМЗ ГРППМ5 (6) ГРППМ7 РЛМИ2 ГРПМ8 ГРППМ17 СНП59	Ке0.364.006 ТУ Ке0.364.009 ТУ Ке0.364.003 ТУ Ке0.364.010 ТУ Ке0.364.010 ТУ Ке0.364.008 ТУ Ке0.364.114 ТУ Ке0.364.011 ТУ Ке0.364.043 ТУ
Объемный монтаж — объемный монтаж	ГРПМ2 ГРПМЗ РПМЗ	Ке0.364.002 ТУ Ке0.364.008 ТУ Ке0.364.194 ТУ

Примечание. У соединителей ГРПМ1, ГРПМ2, ГРПМЗ, ГРПМ9, ГРППЗ, ГРППМ5, ГРППМ7, ГРППМ8 и ГРППМ10 при воздействии на них вибрационных и ударных нагрузок изменение контактного сопротивления (динамическая нестабильность) не регламентируется.

Выступающая часть выводов вилок и розеток соединителей над поверхностью платы в местах пайки должна быть в пределах от 0,5 до 1,6 мм.

Вилки соединителей ГРПМ1-У, ГРПМ9-У, ГРППЗ на 14, 24, 36 и 46 контактов, ГРППМ5, ГРППМ10 и розетки соединителей ГРПМ1-У, ГРППМ7, ГРППМ8 и СНПЗ4 устанавливаются на печатные платы и их выводы и запаиваются в отверстиях плат. Вилки соединителей ГРПМ9-Н, ГРППЗ на 58 контактов, РППМ26 устанавливаются на печатные платы и их выводы и припаиваются к контактным площадкам плат.

Розетки соединителей ГРПМ1-П, ГРПМ9-Н, ГРППЗ, ГРППМ10, РППМ26 и вилки соединителей ГРПМ1-П, ГРППМ7 и СНПЗ4 устанавливаются на объединительные печатные платы и их выводы запаиваются в отверстия плат.

Электрическое соединение выводов соединителя ГРПМ9 выполняется с использованием струнного или объемного монтажа. Соединитель ГРПМ1 на 122 контакта (с четырехрядным расположением контактов) может быть использован в ячейках только в том случае, если часть контактов вилки соединителя будет соединяться с печатной платой ячейки монтажными проводами, так как невозможно выполнить подводу печатных проводников ко всем контактам.

Соединители ГРПМ7 и СНПЗ4 могут быть применены в ячейках, если часть контактов розетки разъема будет соединяться с печатной платой ячейки монтажными проводами или при использовании МПП.

Для межблочных связей рекомендуется применять электрические соединители следующих типов:

РПКМ	РСГТ	ГРПМ2
2РМТ-А1	РСГАТ	ГРПМ3
2РМДТ-А1	РСБАТ	РППМ8
МР1	РСГБИ	РП15
МР3	РСБТ	РПС1
РСТ	РСГСП	
РСАТ	РСГБАТ	

С электрическими соединителями РПМИ2, РППМ8, 2РМТ-А1 и 2РМДТ-А1 могут быть соединены плоские и опрессованные кабели. Параметры некоторых типов электрических соединителей приведены в табл. 4.3.

Соединительные колодки используются как промежуточные переходные элементы для электрического соединения узлов и ячеек с коммутационной печатной платой или для соединения узлов коммутационной платы с объемным монтажом. Соединительные колодки позволяют осуществить

Таблица 4.3. Технические характеристики миниатюрных гиперболических электрических соединителей

Шифр, тип электрических соединителей и ТУ	Допустимый ток, А	Допустимое напряжение, В	Количество контактов	Шаг между контактами, мм	Средний диаметр контактной поверхности, мм	Масса, г	Габаритные и присоединительные размеры, мм			
							A	L	B	H
ГРПМ1, г КЕ0.364.006 ТУ	20 (через контакты по периметру)	90	31	В шахматном порядке с шагом 1,75 и 3,5	4,5	33,4	68	78	9	27,5
			45			41	92	102	9	27,5
			61			49,6	120	130	9	27,5
			90			70,4	120	130	12	30
			122			96,1	120	130	15	30
ГРПМ3, КЕ0.364.003 ТУ ГРПМ11, КЕ0.364.002 ТУ	3 (через контакты по периметру)	100	24	В шахматном порядке с шагом 1,75 и 3,5	0,04—0,19	—	135	143	10	37,3
			58			41,2	160	168	10	40,2
			30			43,9	40	55	15—20	35—28
			46			66,5	54	69		
			62			88,2	68	83		
РПММ-1	3	200	90	То же	0,04—0,19	112,5	92	107		
			122			20	120	135		
			8			От 7,9	15	22,5	7	От 14
			11			до 43 см. ТУ	17	25		до 36
			14				20	27,5		
РПММ2 КЕ0.364.088 ТУ	1	80	20	2,5	100 г на кон-такт		25	32,5		
			26				30	37,5		
			35				37,5	45		
			44				38,25	43,75	9	
			50				40	47,5		
			66				50	57,5	2,5	14
			≤ 60				157,5	≤ 160		

холодное контактирование выводов при настройке аппаратуры с последующим запаиванием.

Примеры рекомендуемых вариантов соединительных колодок и их установок приведены в ОСТ 4ГО.010.009, ред. 3—76.

Для электрического соединения узлов и субблоков используются гибкие печатные, тканые и опрессованные кабели (табл. 4.4, 4.5).

Т а б л и ц а 4.4. Основные конструктивные характеристики плоских кабелей

Марка кабеля	Технические условия	Количество жил в кабеле и сечение, мм ²	Расстояние между центрами жил, мм	Ширина кабеля, мм	Толщина кабеля, мм	Вид изоляции
КПВР	ТУ КП054-66	12×0,20	2,100	24,7	1,60	Поливинилхлоридная
		20×0,20	2,100	41,5	1,60	
		20×0,35	2,280	45,1	1,78	
		20×0,50	2,400	47,5	1,90	
КППР	ТУ 16-505.511-73	15×0,20	1,700	25,4	1,60	Полиэтиленовая
		20×0,12	1,300	26,2	1,15	
		20×0,20	2,100	41,5	1,60	
		20×0,35	2,280	45,1	1,78	
		20×0,50	2,400	47,5	1,90	
КППРО		22×0,12	1,200	27,3	1,00	
КППРЭ		8×0,20	3,700	29,0	3,10	
		8×0,35	4,000	33,0	3,30	
ПВП	ТУ 16-505.558-73	24	0,328	10,5	0,75	
		48	0,468	—	0,75	
		60	0,625	35,5	0,75	
ПЛБ6Г	ТУ 16-505.563-73	8	0,400	4,0	0,80	
		9	0,400	4,5	0,80	
ППРО	ТУ 16-505.510-73	5	1,870	9,5	0,80	
		10	1,870	19,0	0,80	
		15	1,870	28,5	0,80	
		20	1,870	38,0	0,80	

Таблица 4.5. *Плоские ленточные кабели*

Марка кабеля*	Число проводов в кабеле	Сечение проводов, мм ²	Рабочая температура, °С	Относительная влажность, %	Вибрация	Многократный удар
ЛФ	4; 7; 10; 14; 19; 24; 32;	0,03; 0,05; 0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,5	От -60 до +200	98 при +35° С	Частота 1...2000 Гц при ускоре- нии 20 g, линейная нагрузка при ускоре- нии до 25 g То же	С ускоре- нием 150g от 1 до 3 м/с
ЛФЭ	4; 7; 10; 14; 19; 32	0,08; 0,12; 0,20	От -60 до +200	98 при +35° С	То же	То же

* Кабели ЛФ и ЛФЭ выдерживают воздействие солевого тумана, бензина, керосина, масла.

ГПК (кабель гибкий печатный) — система печатных проводников, расположенных параллельно друг другу в одной плоскости на электроизоляционном гибком основании.

ПТК (плоский тканый или плетеный кабель) — система монтажных проводов, расположенных параллельно друг другу в одной плоскости и скрепленных нитями ткацким методом или плетением.

ПОК (плоский опрессованный кабель) — система монтажных проводов, расположенных параллельно друг другу в одной плоскости и скрепленных методом опрессовки полимерными эластичными материалами.

Гибкие печатные и тканые кабели используются, как правило, для нефиксированного монтажа; опрессованные — для фиксированного. По конструктивному оформлению и способам электрического присоединения к печатным платам ГПК могут быть выполнены в трех вариантах:

1) ГПК, оканчивающиеся металлизированными контактными площадками с отверстиями. Кабели этого типа устанавливаются и запаиваются на штыри (контактные), расположенные на печатной плате или колодке;

2) ГПК, оканчивающиеся металлизированными контактными площадками, которые после совмещения припаиваются к контактным площадкам на печатной плате;

3) ГПК, оканчивающиеся контактными лепестками, которые припаиваются к контактным площадкам на печатной плате.

Все типы ГПК выполняются на основе гибкого фольгированного диэлектрика марок ФДЛ (ВТУ.6140.029.409) и ФГ-1 (2) (ТУИЖ57—67). Размеры печатных проводников, контактных площадок и лепестков печатных плат и ГПК должны удовлетворять требованиям ОСТ 4ГО.010.011.

Шаг расположения контактных площадок ГПК при присоединении к контактным площадкам печатной платы (варианты 2 и 3) рекомендуется выбирать кратным 1,25 мм; при припайке к штырям (вариант 1) кратным 2,5 мм. Расстояние от края ГПК до проводника или контактной площадки должно быть не менее 2 мм. Кабели ГПК, выполненные по пп. 2 и 3, предпочтительнее использовать при большом количестве выходных контактов с печатных плат.

Максимальную ширину ГПК рекомендуется выбирать равной 150 мм, максимальную длину 350 мм. Кабели ГПК должны быть механически закреплены на ячейке в зоне электрического присоединения к печатным платам. Кабели ГПК, выполненные по п. 1, устанавливаются с одной стороны печатной платы, по пп. 2 и 3 допускается установка с двух сторон.

Тканые и опрессованные кабели рекомендуется устанавливать с одной стороны. Шаг расположения отверстий под распайку жил тканых и опрессованных кабелей на печатной плате рекомендуется выбирать кратным 2,5 мм. Разделка и электромонтаж плоских тканых и опрессованных кабелей в печатные платы и электрические соединители должны производиться в соответствии с ОСТ 4.ГО.054.034 [5].

Выбор марки и типоразмера кабелей необходимо осуществлять в соответствии со схемой ЭЗ, типом электрического соединителя, механических и климатических условий на данную аппаратуру.

Для фиксированного монтажа рекомендуется использовать плоские кабели (табл. 4.4)

Расчет ГПК выполняют по ГОСТ 23752—79.

Тканые кабели при длине соединения менее 40 мм не применяются (в этом случае целесообразно использовать монтажные провода).

Выбор монтажного проводника производится в зависимости от протекающего тока и допустимого перегрева проводника. Диаметр монтажного проводника

$$d_{\text{м.п}} = 1,13 \sqrt{I/J}, \quad (4.14)$$

где I — ток нагрузки; A ; J — плотность тока, $A/\text{мм}^2$.

Марки и сечения проводов для выполнения объемного монтажа в ячейках и блоках приведены в табл. 4.6.

Электрическое соединение монтажных проводов на печатной плате следует осуществлять с использованием металлизированных отверстий, переходных пистонов и монтажных лепестков. Выступающая часть жилы монтажного провода над поверхностью платы должна быть от 0,5 до 1,6 мм. Требуется механическое закрепление монтажных проводов в непосредственной близости от места электрического присоединения. Обычно для этого применяют специальные колодки (ОСТ 4ГО.010.009).

Для книжной конструкции в «корешке» из специальной резины располагаются монтажные проводники жгутового соединения [5].

Монтажные провода не рекомендуется вязать в жгут в местах шарнирных соединений. Провода должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечивать возможность их скручивания. Необходимо избегать резких изгибов монтажных проводов.

По ОСТ 4.ГО.010.009, ред. 3—76 (черт. 132 и 133 или 134) рекомендуется выполнять соединения между ячейками в блоках с помощью гибких ремней. Это применяется для уменьшения объема электрического монтажа и сокращения длин проводов.

В современной ЭВА (СМ-4, «Электроника 100-25» и др.) широко используется метод накрутки проводов на выводы с острыми кромками прямоугольного или квадратного сечения без последующей пайки. На одном выводе не следует выполнять более трех соединений накруткой или более двух соединений бандажированием. Для этого метода электромонтажа следует применять одножильный медный луженый или серебряный провод.

В практике широко используются различные методы монтажных проводниковых соединений:

1. Метод «Тиерс». Изолированный провод разводят по поверхности платы в соответствии с заданной программой и присоединяют к луженым контактным площадкам платы путем разогрева провода, выжигания изоляции пайки паяльной головкой. Этот монтаж производят на стандартной плате с предварительно нанесенными шинами питания и заземления.

Сторона платы, на которой распаиваются навесные элементы, соединяется с монтажной стороной сквозными металлизированными отверстиями. На монтажной стороне платы имеются луженые контактные площадки для припайки проводов диаметром 0,1 мм в полиуретановой изоляции. Автоматическая монтажная головка станка с программным управлением подает провод, расплавляет изоляцию тепловым импульсом, и запаивает провод, охлаждает

Таблица 4.6. Основные конструктивные характеристики монтажных проводов

Марка провода	ГОСТ, ТУ	Номинальное сечение жилы, мм ²	Максимальный наружный диаметр, мм	Особенности изоляции и экрана
ГФ	ТУ 16-505.192—71	0,07 0,14 0,20	0,85 1,01 1,12	—
ГФЭ	ТУ 16-505.192—71	0,07 0,14 0,20	1,25 1,41 1,60	—
ГФ-100м	ТУ 16-505.759—75	0,03 0,05	0,45 0,52	Фторопласт-4 с последующей термообработкой
ГФМ-100	ТУ 16-505.195—71	0,05 0,08 0,12 0,20	0,80 0,90 1,00 1,20	—
ГФМ-250	—	0,08 0,12 0,20 0,35	1,10 1,20 1,30 1,60	Фторопласт-4д
ГФМЭ-250	ТУ 16-505.196—71	0,08 0,12 0,20 0,35	1,50 1,60 1,70 2,00	Фторопласт-4д; экран
МГТЛ	ТУ 16-505.193—71	0,12 0,20	1,10 1,40	Лавсановая пленка и защитная оболочка из шелка, пропитанного кремнийорганическим лаком
МГЛТЭ	ТУ 16-505.194—71	0,12 0,20	1,60 1,90	Лавсановая пленка и защитная оболочка из шелка, пропитанного лаком экрана

Продолжение табл. 4.6

Марка провода	ГОСТ. ТУ	Номинальное сечение жил, мм ²	Максимальная наружная диаметр, мм	Особенности изоляции и экрана
МГТФ	ТУ 16-505.185—71	0,07 0,10 0,14	0,75 0,85 0,90	Фторопласт-4 с последующей термообработкой
МГТФЭ		0,14	1,60	Фторопласт-4 с последующей термообработкой, экран из медных луженых проволок
МГШВ	ТУ 16-505.437—73	0,14 0,20 0,35	1,40 1,60 1,90	Пленка или обмотка из двух слоев триацетатного шелка, покрытых слоем поливинилхлоридного пластика, экран из медных луженых проволок, оболочка из поливинилхлоридного пластика
МГШД	ГОСТ 10349—79	0,05 0,07 0,10	0,70 0,80 0,90	Оплетка из капроновой нити, лакированная
МГШДОП		0,05 0,07 0,10 0,20	1,00 1,10 1,20 1,30	Двойная оплетка из капроновой нити, лакированная
МПМ	ТУ 16-505.495—73	0,12	1,00	Полиэтилен высокой плотности
МПМУ		0,12 0,20	1,00 1,15	
МПО	ТУ 16-505.339—72	0,12 0,20	1,10 1,30	Полиэтилен

соединение, производит испытание пайки на отрыв и на надежность электрического контакта, после чего отрезает провод.

Минимальное расстояние между центрами контактных площадок, которое обеспечивается при этом методе, составляет 1,9 мм. Монтажные станки, разработанные для этого метода, могут быть с одной паяльной головкой или четырьмя-шестью головками и работают по заданной программе, команды которой поступают с перфоленты цифрового устройства.

По мнению американских специалистов, этот метод удешевляет изготовление схемных плат в 4 раза по сравнению с другими методами проводного монтажа и на 35 % по сравнению с печатным монтажом.

2. Метод «Мультивайф». Этот вид проводного монтажа осуществляют изолированным проводом диаметром 0,16 мм на поверхности платы, покрытой незатвердевшей клеей термореактивной пластмассой. Автоматический станок с программным управлением производит раскладку и фиксацию проводников в соответствии с таблицей соединений, после чего плату подвергают действию тепла и давления. В результате проводники оказываются запрессованными в тело платы. Соединение между проводниками производят сверлением отверстий в нужных местах с последующей металлизацией. Минимальное расстояние между осевыми линиями проводов при этом методе составляет 0,6 мм, между центрами отверстий 1,3 мм. Изоляционный слой толщиной 0,03 мм, отделяющий проводники друг от друга в местах пересечений, выдерживает напряжение 2—5 кВ.

Для плат по методу «Мультивайф» используют как гибкие подложки, так и все фольгированные стеклопластики. Укладка проводников выполняется в восьми направлениях через 45°. Этот метод наиболее эффективен в мелкосерийном производстве.

3. Комбинированные методы [7]. Предложенный способ разводки проводов характеризуется тем, что изолированный провод пропускают в неметаллизированные отверстия платы, в результате чего с другой стороны образуются петли, при этом печатную плату устанавливают на резиновую прокладку. Такой метод получил название «стежкового» (ОСТ 4ГО.10.009, ред. 3—76).

Рекомендуемый диаметр монтажного отверстия не менее 0,8 мм для ручной прошивки и не менее 1,0 мм для автоматизированной.

Диаметр монтажного отверстия выбирают из следующего соотношения:

для ручной прошивки

$$d_0 = d_{н.н} + d_{пр} + 0,2, \quad (4.15)$$

для автоматизированной прошивки

$$d_0 = d_{н.н} + d_{пр} + 0,1, \quad (4.16)$$

где d_0 — диаметр монтажного отверстия, мм; $d_{н.н}$ — наружный диаметр иглы, равный 0,5 мм; $d_{пр}$ — диаметр монтажного провода, мм.

Рекомендуется применять провод марки ПЭВЛТК 0,12 ТУ-16-505.480—73 диаметром от 0,1 до 0,2 мм.

Внутренний диаметр иглы, мм,

$$d_{и.в} = d_{пр} + 0,1. \quad (4.17)$$

Центры монтажных отверстий следует располагать в узлах координатной сетки (шаг 1,25 мм) на продольных осях дополнительных контактных площадок на расстоянии не менее 1,0 мм от края площадки.

4.4. УНИФИЦИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В § 3.1 отмечалось, что в отечественной практике конструирования используются различные системы унифицированных конструкций (УК). Системы УК представляют собой совокупность конструктивных уровней, организованных в определенной соподчиненности на основе единого размерного модуля и единой технологии производства с учетом функциональных, механических и тепловых факторов, а также требований технической эстетики.

В курсовом проекте можно использовать УК, рекомендуемые ГОСТ 25122—82, ГОСТ 20504—81, ГОСТ 26.204—83 [1] и УК СМ ЭВМ. Унифицированные конструкции СМ ЭВМ (рис. 4.3) удовлетворяют стандартам СЭВ «Панели и стойки. Основные размеры». Этот стандарт устанавливает размеры лицевых панелей автономных комплектных блоков (АКБ), по ширине равных 482,6 мм, и модуль вертикального наращивания $U = 44,45$ мм.

А. Платы. В изделиях 0-го порядка (рис. 4.3) УК СМ ЭВМ платы печатные, монтажные, подвижные являются несущими конструкциями, предназначенными для размещения, конструктивного и электрического объединения и подсоединения к внешним цепям дискретных и интегральных электро- и радиоэлементов.

Платы печатные монтажные, подвижные предназначены для установки в изделия 1-го порядка (см. рис. 4.3) и используются для создания блоков элементов.

Блок элементов — печатная плата с размещенными на ней электро- и радиоэлементами, соединителями и другими элементами.

В УК СМ ЭВМ приняты четыре типоразмера подвижных печатных плат: Е1, Е2, Е3 и Е4.

Плата типа Е1 (100 × 160 мм) предназначена для компоновки функционально и конструктивно законченных узлов источников питания. Однако возможно использование платы Е1 для проектирования логических блоков. Плата типа Е2 (233,4 × 220 мм) предназначена для создания подвижных функционально законченных логических блоков элементов, процессоров, контроллеров, согласователей и модулей устройств сопряжения с объектом (УСО). Плата типа

Е3 (233,4 × 160 мм) является вспомогательной для создания логических блоков вспомогательного и сервисного оборудования электромеханических и видеотерминальных устройств. Плата типа Е4 (100 × 220 мм) является вспомогательной для создания специальных блоков.

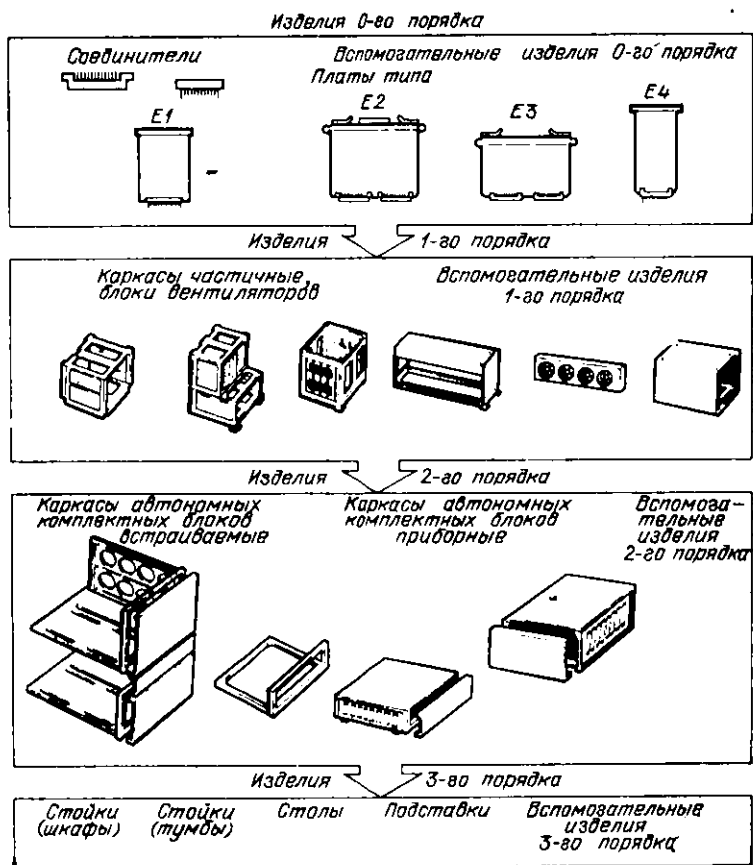


Рис. 4.3. Унифицированные конструкции СМ ЭВМ

Из вспомогательных изделий 0-го порядка следует особо рассмотреть соединитель. В соответствии с УК СМ ЭВМ для осуществления разъёмных соединений логических блоков элементов, выполненных на подвижных печатных платах Е2 и Е3, принят соединитель низкочастотный, прямо-

угольный для печатного монтажа СНП59 косвенного соединения печатной платы (вилка угловая и розетка прямая). При этом на присоединительной стороне печатной платы устанавливаются две вилки СНП59-96/94 $\times$ 11В-23, Ке0.364.043 ТУ.

Б. Каркасы блоков. Несущая конструкция, предназначенная для размещения и конструктивного объединения блоков элементов в УК СМ ЭВМ, получила название частичного каркаса.

Частичные каркасы УК СМ ЭВМ обеспечивают:

- возможность соединения частичных каркасов между собой с помощью стыковочного узла;
- возможность наращивания каркасов по высоте;
- облегченный доступ к монтажной панели путем поворота каркаса;
- размещение блоков элементов в каркасе горизонтальное и вертикальное, выдвижение их вперед и назад, вверх и в сторону;
- прием блоков элементов, реализованных на платах трех типов Е1, Е2 и Е3;
- прием различного количества блоков элементов (от 2 до 26);
- установку блоков элементов с шагом 17,5 и 20 мм;
- применение разъема питания РП 10 на 15 и 22 контактах.

Частичные каркасы УК СМ ЭВМ (рис. 4.4) имеют 20 типов исполнения, и каждый тип имеет варианты исполнения по высоте в зависимости от количества вставляемых блоков элементов и шага их установки.

В соответствии с назначением и конструктивным исполнением частичные каркасы можно разделить на подвижные, стационарные, наращиваемые и поворотные.

Подвижные частичные каркасы предназначены для размещения от 2 до 25 блоков элементов на платах Е2 и Е3 с шагом установки 17,5 и 20 мм и соединения их друг с другом с помощью стыковочного узла. Подвижные каркасы имеют направляющие для движения в АКБ. Впереди внизу предусмотрена возможность установки соединителя питания и установлены съемники для соединения и рассоединения двух каркасов с помощью стыковочного узла, а также их фиксации в направляющих АКБ.

Стационарные частичные каркасы в отличие от подвижных не имеют съемников и соединителя питания. Они крепятся к основанию АКБ с помощью

винтов, а питание подводится непосредственно к объединительной плате. Стационарные каркасы могут вмещать блоки элементов на платах Е1, Е2, Е3 в количестве от 3 до 26, а на платах Е1 попарно, в два ряда ($2 \times Е1$) в количестве от 6 до 52. Шаг установки блоков элементов 17,5 мм.

На верхнем листе подвижного или стационарного каркаса могут быть предусмотрены направляющие для установки на них («вторым этажом») дополнительных каркасов.

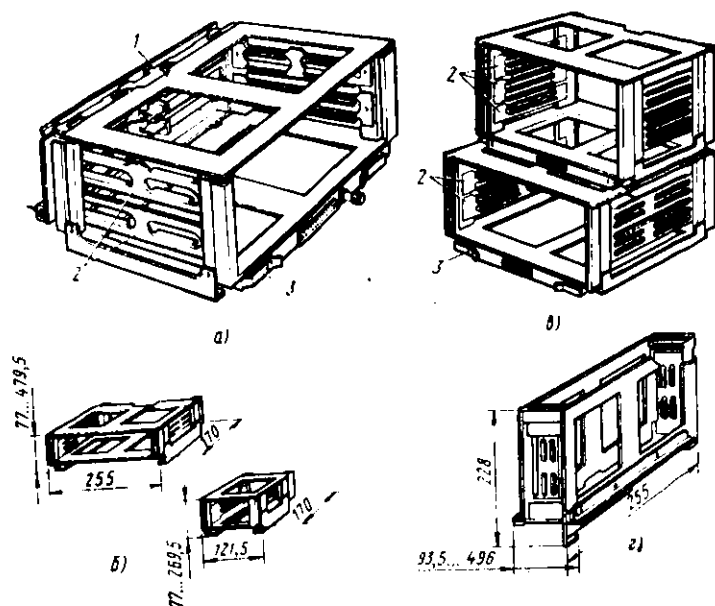


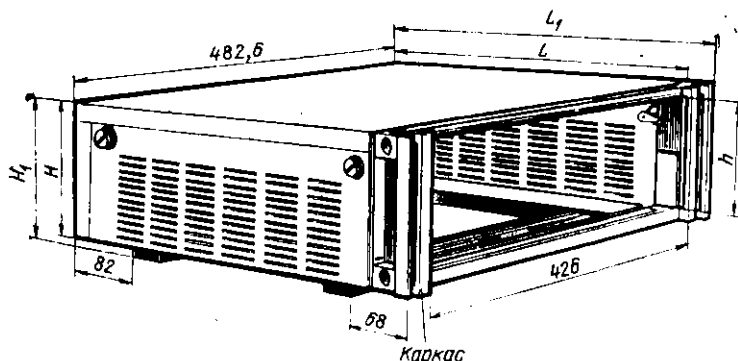
Рис. 4.5. Каркасы автономного комплектного блока приборного исполнения:

1 — монтажные панели; 2 — направляющие плат; 3 — съемник

Наращиваемые каркасы выполнены аналогично подвижным, но не имеют съемников. Верхний этаж крепится к нижнему этажу винтами. Наращиваемые каркасы могут вмещать блоки элементов на платах Е2, Е3 в количестве от 3 до 26, а на платах $2 \times Е1$ — в количестве от 6 до 52. Шаг установки блоков элементов 17,5 мм, соединитель питания на 15 контактов.

Поворотный каркас выполнен из таких же деталей, что и каркасы первых трех групп, но платы состав-

ляются вертикально сверху. С боков каркаса установлены два швеллера, на которых имеются отверстия для установки петель поворота и задвижки, с помощью которых каркас фиксируется на основании.



Размеры, мм				
h	H	H ₁	L	L ₁
86,5	132,5	154,5	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768
141	177	199	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768
185,5	221,5	243,5	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
185,5	221,5	243,5	660	708
			720	768
230	256	288	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768
274,5	310,5	332,5	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768

Размеры, мм				
h	H	H ₁	L	L ₁
319	355	377	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768
353,5	399,5	421,5	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768
408	444	466	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
408	444	466	660	708
			720	768
452	488	510	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768
486,5	532,5	554,5	420	468
			480	528
			540	588
			600	648
			660	708
			720	768

Рис. 4.6. Каркас автономных комплектных блоков встраиваемого и приборного исполнения

Частичные каркасы УК СМ ЭВМ устройства питания и вентиляции устанавливаются в изделия 2-го порядка (каркасы АКБ) (рис. 4.5).

Базовый каркас автономных комплектных блоков встраиваемого и приборного исполнений (рис. 4.6) имеет 60 вариантов исполнения: десять по высоте и шесть по глубине. Типоразмеры каркаса обусловлены требованиями стандарта СЭВ «Панели и стойки. Основные размеры». В соответствии с этим стандартом устанавливается размер лицевой панели по ширине 482,6 мм, а модуль вертикального наращивания $U = 44,45$ мм. Каркас АКБ по высоте может быть выполнен с размерами от $3U$ до $12U$.

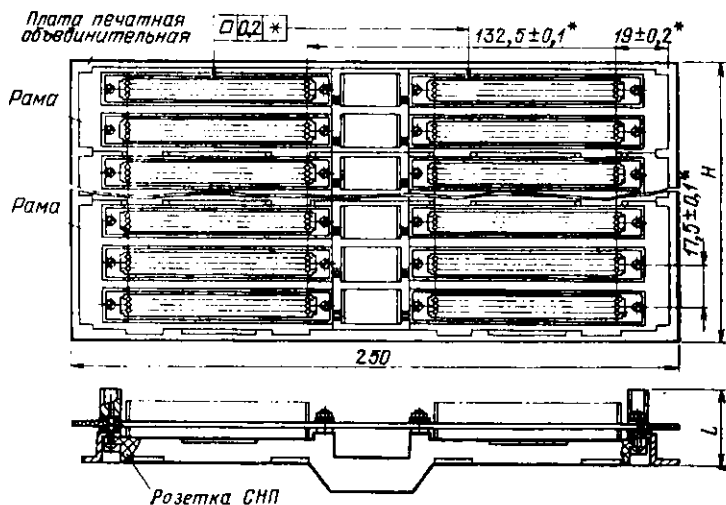


Рис. 4.7. Монтажная панель

Конструктивно каркас выполнен из технологичных по изготовлению деталей и прост в сборке: два литых кронштейна (передний и задний) соединены стяжками из алюминиевых профилей, одновременно являющимися ручками при переносе устройства. К переднему кронштейну крепятся две ручки из алюминиевого профиля, стянутые сверху стяжкой из профиля. Ручки используются для выдвижения АКБ из шкафа и имеют отверстия для закрепления АКБ в шкафу. В концах ручек расположены защелки для закрепления на каркасе лицевых панелей. Стяжки имеют ряд отверстий для установки вспомогательных деталей, необходимых для компоновки устройств на базе каркасов АКБ: основания, направляющих, обшивок и пр.

Базовый каркас АКБ (рис. 4.6) легко трансформируется в приборный корпус. Для этого с помощью вспомогательных деталей на нем устанавливаются легкосъемные обшивки (боковая и задняя), которые могут сниматься независимо

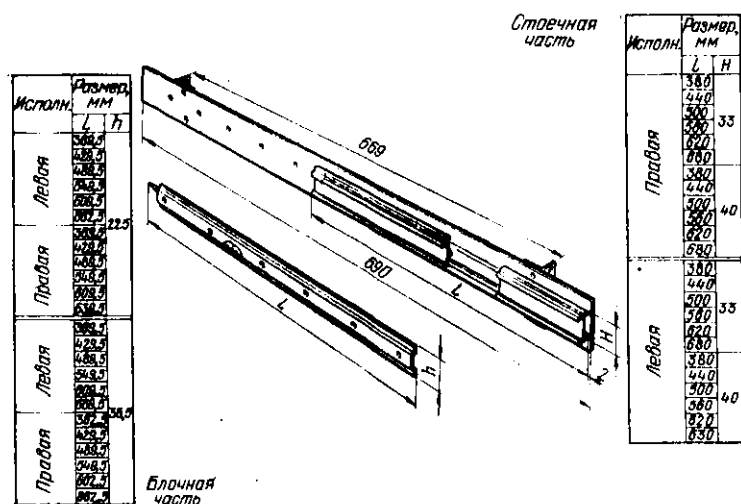


Рис. 4.8. Телескопические направляющие

друг от друга. Для коммутации в АКБ используется монтажная панель (рис. 4.7), а для установки АКБ в шкаф применяются телескопические направляющие (рис. 4.8).

4.5 КОМПОНОВКА УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ УК

Возможные варианты компоновки блоков элементов (изделий 1...10)-го порядка УК СМ ЭВМ) в каркасе АКБ схематично показаны на рис. 4.9.

Первый вариант компоновки характеризуется следующими признаками:

- 1) возможностью размещения большого количества интерфейсных связей;
- 2) горизонтальным расположением блоков элементов с шагом установки 17,5 и 20 мм;
- 3) возможным размещением блоков элементов в двух частичных монтажных блоках и реализацией объединяющего монтажа на двух вертикальных платах;

4) наличием механической и электрической связи между частями устройства, расположенными в частичных монтажных блоках с помощью соединителя СНП 59 и вспомогательных деталей стыковочного узла;

5) обеспечением доступа к объединительной плате путем выдвижения частичных каркасов;

6) подключением питающего напряжения с помощью соединителя РП-10.

При небольшом количестве интерфейсных связей для исключения промежуточных связей между каркасами и при необходимости единого объединяющего монтажа рационально применять 3-й вариант компоновки (рис. 4.9). Для этого варианта характерны следующие свойства:

облегченный доступ к объединительной плате при применении поворотного частичного каркаса;

горизонтальное расположение объединительной платы внизу устройства;

вертикальное расположение блоков элементов с шагом 17,5 мм;

подвод питания к объединительной плате с помощью жгута.

Частным случаем 3-го варианта компоновки является 2-й вариант компоновки, который предусматривает установку в заднем отсеке АКБ частичного каркаса с горизонтальной установкой большого количества блоков элементов или интерфейсных плат с шагом 20 мм.

Электрическая связь между блоками элементов, расположенными в двух каркасах, осуществляется с помощью интерфейсных и адаптерных плат.

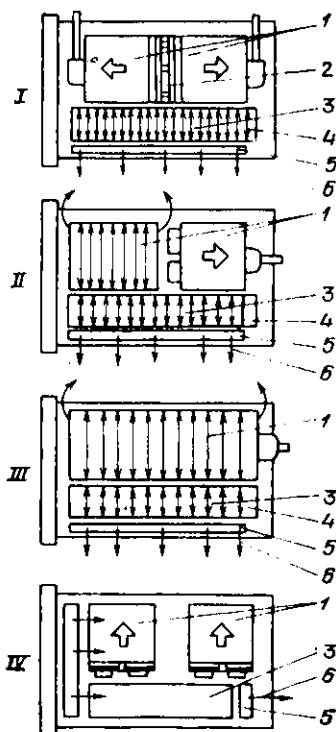


Рис. 4.9. Варианты компоновки:

1 — блоки частичные объединительные; 2 — стыковочный узел; 3 — источник питания; 4 — блок включения; 5 — блок вентиляторов; 6 — направление вентиляции

Один из частичных каркасов (в 3-м варианте компоновки) является поворотным, что обеспечивает доступ к объемному монтажу.

Первые три варианта компоновки устройств на базе изделий 1-го порядка УКСМ ЭВМ и АКБ характеризуются применением однотипных источников питания и вытяжной вентиляции слева направо; реализацией интерфейсных связей и шин питания между блоками элементов с помощью объединительной платы и электромонтажа методом накрутки.

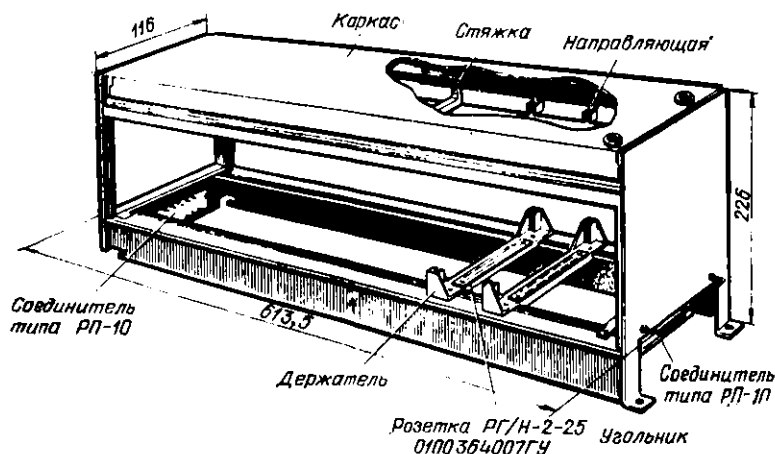


Рис. 4.10. Блок питания

Четвертый вариант компоновки использует стационарные частичные каркасы и каркас под поворотный источник питания. Этот вариант компоновки характеризуется: облегченным доступом к объединяющему монтажу благодаря повороту источника питания; горизонтальным расположением блоков элементов с шагом 17,5 мм; подводом питания к объединительной плате с помощью жгута; направлением вентиляции спереди назад.

Алгоритм модульного конструирования на типовых УК рассмотрим на примере.

Предположим, что необходимо выполнить конструкцию блока ЭВА в соответствии с требованиями УК СМ ЭВМ. Блок ЭВА имеет блоки питания, вентиляторов и 22 подвижных функционально законченных логических устройства сопряжения с объектом (УСО).

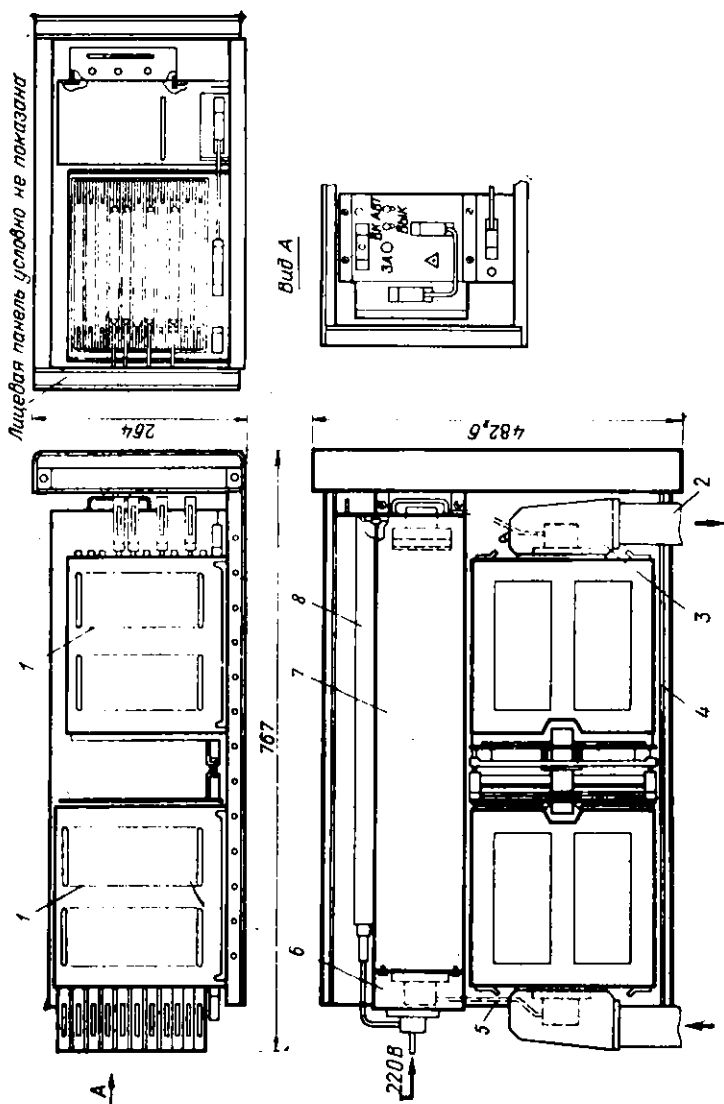


Рис. 4.11 Компонировка интерфейсного блока:

1 — блоки частотные объединительные, 2 — ленточный кабель, 3 — кожух, 4 — угольник, 5 — жгут, 6 — блок выключений, 7 — блок питания, 8 — блок вентиляторов

Заданы типы и типоразмеры следующих модулей:
печатных плат (п. 4.4.1);
автономных комплектных встраиваемых блоков (рис. 4.6);
блока питания (рис. 4.10);
блока вентиляторов.

Необходимо, чтобы система удовлетворяла ограничениям по габаритным размерам.

Имеем результаты конструктивного решения функционально законченных логических устройств на платах типа Е2.

Далее можно рекомендовать следующую последовательность операций:

1) с учетом ТЗ и ЭЗ выбираем типоразмеры блоков питания и вентилятора;

2) выбираем вариант компоновки (рис. 4.9);

3) оцениваем показатели компоновочного решения (в общем случае по формулам § 1.2 и 3.8; для нашего примера ограничиваемся габаритными соотношениями). При неудовлетворительных результатах изменяем компоновку или выбираем другие типоразмеры модулей.

В результате последовательного улучшения получаем вариант компоновки интерфейсного блока, отвечающий требованиям ТЗ (рис. 4.11).

ГЛАВА 5

КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

5.1 ТЕКСТОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Материал расчетно-пояснительной записки к курсовому проекту располагается в следующем порядке:

1. Титульный лист выполняется на листе плотной бумаги (ватмана, полуватмана) по формату А4 (ГОСТ 2.301—68) по принятой в вузе форме.

2. Бланк индивидуального задания (§ 2.1).

3. Содержание. В содержании приводят наименования разделов и подразделов.

4. Текст пояснительной записки в соответствии с ГОСТ 2.105—79, ГОСТ 2.106—68.

5. Список литературы (по ГОСТ 7.32—81).

6. Перечень элементов схемы электрической принципиальной.

7. Спецификация конструкций.

Первый лист сплошного текста оформляется на листе писчей бумаги формата А4 по форме 2, ГОСТ 2.104—68. Второй — по форме 2а, ГОСТ 2.104—68. Третий и последующие могут оформляться как с рамкой, так и без нее. В листах пояснительной записки, которые не имеют основ-

ных надписей, нумерация страниц проставляется в правом верхнем углу.

Иллюстрации допускается выполнять на листах обычной бумаги, фотобумаги, кальки форматом, определенным ГОСТ 2.301—68.

Содержание пояснительной записки может иметь разделы и подразделы, рекомендованные в § 1.2 и ГОСТ 2.106-68.

Для удобства, четкости и краткости изложения материала каждый подраздел разбивается на пункты. Текст пунктов, если в этом есть необходимость разбивают на подпункты. Разделы и подразделы должны быть пронумерованы. Номера разделов обозначают арабскими цифрами с точкой в конце, номера подраздела состоят из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Текст пояснительной записки излагают кратко, четко, не допуская различных толкований. Не рекомендуется применять сложные предложения и обороты. При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них.

Формулы по тексту записи должны быть вписаны аккуратно, иметь обязательное обозначение и расшифровку входящих в них элементов с указанием единиц измерения. Необходимо указывать источник, откуда данная формула заимствована.

Нумерация формул в пояснительной записке должна быть сквозной. Нумерация выполняется арабскими цифрами с правой стороны на уровне формул в круглых скобках.

В пояснительной записке должны применяться единицы измерения Международной системы единиц (СИ) и единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ.

Для удобства изложения цифровые и другие данные, помещаемые в документах, рекомендуется оформлять в виде таблиц. Размеры таблиц выбирают произвольно, в зависимости от изложения материала. Если же параметры, размещаемые в таблице, имеют одинаковую размерность, то обозначение единицы измерения помещают над таблицей (м, мм и т. п.).

Таблица должна иметь тематический заголовок, если она имеет самостоятельное значение. Чтобы упростить связь таблицы с текстом, таблицам дают нумерационный заголовок, который помещают над ее правым верхним углом с указанием порядкового номера. При ссылке в тексте слово «таблица» дается сокращенно со строчной буквы: табл. 2.

Допускается нумерация таблиц арабскими цифрами в пределах всего документа.

В расчетно-пояснительной записке обязательны ссылки на литературу, нормами, стандарты, технические условия и другие документы, на основании которых принимается то или иное техническое решение, выполняется конструктивный расчет и т. д.

Количество иллюстраций расчетно-пояснительной записки должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации, помещаемые в тексте, именуют рисунками. Рисунки следует располагать по короткой стороне листа формата А4, при этом рисунок располагают так, чтобы для его чтения документ был повернут по часовой стрелке.

Рисунки, если это требует изложение текста, должны иметь наименования, которые помещают над рисунками, а при необходимости и пояснительные данные (подрисующий текст), которые помещают под рисунком.

Если в тексте пояснительной записки есть ссылки на составные части изделия, то в иллюстрациях должны быть указаны номера позиций этих составных частей в пределах данной иллюстрации, которые располагают в возрастающем порядке, за исключением повторяющихся позиций, а для электро- и радиоэлементов — позиционные обозначения, установленные в схемах данного изделия.

На приводимых в пояснительной записке электрических схемах около каждого элемента указывают его позиционное обозначение, установленное соответствующими стандартами, и при необходимости — номинальные значения величины.

5.2. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Типы электрических схем для изделий цифровой вычислительной техники определяются и используются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.701—76 [13].

Электрические схемы для изделий цифровой вычислительной техники следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 2.721 ... ГОСТ 2.752 ..., ГОСТ 2.702—75, ГОСТ 2.708—81, а буквенно-цифровые обозначения в электрических схемах должны соответствовать ГОСТ 2.710—81 [13]. При большой графической насыщенности листов схем условными обозначениями и линиями связи допускается делить поле листа на колонки, ряды, зоны, применять

метод координат и т. д. Колонки обозначают по верхней кромке листа (по горизонтали) слева направо последовательными порядковыми номерами с постоянным количеством знаков в номере, например: 00, 01, ..., 10, ..., 120 и т. д. Допускается дополнительно обозначать колонки по нижней кромке листа. Ширина колонки должна быть равна ширине минимального основного поля условного графического обозначения (УГО) элемента. Ряды обозначают по вертикали (по левой кромке листа) сверху вниз прописными буквами латинского алфавита (кроме букв *I* и *O*). Допускается дополнительно проставлять обозначения рядов по правой кромке листа. Высота ряда должна быть равной минимальной высоте УГО элемента. В технически обоснованных случаях допускается изменять ширину и высоту колонки и ряда.

Пример оформления фрагмента схемы электрической принципиальной с делением листа на колонки и ряды показан на рис. 5.1.

Входящими линиями листа схемы показывают электрические связи с входными выводами изделия, отображенными на данном листе, а также связи, изображения которых начинаются на других листах схемы и других схемах. Электропитание на схеме допускается показывать в виде таблиц, текста либо на прерванной линии, отображающей связи по питанию. При этом в УГО элементы обозначения выводов допускается не указывать.

Двоичные логические элементы изображают в виде условных графических обозначений по ГОСТ 2.743—82. Логические элементы с состояниями (например, с тремя состояниями), а также элементы и устройства, не выполняющие логические функции, но применяемые в изделии, допускается изображать на схеме прямоугольниками.

В основном поле условного графического обозначения элементов и устройств помещают следующую информацию (см. рис. 5.1):

в строке 1 — символ функции по ГОСТ 2.743—82;

в строке 5 — полное или сокращенное наименование или тип, или код устройства (элемента);

в последующих строках — буквенно-цифровое обозначение или порядковый номер; обозначение конструктивного расположения; адресное обозначение УГО элемента на листе и другую информацию.

Характер и расположение информации в последующих строках должны быть пояснены на поле схемы или в нормативно-технической документации (ГОСТ 2.708—81).

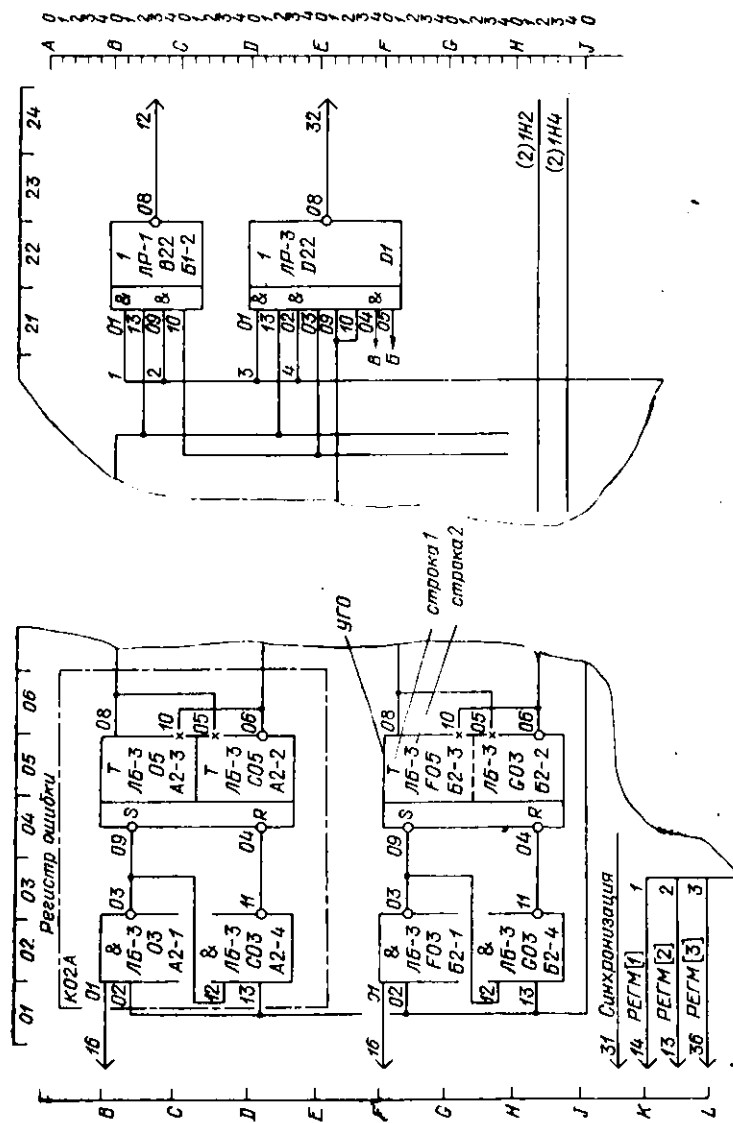


Рис. 5.1. Фрагмент схемы электрической принципиальной

Адресное обозначение указывает расположение условного графического обозначения элемента на схеме и выражается координатами левого верхнего угла данного УГО. Допускается буквенно-цифровое обозначение помещать над УГО.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа.

Перечень элементов оформляют в виде таблицы (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Пример оформления

15	Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание	8 mm
	20	110	10		
	185				

Если перечень элементов помещают на первом листе схемы, то его располагают, как правило, над основной надписью.

Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на формате А4. Основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104—68 (форма 2 и 2а).

В графах перечня указывают следующие данные:

в графе «Позиционное обозначение» — позиционное обозначение элемента, устройства или обозначение функциональной группы;

в графе «Наименование» — наименование элемента (устройства) в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, го-

сударственный стандарт, технические условия); при необходимости указания технических данных элемента, не содержащихся в его наименовании, эти данные рекомендуются указывать в графе «Примечание»; при разбивке поля схемы на зоны перечень элементов дополняют графой «Зона» (табл. 5.2), указывая в ней обозначение зоны или номер строки (при строчном способе выполнения схем), в которой расположен данный элемент (устройство).

Таблица 5.2. Образец оформления

15	Зона	Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание	8 min
	8	20	110			
	185					

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. Если на схеме применяют позиционные обозначения, составленные из букв латинского и русского алфавитов, то в перечень сначала записывают элементы с позиционными обозначениями, составленными из букв латинского алфавита, а затем — из букв русского алфавита.

В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров.

Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп — и между элементами.

Элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Позиционное обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например: *R3, R4*,

С8 ...С12, а в графу «Количество» — общее количество таких элементов.

При записи элементов, имеющих одинаковую первую часть позиционных обозначений, допускается: записывать наименование элементов в графе «Наименование» в виде общего наименования (заголовка) один раз на каждом листе перечня (табл. 5.3); записывать в общем наименовании (заголовке) обозначения документов, на основании которых эти элементы применены (табл. 5.4).

Таблица 5.3. Образец оформления

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
	Резисторы		
R1	МЛТ-0,5—300 кОм $\pm$ 5%, ГОСТ 7003—66	1	

Если позиционные обозначения присвоены элементам в пределах устройств или в изделия входят одинаковые функциональные группы, то в перечень записывают отдельно элементы, относящиеся к устройствам и функциональным группам. Запись элементов, входящих в каждую функциональную группу, начинают с соответствующего заголовка. Заголовок записывают в графе «Наименование» и подчеркивают.

Если в изделии имеются элементы, не входящие в устройства (функциональные группы), то при заполнении перечня вначале записывают эти элементы без заголовка.

Примечания: 1. Если в изделии имеется несколько одинаковых устройств или функциональных групп, то в перечень указывают количество элементов, входящих в одно устройство (функциональную группу).

Таблица 5.4. Образец оформления

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
	Резисторы ОМЛТ ГОСТ 7113—66		
	Резисторы СП ГОСТ 5574—73		
	Резисторы ПЭВ ГОСТ 6513—75		
R1	ОМЛТ-05-200 Ом±10%	1	
R2	СП-I-A-560 Ом±10% ОС-3-12	1	
R3	ПЭВ-10-3 кОм±5%	1	

Общее количество одинаковых устройств (функциональных групп) указывают в графе «Количество» на одной строке с заголовком.

2. Если на схеме в позиционное обозначение элемента включено позиционное обозначение устройства или обозначение функциональной группы, то при записи элементов в перечень в графе «Позиционное обозначение» записывают позиционное обозначение элемента без позиционного обозначения устройства или обозначения функциональной группы.

Если в изделии имеются элементы, не являющиеся самостоятельными конструкциями, то при записи их в перечень графу «Наименование» не заполняют, а в графе «Примечания» помещают поясняющую надпись или ссылку на поясняющую надпись на поле схемы (табл. 5.5).

Таблица 5.5. Образец оформления

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
C5		1	Емкость монтажа

При указании около условных графических обозначений номиналов резисторов и конденсаторов (рис. 5.2) допускается применять (например, для микросборок) упрощенный способ обозначения единиц измерений:

для резисторов
от 0 до 999 Ом — без указания единиц измерения,
от $1 \cdot 10^3$ до $999 \cdot 10^3$ Ом — в килоомах с обозначением единицы измерения строчной буквой «к»;
от $1 \cdot 10^6$ до $999 \cdot 10^6$ Ом — в мегаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой «М»;
свыше $1 \cdot 10^9$ Ом — в гигаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой Г;

для конденсаторов
от 0 до $9999 \cdot 10^{-12}$ Ф — в пикофарадах без указания единиц измерения;
от $1 \cdot 10^{-6}$ до $9999 \cdot 10^{-6}$ Ф — в микрофарадах (мк).

На схеме следует указывать обозначения выводов (контактов) элементов (устройств), нанесенных на изделие или установленных в их документации.

Таблицу соединений следует помещать на первом листе схемы или выполнять в виде самостоятельного документа.

Форму таблицы соединений выбирает руководитель проекта в зависимости от сведений, которые необходимо поместить на схеме (см., например, оформление схемы соединений по табл. 5.6).

В графах таблицы указывают следующие данные: в графе «Обозначение провода» — обозначение провода, жилы кабеля; в графе «Откуда идет», «Куда поступает» — условные буквенно-цифровые обозначения соединяемых элементов или устройств; в графе «Данные провода»: для прово-

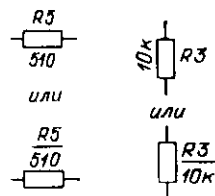


Рис. 5.2. Обозначение номиналов резисторов и конденсаторов

Т а б л и ц а 5.6. Образец оформления

	20	50	50	30	45
15	Обозначение провода	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание

да — марку, сечение и при необходимости расцветку; для кабеля — марку, сечение и количество жил в соответствии с документом, на основании которого применен провод (кабель); в графе «Примечание» — дополнительные уточненные данные.

5.3. ЧЕРТЕЖИ ПЛАТ И СБОРОЧНЫЕ ЧЕРТЕЖИ

Оформление чертежей на печатные платы производят в соответствии с ГОСТ 2.417-78 и требованиями ОСТ 4.010.019—81 [13].

Пример оформления приведен в рекомендуемом приложении 4.

Обозначение чертежей печатных плат устанавливают в соответствии с НО.000.005 до введения классификатора ЕСКД. Чертеж односторонней и двусторонней печатной платы именуют «Плата печатная», ему присваивают класс ХХ7 ... Чертеж многослойной печатной платы именуют «Плата печатная многослойная», сборочный чертеж, ему присваивается класс ХХ6 ... Чертеж слоя многослойной печатной платы с проводящим рисунком, расположенным с одной или двух сторон, именуют «Слой многослойной печатной платы», ему присваивают класс ХХ7 ... Допускается выполнять чертежи слоев МПП последующими листами сборочного чертежа (ХХ6 ... лист 2, 3, ...). Чертеж слоя многослойной печатной платы без проводящего рисунка именуют «Прокладка», ему присваивают класс ХХ7 ... Допускается на прокладку чертеж не выпускать, при этом в спецификации сборочного чертежа указывают материал прокладки.

Чертежи печатной платы выполняют в масштабе 4 : 1; 2 : 1; 1 : 1.

На чертеже изображают основные проекции с печатными проводниками и отверстиями, допускается приводить дополнительные виды с частичным изображением рисунка.

Чертежи однотипных печатных плат необходимо выполнять групповым или базовым методом по ГОСТ 2.113—75 с учетом требований ОСТ 4.010.019—81.

Чертеж слоя многослойной печатной платы следует изображать на отдельном листе. На чертеже слоя рекомендуется проставлять габаритные размеры.

На чертеже печатной платы наносят координатную сетку линиями толщиной 0,2 ... 0,5 мм в соответствии с выбранным шагом и масштабом.

Линии координатной сетки относительно нулевой нумеруют через один или несколько шагов (но не более пяти) цифрами. Допускается простановка номеров линий по четырем сторонам чертежа платы по ГОСТ 2.303—68. На чертеже печатной платы размеры должны указываться одним из следующих способов:

- в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307—68;

- нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат (линии сетки нумеруются);

- нанесением координатной сетки в полярной системе координат;

- комбинированным способом с помощью размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат.

Шаг координатной сетки в прямоугольной системе координат по ГОСТ 10317—79; основной шаг 2,50 мм, дополнительный 1,25 или 0,5 мм. За нуль в прямоугольной системе координат на главном виде печатной платы следует принимать:

- центр крайнего левого нижнего отверстия, находящегося на поле платы, в том числе и технологического;

- левый нижний угол печатной платы;

- левую нижнюю точку, образованную линиями построения.

Если размеры и конфигурация рисунка печатной платы оговорены в технических требованиях чертежа, допускается элементы печатных плат изображать условно. При автоматизированном и полуавтоматизированном способе выполнения документации допускается отступление от масштаба по одной или обоим осям. Степень отклонения от масштаба определяется конструкцией воспроизводящих устройств.

При необходимости указать границы участков платы, которые не допускается занимать проводниками, на чертеже следует применять штрихпунктирную линию.

Для построения размеров, обозначений шероховатости поверхности, маркировки и т. п. допускается приводить на чертеже дополнительный вид, на котором рисунок печатной платы следует изображать частично. При этом над таким видом должна помещаться соответствующая надпись, например «Вид без проводников».

Проводники на чертеже должны изображаться одной линией, являющейся осью симметрии проводника, при этом на чертеже следует указывать численное значение ширины проводника. Проводники шириной более 2,5 мм могут изображаться двумя линиями, при этом, если они совпадают с линиями координатной сетки, численное значение ширины не указывают.

Круглые отверстия, имеющие зенковку и круглые контактные площадки с круглыми отверстиями (в том числе и с зенковкой), следует изображать одной окружностью. Их форму и размеры оговаривают на поле чертежа. Круглые контактные площадки и контактные площадки произвольной формы, не обозначенные размерами, выполняют на чертеже окружностью. Допускается условное изображение контактной площадки, в этом случае в технических требованиях чертежа оговаривают форму и размеры контактной площадки.

Для простановки размеров контактной площадки под многовыводные элементы контактную группу в увеличенном масштабе выносят на поле чертежа. Размер отверстия на чертеже печатной платы обозначают условно. Размер отверстия в миллиметрах, наличие металлизации, его условное обозначение и количество оговаривают в технических требованиях чертежа.

Проводники, имеющие заданную ширину, показывают на чертеже. Если такой проводник имеет по длине переменную ширину, то ее указывают на каждом участке. Если проводник с переменной шириной переходит с одного слоя на другой, то размеры его показывают на изображении этих слоев. При наличии на чертеже печатной платы двух и более проводников, имеющих заданную ширину, допускается их изображение выполнять штриховкой, зачернением и т. п. линиями. При необходимости форму и размеры вырезов на широких проводниках и экранах показывают на чертеже. Маркировку располагают на чертеже печатной платы с одной или двух сторон. При необходимости способ маркировки указывают в технических требованиях чертежа.

При конструировании печатной платы под групповой метод пайки направление пайки рекомендуется указывать на поле чертежа печатной платы.

Технические требования располагают на поле чертежа печатной платы в соответствии с ГОСТ 2.316—68 и ГОСТ 2.417—78. Технические требования чертежа печатной платы группируют и записывают в такой последовательности:

плата должна соответствовать ОСТ 4.077.000, группа жесткости...;

класс точности... по ОСТ 4.010.019—81;

шаг координатной метки ... мм;

параметры элементов рисунка печатной платы, не оговоренные требованиями стандарта, уточняющие или поясняющие заданные требования, а также отличные от требований заданного класса;

конфигурацию проводников выдерживать по чертежу с отклонением $\pm$... мм. Допускается округление углов контактных площадок и проводников;

покрытие ... (указать только конструктивное покрытие);

масса покрытия ... (указать только для драгоценных металлов);

маркировать ... (указать вид маркировки, если ее исполнение отлично от проводящего рисунка), шрифт ... (указать размер шрифта);

электрический контроль производить по таблице ХХХ.ХХХ.ХХХ.ТБ;

дополнительные указания.

Параметры элементов рисунка печатной платы группируют в виде таблиц (табл. 5.7) и помещают на свободном поле чертежа в соответствии с ГОСТ 2.316—68.

Таблица 5.7

Условное обозначение отверстия	Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации в отверстии	Количество отверстий	Минимальный диаметр контактной площадки

Основные требования к выполнению чертежей на стадии разработки рабочей документации указаны в ГОСТ 2.109—73.

Сборочный чертеж должен содержать:

а) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы. Допускается на сборочных чертежах помещать дополнительные схематические изображения соединения и расположения составных частей изделия;

б) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или контролированы по данному сборочному чертежу. Допускается указывать в качестве справочных размеры деталей, определяющие характер сопряжения;

в) указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, подгонкой и т. п., а также указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

г) номера позиций составных частей, входящих в изделие;

д) габаритные размеры изделия;

е) установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

ж) координаты центра масс (при необходимости).

При указании установочных и присоединительных размеров должны быть нанесены: координаты расположения, размеры с предельными отклонениями элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями; другие параметры, например количество контактных пар электрического соединителя.

Сборочные чертежи следует выполнять с упрощениями по ГОСТ 2.109—73.

ГЛАВА 6

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ

В § 1.2 отмечалась актуальность автоматизации конструирования, причем подчеркивалась необходимость создания сквозных САПР с обеспечением диалогового режима работы конструктора с ЭВМ. Для иллюстрации диалогового режима в гл. 3 приведены некоторые программные мо-

дули, которые можно использовать при работе конструктора на микро-ЭВМ типа «Электроника-60».

В этой главе показаны некоторые особенности решения конструкторских задач с использованием пакетов прикладных программ (ППП) для АРМ и приведены основные программные модули для автоматизации проектирования, начиная с ранних стадий конструирования с применением ЭВМ.

Автоматизация конструирования ЭВА должна обеспечивать системный подход к разработке (на всех этапах создания ЭВА автоматизация комплексно решает задачи микроминиатюризации, повышения качества, удовлетворения ТЗ и т. п.).

6.1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ АРМ

При выполнении курсового проекта степень использования автоматизации конструирования зависит от тех технических и программных средств, которыми располагает проектант. При наличии АРМ с помощью базовых систем программного обеспечения или ППП могут эффективно решаться задачи размещения элементов на печатной плате, трассировки печатных соединений, корректировки ранее спроектированной печатной платы и др. Часть этих же задач можно решать и на универсальных ЭВМ ЕС при наличии в их математическом обеспечении специализированных ППП. В курсовом проектировании с использованием АРМ целесообразно применять ППП, указанные ниже.

1. ППП «Конструкторское проектирование двусторонних печатных плат» «Рапира—3/ДПП» решает следующие основные задачи:

- размещение ИМС на платах цифровых устройств;
- распределение контактов внешних соединителей плат;
- трассировку печатных соединений для плат цифровых, цифро-аналоговых и аналоговых устройств.

Размещение микросхем на платах аналоговых устройств выполняется вручную.

Пакет прикладных программ «Рапира—3.ДПП» обеспечивает:

- подготовку, ввод и контроль формализованных заданий на проектирование на базе макроязыка конструктора МАЯК;

- доработку печатных плат после автоматической трассировки, выпуск комплекта конструкторской документации.

Исходными данными для ППП «Рапира—3/ДПП» является формализованное задание, составленное на макроязыке МАЯК. Результатами работы программ является информация о координатах установки элементов, распределении контактов внешних соединителей, координатах и типах элементов печатного монтажа. Для функционирования данного ППП необходимо использовать ЭВМ ЕС (начиная с ЕС 1022), работающую под управлением ОС ЕС версии 4.1 и выше. Программы написаны на языке ПЛ/1.

2. ППП «Проектирование плоских конструктивов» ПППР-УПК решает следующие задачи:

- вычерчивание сборочных и детализовочных чертежей на графопостроителе АП-7251 и автомате «Контур-К»;

- составление таблиц координат элементов компоновки.

ПППР-УПК позволяет осуществлять:

- формирование библиотек типовых графических элементов проектируемых конструкций; компоновку чертежей в интерактивном режиме с визуализацией на дисплее ЭПГ-400;

- графическое редактирование компоновки (сдвиг, поворот, дополнение, удаление, мультиплицирование элементов), семантический контроль получаемых чертежей с помощью ЭПГ-400.

Выходными результатами работы ППП являются управляющие перфоленты для получения сборочного чертежа детали на графопостроителе АП-7251 или на чертежном автомате «Контур-К», а также таблица координат элементов компоновки. Данный ППП работает под управлением ДОС СМ, для его функционирования необходимы технические средства, входящие в АРМ на базе ЭВМ М-400, СМ-3, СМ-4, «Наири-4», «Электроника 100-25» или других программно-совместимых моделей.

3. ПППР-ЧПК применяется для выпуска конструкторской документации, с помощью технических средств, указанных АРМ, он обеспечивает:

- получение управляющих перфолент для изготовления фотонаблонных печатных плат на координатографе «Картимат», получение чертежа детали и сборочного чертежа на графопостроителях АП-7251, АП-7252, «Контур-К»; перфоленты сверловки для станков типа ОФ-72;

- подсчет количества типов контактных площадок и площади металлизации платы.

4. ППП «Проектирование многослойных печатных плат

цифро-аналоговых устройств» ППП «Рапира-6» решает задачи расстановки электрорадиоэлементов на наружных слоях МПП, трассировки связей на внутренних слоях, введения банка данных, выпуска конструкторской документации. Пакет не требует специальной генерации и имеет модульную структуру. Входными языками являются язык ВОЛС-Р, который описывает структуру электрической схемы, язык директив редактирования схемы и язык описания паспорта для описания учетной информации и констант технического проектирования. Пакет прикладных программ «Рапира-6» выполняет семантический контроль исходной информации. Выходные данные пакета: спецификация исполнения, сборочный чертеж исполнения, таблица проверки монтажа, программа контроля на перфоленте, программа изготовления переменных частей фотооригиналов слоев на перфоленте.

Данный ППП может быть использован для проектирования печатных плат с количеством сигнальных слоев не более десяти при количестве цепей не более 150. Количество электрорадиоэлементов в одной проектируемой схеме не более 100.

Программы пакета написаны на языке ПЛ/1. Минимальная конфигурация технических средств: модель ЕС ЭВМ с ОП емкостью 256 К байт (начиная с ЕС 1022), работающая под управлением ОС ЕС версии 4.1 и выше.

Кроме описанных выше ППП, в последнее время получили развитие подсистемы базового информационно-программного обеспечения САПР на ЕС ЭВМ, такие, как ПРАМ-0,5 (проектирование печатных плат), ПРАМ-2,4 (проектирование плат с разногабаритными элементами) и др.

Если при курсовом проектировании нет возможности применить указанные ППП, то можно воспользоваться рядом программ, приводимых в данной главе. С помощью этих программ можно решать лишь отдельные частные конструкторские задачи. Применение данного комплекса программ будет эффективным, если они будут занесены в библиотеку ЭВМ с достаточными вычислительными ресурсами (например, ЕС-1022) и при выполнении курсового проекта студентам потребуется только готовить исходные данные.

Приводимые в данной главе программы апробированы на ЭВМ ЕС-1022 с использованием операционной системы ДОС ЕС версии 2.2.

Примерная трудоемкость подготовки данных и время счета для отдельных задач указаны в табл. 2.6.

6.2 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СВЯЗЯХ В СХЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ДЛЯ ВВОДА В ЭВМ

✓ При автоматизированном решении конструкторских задач значительную трудоемкость имеет этап подготовки информации о схеме электрической принципиальной к виду, пригодному для ввода в ЭВМ. В зависимости от того, насколько развиты программные и технические средства конкретной САПР, формальное описание этой информации может выполняться по-разному.

✓ При решении конструкторских задач с помощью АРМ схему электрическую принципиальную проектируемого устройства и информацию об используемой элементной базе и типовых конструктивах обычно вводят в графическом виде. Для ввода такой информации в АРМ используют специальное устройство кодирования графической информации (например, в составе комплекса «Напир-4/АРМ» или «Экран-4» применяют «Гарни-2»). Устройство «Гарни-2» обеспечивает надежное кодирование графической информации, начерченной на неметаллическом носителе (чертеже) размером до 1040 × 750 мм. При этом измерение координат графических элементов выполняется с точностью 0,5 мм. Устройство позволяет также вводить символы, цифровую информацию и координаты отдельных точек. ✓

В САПР, реализованных на базе ЕС ЭВМ, информация о геометрических размерах используемых конструктивов обычно хранится в банке данных. Банк данных представляет собой сложную информационную структуру, размещенную на ВЗУ ЭВМ (например, на пакетах магнитных дисков). При создании САПР в банк данных заносится информация об используемой элементной базе, о геометрических и других характеристиках типовых конструктивов. Располагая таким банком, нет необходимости задавать эти сведения при проектировании каждой платы. Соответствующие программы по наименованию элемента или конструктива выбирают из банка требуемую информацию. Банк данных при эксплуатации САПР постоянно обновляется, в него заносится информация о новых типовых конструкциях и элементной базе. Исходные данные о проектируемом устройстве при наличии банка данных вводятся в ЭВМ на входном языке конкретной САПР. Примером такого языка может служить входной язык системы «Рапира». Описание связей между элементами схемы на входном языке САПР обычно выполняется в виде списковых структур. Некоторая

избыточность описания позволяет программно производить контроль достоверности вводимой информации.

Если при выполнении курсового проекта с помощью ЭВМ решаются только отдельные конструкторские задачи, то наиболее целесообразно представлять информацию о связях в схеме электрической принципиальной в матричном виде. Рассмотрим подробнее порядок составления матрицы цепей Т, на которую ориентированы приведенные в данной главе программы решения некоторых конструкторских задач. Перед составлением матрицы цепей схему электрическую

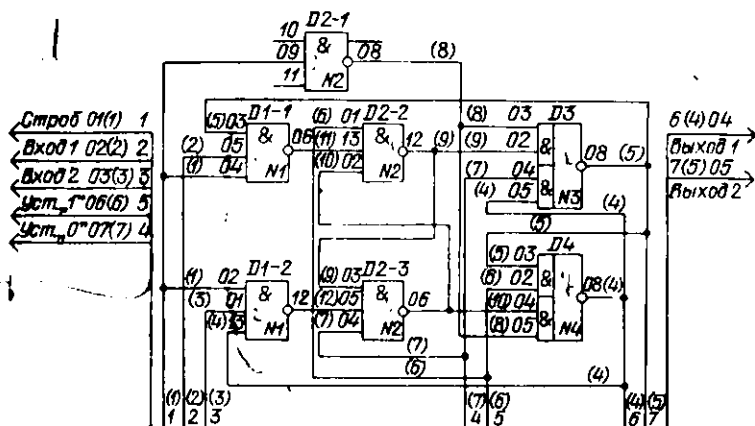


Рис. 6.1. Кодирование схемы электрической принципиальной

кую принципиальную, которая служит исходным документом, необходимо подготовить к кодированию. Подготовка заключается в том, что на схеме электрической принципиальной нумеруют все цепи. Нумерация должна быть сквозной и начинаться с единицы. Внешние выводы схемы (цепи, выходящие на внешний соединитель) приписывают одному или нескольким фиктивным модулям. Нумерация модулей по возможности должна совпадать с позиционным обозначением модулей в схеме, быть сквозной и начинаться с единицы. Фиктивным модулям присваиваются последние номера. Если конструктивный модуль на принципиальной схеме разделен на части и условные графические обозначения этих частей расположены в различных местах схемы, то им присваивается один и тот же номер. После выполнения указанных операций схема имеет вид, показанный на рис. 6.1.

Матрица цепей представляет собой таблицу, номерам строк которой соответствуют номера модулей, а номерам столбцов — номера контактов этих модулей. На пересечении i -й строки и j -го столбца записывается номер цепи, к которой подключен j -й контакт i -го модуля. Размерность матрицы цепей равна $n \times m$, где n — количество модулей в схеме (включая и фиктивные, соответствующие внешним разъемам); m — максимальное количество контактов у модулей. Для принципиальной схемы, приведенной на рис. 6.1, матрица цепей T имеет следующий вид: $\sqrt{}$

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T =	1	3	1	5	1	2	10	0	0	0	0	0	12	0	0
	2	6	10	9	7	12	10	0	8	1	0	0	9	11	0
	3	0	9	8	7	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	6	5	10	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0
	5	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	0	0	0

Следует отметить, что представление информации о связях в схеме электрической принципиальной в виде матрицы цепей удобно лишь при небольшом количестве модулей (не более 40 ... 80), каждый из которых имеет по несколько выводов. Такому условию удовлетворяют схемы устройств, выполненных на базе ИМС средней степени интеграции. Для схем, содержащих в основном дискретные ЭРЭ, более удобным является использование списков цепей.

Представление информации о связях в электрической схеме с помощью матрицы цепей T или списка цепей для некоторых этапов конструкторского проектирования является чрезмерно детальным и неудобным для построения соответствующих алгоритмов. Поэтому на практике часто используют представление этой информации с помощью матрицы элементарных комплексов Q , матрицы смежности S или одномерного массива связей D [10].

Матрица элементарных комплексов Q — это прямоугольная таблица $||q_{ij}||_{n \times k}$, в которой номера строк соответствуют номерам модулей, а номера столбцов — элементарным комплексам (цепям) КС. Элемент матрицы $q_{ij} = 1$, если модуль e_i коммутационной схемы принадлежит элементарному комплексу (цепи). В противном случае $q_{ij} = 0$. Размер-

ность матрицы $\|q_{ij}\|_{n \times k}$, где n — количество модулей в схеме, k — количество элементарных комплексов (цепей) в схеме.

Для схемы, приведенной на рис. 6.1, матрица элементарных комплексов имеет вид

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
2	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
4	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Эта матрица может быть получена непосредственно по принципиальной схеме либо построена алгоритмическим путем из матрицы цепей T .

Матрица смежности S — это квадратная таблица $\|S_{ij}\|_{n \times n}$, номера строк и номера столбцов которой соответствуют номерам модулей схемы. Элемент матрицы S_{ij} равен количеству связей между i -м и j -м модулями. Размерность матрицы $n \times n$, где n — количество модулей в схеме. Матрица S может быть построена непосредственно на коммутационной схеме, однако даже для схем средней сложности это весьма трудоемкая задача, зачастую приводящая к ошибкам. Поэтому обычно матрица S формируется алгоритмическим путем на основании матрицы цепей или матрицы элементарных комплексов.

Ввиду невысокой информационной эффективности матрицы смежности широкое применение на практике получил одномерный массив связей $D = \|d_k\|_{n(n-1)/2}$. Массив представляет собой развертку верхней или нижней треугольной подматрицы матрицы S . Элемент массива $d_k = S_{ij}$, где индекс k для случая представления верхней треугольной подматрицы вычисляется по формуле

$$k = \frac{(i-1)(2n-i)}{2} + j - i, \quad i < j. \quad (6.1)$$

Программа преобразования матрицы цепей в другие формы представления информации о связях в схеме.

```

C   ПРОГРАММА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАТРИЦЫ ЦЕПЕЙ
C   В МАТРИЦУ ЭЛЕМЕНТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И МАТРИЦУ СМЕЖНОСТИ
C
      IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)
      DIMENSION T(24,14),Q(24,150),S(24,24)
C
C   ВВОД ИСХОДНОЙ МАТРИЦЫ И ЕЕ ПЕЧАТЬ
      READ 220,NE,NK,NC
220 FORMAT(24I3)
      DO 1 I=1,NE
        1 READ 220,(T(I,J),J=1,NK)
230 FORMAT(//20X,'ИСХОДНАЯ МАТРИЦА ЦЕПЕЙ'//)
      PRINT 230
      DO 2 I=1,NE
        2 PRINT 220,(T(I,J),J=1,NK)
C
C   ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МАТРИЦ  $\langle T \rangle \rightarrow \langle Q \rangle$ 
      DO 3 I=1,NE
        DO 3 J=1,NC
          3 Q(I,J)=0
        DO 5 I=1,NE
          DO 4 J=1,NK
            IF(T(I,J).EQ.0) GOTO 4
            N=T(I,J)
            Q(I,J)=1
          4 CONTINUE
        5 CONTINUE
C
C   ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МАТРИЦ  $\langle Q \rangle \rightarrow \langle S \rangle$ 
      DO 6 I=1,NE
        DO 6 J=1,NE
          6 S(I,J)=0
          IK=NE-1
          DO 9 I=1,IK
            JN=I+1
            DO 8 J=JN,NE
              DO 7 L=1,NC
                IF((Q(I,J).EQ.1).AND.(Q(J,L).EQ.1))S(I,J)=S(I,J)+1
              7 CONTINUE
            8 S(J,I)=S(I,J)
          9 CONTINUE

```

```

C
C ПЕЧАТЬ РЕЗУЛЬТИРУЮЩИХ МАТРИЦ
PRINT 240
240 FORMAT(/20X,'МАТРИЦА ЭЛЕМЕНТНЫХ КОМПЛЕКСОВ'/)
DO 12 I=1,NE
12 PRINT 250,(Q(I,J),J=1,NC)
250 FORMAT(5X,55I2)
PRINT 260
260 FORMAT(/20X,'МАТРИЦА СМЕЖНОСТИ'/)
DO 11 I=1,NE
11 PRINT 220,(S(I,J),J=1,NE)
STOP
END

```

```
// EXEC
```

ИСХОДНАЯ МАТРИЦА ЦЕПЕЙ

3	1	5	1	2	11	0	0	0	0	0	12	0	0
6	10	9	7	12	10	0	8	1	0	0	9	11	0
0	9	8	7	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0
0	6	5	10	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0
1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	0	0	0

МАТРИЦА ЭЛЕМЕНТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

МАТРИЦА СМЕЖНОСТИ

0	3	2	2	5
3	0	3	3	3
2	3	0	3	3
2	3	3	0	3
5	3	3	3	0

```
EOJ INVERS
```

Данная программа служит для получения на основании матрицы цепей других форм представления информации о схеме электрической принципиальной (матрицы элементарных комплексов и матрицы смежности), которые используются на различных этапах проектирования с применением ЭВМ. Программа может быть использована при подготовке данных для решения задачи размещения.

Исходные данные для программы готовятся в следующем виде: 1. Первая карта содержит три числа, нанесенные по формату 3I3:

а) количество элементов в схеме, включая псевдомодули (количество строк в матрице цепей);

б) количество выводов у каждого элемента (количество столбцов в матрице цепей);

в) количество цепей в схеме (максимальное число, содержащееся в матрице).

2. Вторая и последующие карты содержат матрицу цепей, которая подвергается преобразованию. Каждая строка матрицы наносится на отдельную перфокарту. Формат записей — 1413. Если количество столбцов в матрице меньше 14, то незначащие нули справа можно не указывать. Количество перфокарт с матрицей цепей должно соответствовать числу, указанному на первой карте (запись п. а).

Данная программа способна обрабатывать матрицу цепей, имеющую не более 24 строк и 14 столбцов. Схема должна содержать не более 150 цепей. Выше приведен текст программы на алгоритмическом языке ФОРТРАН-VI ДОС ЕС и результаты выполнения контрольного примера.

6.3. КОМПОНОВКА ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ ПО ОТДЕЛЬНЫМ КОНСТРУКТИВАМ

Чаще всего схема проектируемого устройства не реализуется на одной плате. В таком случае возникает задача оптимального разбиения схемы на части, выполняемой на отдельных конструктивных модулях (конструктивах). От качества решения данной задачи зависит количество сигнальных связей между внешними соединителями конструктивов, что в конечном итоге влияет на надежность и помехозащищенность проектируемого устройства.

Математически эта задача компоновки сводится к разбиению исходного множества элементов E на непересекающиеся подмножества $E_1, E_2, \dots, E_n$ ($E_i \cap E_j = \emptyset$; $i \neq j$; $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, n}$). Критерием оптимальности разбиения может являться минимальное количество связей между конструктивами, минимальное число общих цепей, максимальные числа однотипных конструктивов и др. [10]. При решении задачи следует учитывать ограничения на вместимость каждого конструктива и на число его внешних выводов.

Задача разбиения схемы на части может быть решена с помощью как последовательных, так и итерационных алгоритмов. Рассмотрим итерационный алгоритм оптимизации разбиения схемы на части по критерию минималь-

ного числа общих цепей, основанный на методе парных перестановок. Для работы такого алгоритма необходимо иметь начальный вариант разбиения схемы на части. Этот вариант эвристически задается конструктором или образуется с помощью одного из последовательных алгоритмов [10]. Качество исходного варианта будем определять числом цепей, общих для конструктивов. Данная характеристика может быть определена по формуле

$$N_{o.ц} = \sum_{l=1}^m x_l, \quad (6.2)$$

где $x_l = \begin{cases} 1, & \text{если } l\text{-я цепь связывает элементы, находящие-} \\ & \text{ся в различных конструктивах;} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$
 m — количество цепей в схеме проектируемого устройства.

Для вычисления данной характеристики используется матрица элементных комплексов Q .

Иногда при решении задачи компоновки разработчику необходимо поместить часть модулей в заданные конструктивы. Чтобы данные модули не участвовали в перестановках, их помечают с помощью специального массива $Z = \|z_i\|_{n \times n}$, элемент которого $z_i = 1$, если i -й модуль закреплен, и $z_i = 0$ в противном случае. Алгоритм оптимизации разбиения схемы на части методом парных перестановок заключается в следующем.

Шаг 1. Для начального варианта разбиения вычисляется числовая характеристика качества (количество общих цепей).

Шаг 2. Выполняется перестановка двух модулей с номерами i и j , находящихся в различных конструктивах (при условии, что данные модули не закреплены разработчиком).

Шаг 3. Для полученного варианта разбиения вычисляется критерий качества — число общих цепей $N_{o.ц}$.

Шаг 4. Если число общих цепей полученного варианта меньше, чем у первоначального, то перестановка считается удачной. Данный вариант принимается за исходный и процедура повторяется, начиная с шага 1. В противном случае перестановка считается неудачной и восстанавливается исходный вариант разбиения.

Шаг 5. Проверяется условие окончания работы алгоритма. В зависимости от конкретной реализации используется одно из условий:

а) ни одна из возможных на данном исходном варианте парных перестановок не привела к его улучшению;

б) выполнено заданное количество перестановок;

в) исчерпан установленный лимит машинного времени.

При выполнении условия останова на печать выводится улучшенный вариант разбиения схемы и алгоритм свою работу заканчивает, в противном случае производится обмен другой пары модулей, находящихся в различных конструктивах (переход к шагу 2). При разбиении схемы на две части число парных перестановок, которые можно выполнить на исходном варианте, равно $n_1 \cdot n_2$ (n_1 и n_2 — число модулей в каждом из конструктивов).

✓ Оптимальность полученного решения и число итераций зависят от качества первоначального варианта разбиения.

Программа оптимизации разбиения схемы электрической на части, выполняемые на отдельных конструктивных модулях. Данная программа (см. с. 231—239) предназначена для оптимизации разбиения схемы, содержащей до 100 элементов (ИМС), на несколько частей, реализуемых на отдельных конструктивах, исходная схема может содержать не более 400 цепей. Количество частей, на которые разбивается схема, не должно превышать 10. Программа реализует алгоритм улучшения начального разбиения методом попарных перестановок. Критерием оптимизации является число цепей, соединяющих конструктивы между собой. Внешний соединитель, на который выходит ряд цепей разбиваемой схемы, при решении задачи представляется в виде отдельного конструктива с псевдомодулями (группами контактов), которые фиксированы в данном конструктиве и в перестановках участвовать не будут. Имеется также возможность фиксировать некоторые элементы в конструктивах, назначенных разработчиком.

Исходными данными для решения задачи является матрица цепей и первоначальный вариант разбиения. Располагаются исходные данные на перфокартах следующим образом:

1. На первой карте по формату 513 наносится:

а) количество элементов схемы с учетом псевдомодулей внешних цепей (количество строк в матрице цепей);

б) количество контактов у каждого элемента (количество столбцов в матрице цепей; это число должно быть не более 24);

в) количество цепей в схеме (максимальное число, содержащееся в матрице цепей);

C ПОДПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРИАНТА
C РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ

C

F

SUBROUTINE KOLSV(NCEP,KBLOK,SUMSV,KCEP)
IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)
DIMENSION KW(400),X(10,96),NX(10),SVKL(400)
DIMENSION B(10,50),Q(100,400),NB(10)
DIMENSION XX(10,400)
COMMON /BLOC1/ SVKL,B,X,Q,NB,KW,NX
DO 22 I=1,KBLOK
22 NX(I)=0
DO 19 I=1,KBLOK
DO 19 J=1,NCEP
19 XX(I,J)=0
DO 28 I=1,NCEP
28 KW(I)=0
SUMSV=0
LK=KBLOK-1
DO 77 L=1,LK
NNL=NB(L)
KN=L+1
DO 66 K=KN,KBLOK
NNK=NB(K)

C

C ПОДСЧЕТ ЦЕПЕЙ, СОЕДИНЯЮЩИХ КОНСТРУКТИВЫ <K> И <L>

DO 25 J=1,NCEP
SVKL(J)=0
SL=0
DO 23 NL=1,NNL
IL=B(L,NL)
IF(Q(IL,J).NE.0) SL=SL+1
23 CONTINUE
SK=0
DO 24 NK=1,NNK
IK=B(K,NK)
IF(Q(IK,J).NE.0) SK=SK+1
24 CONTINUE
IF((SL.EQ.0).OR.(SK.EQ.0))GOTO 25
SVKL(J)=1

```

      KW(J)=1
25  CONTINUE
      DO 41 J=1,NCEP
      XX(K,J)=XX(K,J)+SYKL(J)
      XX(L,J)=XX(L,J)+SYKL(J)
41  CONTINUE
C
C   ПОДСЧЕТ СУММАРНОГО ЧИСЛА СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОНСТРУКТИВАМИ
      KSY=0
      DO 26 I=1,NCEP
26  KSY=KSY+SYKL(I)
      SUMSY=SUMSY+KSY
C
66  CONTINUE
77  CONTINUE
C
C   ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕРОВ ЦЕПЕЙ, ВЫХОДЯЩИХ НА РАЗЪЕМ
      DO 46 I=1,KBЛОК
      DO 44 J=1,NCEP
      IF(XX(I,J).EQ.0) GOTO 44
      NX(I)=NX(I)+1
      NN=NX(I)
      X(I,NN)=J
44  CONTINUE
46  CONTINUE
C
C   ПОДСЧЕТ ЧИСЛА ЦЕПЕЙ, СОЕДИНЯЮЩИХ КОНСТРУКТИВЫ
      KCER=0
      DO 27 I=1,NCEP
27  KCER=KSER+KW(J)
      RETURN
END
C
C   ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
C   ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ
C   НА ЧАСТИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА ОТДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВАХ
C
C   IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)
DIMENSION NB(10),NX(10),RR(100),RZ(100)
DIMENSION T(100,24),Q(100,400),X(10,96),KW(400)
DIMENSION B(10,50),SYKL(400),ZAKR(100)
COMMON /BLOC1/ SYKL,B,X,Q,NB,KW,NX

```



```

      PRINT 730
730  FORMAT(///2X,10('**'), 'ПРОГРАММА',
      **ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ, ' ,
      **ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА ОТДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВАХ', 10('**')/)
C
C  ВВОД ИСХОДНОЙ МАТРИЦЫ ЦЕПЕЙ И ЕЕ ПЕЧАТЬ
      READ 310, NEL, NKON, NSER, KBLOCK, KZAKR
310  FORMAT(24I3)
      DO 1 I=1, NEL
1    READ 310, (I(I, J), J=1, NKON, NSER, KBLOCK, KZAKR
410  FORMAT(//20X, 'ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ'//
      *6X, 'КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ В СХЕМЕ', 10X, I3/
      *6X, 'КОЛИЧЕСТВО ВЫВОДОВ У КАЖДОГО ЭЛЕМЕНТА ', I3/
      *6X, 'КОЛИЧЕСТВО ЦЕПЕЙ В СХЕМЕ', 14X, I3/
      *6X, 'КОЛИЧЕСТВО КОНСТРУКТИВОВ', 14X, I3/
      *6X, 'КОЛИЧЕСТВО ФИКСИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ',
      *4X, I3)
      PRINT 420
420  FORMAT(//20X, 'МАТРИЦА ЦЕПЕЙ'//)
      DO 3 I=1, NEL
3    PRINT 430, (T(I, J), J=1, NKON)
430  FORMAT(6X, 24I3)
C
C  ВВОД ИНФОРМАЦИИ О НАЧАЛЬНОМ РАЗБИЕНИИ СХЕМЫ
      READ 310, (NB(I), I=1, KBLOCK)
      DO 2 J=1, KBLOCK
      NN=NB(J)
2    READ 310, (B(J, I), I=1, NN)
      PRINT 730
      PRINT 550
550  FORMAT(///20X, 'ИСХОДНЫЙ ВАРИАНТ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ '
      ** 'НА ЧАСТИ'//)
      DO 9 J=1, KBLOCK
      PRINT 440, J, NB(J)
440  FORMAT(//6X, 'В ', I2, ' -М КОНСТРУКТИВЕ ',
      ** 'ПОМЕЩЕНО', I3, ' ЭЛЕМЕНТОВ')
      NN=NB(J)
9    PRINT 450, (B(J, I), I=1, NN)
450  FORMAT(6X, 'НОМЕРА ЭТИХ ЭЛЕМЕНТОВ :'(6X, 10I3//))
      READ 320, (ZAKR(I), I=1, NEL)
320  FORMAT(80I1)

```

```

SUM=0
DO 31 I=1,NEL
IF(ZAKR(I).EQ.0) GOTO 31
SUM=SUM+1
RZ(SUM)=I
31 CONTINUE
IF(SUM.EQ.0) PRINT 470
470 FORMAT(/6X,'ФИКСИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕТ')
IF(SUM.NE.0) PRINT 480,(RZ(I),I=1,SUM)
480 FORMAT(//6X,'ФИКСИРОВАННЫ ЭЛЕМЕНТЫ С НОМЕРАМИ :'/
*(6X,10I3/))

```

С ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МАТРИЦЫ <T> В МАТРИЦУ <Q>

```

DO 11 I=1,NEL
DO 11 J=1,NCEP
11 Q(I,J)=0
DO 13 I=1,NEL
DO 12 J=1,NKON
IF(T(I,J).EQ.0) GO TO 12
NN=T(I,J)
Q(I,NN)=1
12 CONTINUE
13 CONTINUE

```

С ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСХОДНОГО ВАРИАНТА РАЗВИЕНИЯ

```

CALL KOLSV(NCEP,KBLOK,SSVI,KCEPI)
DO 62 I=1,KBLOK
PRINT 510,I,NX(I)
510 FORMAT(//6X,'В КОНСТРУКТИВЕ N',I2,' НА ',
**ВНЕШНИЙ СОЕДИНИТЕЛЬ ВЫХОДИТ ',I3,' ЦЕПЕЙ')
NN=NX(I)
PRINT 520,(X(I,J),J=1,NN)
520 FORMAT(6X,'НОМЕРА ЭТИХ ЦЕПЕЙ :',(6X,10I3/))
62 CONTINUE
PRINT 530,KCEPI,SSVI
530 FORMAT(//6X,'КОЛИЧЕСТВО ЦЕПЕЙ, СОЕДИНЯЮЩИХ',
** КОНСТРУКТИВЫ , РАВНО',I4/6X,'КОЛИЧЕСТВО',
** СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОНСТРУКТИВАМИ РАВНО',I4)

```

С ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРНЫХ ПЕРЕСТАНОВОК ЭЛЕМЕНТОВ

```

PRINT 730
PRINT 610
610 FORMAT(///20X,'ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИЕНИЯ'/)
FLAG=0
178 LK=KBLOCK-1
DO 77 L=1,LK
NNL=NB(L)
KN=L+1
DO 66 K=KN,KBLOCK
NNK=NB(K)
DO 37 IL=1,NNL
EL=B(L,IL)
IF(ZAKR(EL).NE.0) GOTO 37
DO 36 IK=1,NNK
EK=B(K,IK)
IF(ZAKR(EK).NE.0) GOTO 36
C
C ПЕРЕСТАНОВКА ЭЛЕМЕНТОВ <EK> - <EL>
PR=B(K,IK)
B(K,IK)=B(L,IL)
B(L,IL)=PR
C
C ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУЧЕННОГО ВАРИАНТА РАЗВИЕНИЯ
CALL KOLSV1(NCER,KBLOCK,KCERN)
C
C АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННОЙ ПЕРЕСТАНОВКИ
DELTA=KCERN-KCERI
IF(DELTA.LT.0) GOTO 221
C
C ПЕРЕСТАНОВКА НЕУДАЧНА, ВОССТАНАВЛИВАЕМ ИСХОДНЫЙ
C ВАРИАНТ
PR=B(K,IK)
B(K,IK)=B(L,IL)
B(L,IL)=PR
36 CONTINUE
37 CONTINUE
66 CONTINUE
77 CONTINUE
C
C ВАРИАНТ НЕ УЛУЧШАЕТСЯ - КОНЕЦ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

```

```

      IF(FLAG.EQ.0) GOTO 258
      CALL KOLSV(NCEP,KBLOK,SSVN,KCEPN)
      PRINT 730
      PRINT 710
710  FORMAT(///20X,'ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ ',
      **РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ'//)
      DO 253 J=1,KBLOK
      PRINT 440,(B(J,I),I=1,NN)
253  CONTINUE
      DO 251 J=1,KBLOK
      PRINT 510,J,NX(J)
      NN=NX(J)
251  PRINT 520,(X(I,J),I=1,NN)
      PRINT 530,KCEPN,SSVN
      PRINT 730
      STOP
258  PRINT 720
720  FORMAT(//20X,'УЛУЧШИТЬ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ',
      **РАЗБИЕНИЕ СХЕМЫ НЕ УДАЛОСЬ')
      PRINT 730
      STOP
C 258 PRINT 720
C  ПЕРЕСТАНОВКА УДАЧНАЯ - ОБРАЗОВАНИЕ НОВОГО ВАРИАНТА
221  PRINT 620,EK,K,EL,L,DELTA
620  FORMAT(/6X,'В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ',
      **ЭЛЕМЕНТА N',I3,' (КОНСТРУКТИВ N',I2,' ) C',
      **',
      **ЭЛЕМЕНТОМ N',I3,' (КОНСТРУКТИВ N',I2,' )'/6X,
      **КОЛИЧЕСТВО ОБЩИХ ЦЕПЕЙ СОКРАТИЛОСЬ НА',I4)
      KCEPI=KCEPN
      FLAG=1
C
C  ПЕРЕХОД НА ОПТИМИЗАЦИЮ НОВОГО ВАРИАНТА РАЗБИЕНИЯ
C
      END
C
C  ПОДПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЩИХ ЦЕПЕЙ
C
      SUBROUTINE KOLSV1(NCEP,KBLOK,KCEP)
      IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)

```

```

        DIMENSION KW(400),X(10,96),NX(10),SVKL(400)
        DIMENSION B(10,50),Q(100,400),NB(10)
        COMMON /BLOC1/ SVKL,B,X,Q,NB,KW,NX
        DO 21 J=1,NCEP
21      KW(J)=0
        LK=KBLOK-1
        DO 29 L=1,LK
       >NNL=NB(L)
        KN=L+1
        DO 28 K=KN,KBLOK
       >NNK=NB(K)
        DO 27 J=1,NCEP
        DO 23 NL=1,NNL
       >IL=B(L,NL)
       >IF(Q(IL,J).NE.0) GOTO 24
23      CONTINUE
        GOTO 27
24      DO 25 NK=1,NNK
       >IK=B(K,NK)
       >IF(Q(IK,J).NE.0) GOTO 26
25      CONTINUE
        GOTO 27
26      KW(J)=1
27      CONTINUE
28      CONTINUE
29      CONTINUE
        KCEP=0
        KCEP=0
        DO 31 J=1,KCEP
31      KCEP=KCEP+KW(J)
        RETURN
        END

```

*****ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ В СХЕМЕ	17
КОЛИЧЕСТВО ВЫВОДОВ У КАЖДОГО ЭЛЕМЕНТА	14
КОЛИЧЕСТВО ЦЕПЕЙ В СХЕМЕ	59
КОЛИЧЕСТВО КОНСТРУКТИВОВ	3
КОЛИЧЕСТВО ФИКСИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	4

1	2	32	32	41	42	0	41	42	33	33	32	2	0
4	4	3	5	6	34	0	35	6	3	0	0	5	0
0	10	9	29	29	59	0	0	0	0	0	0	0	0
35	35	36	37	0	53	0	54	34	36	0	0	37	0
7	7	12	8	11	36	0	37	11	12	0	0	8	0
29	0	0	0	0	0	0	51	30	30	58	57	29	0
17	14	13	15	16	39	0	40	19	20	0	0	18	0
18	13	16	14	15	38	0	52	20	17	0	0	19	0
54	10	9	53	59	53	0	55	57	58	58	57	55	0
38	38	52	40	39	55	0	56	39	52	0	0	40	0
31	21	44	31	22	43	0	46	23	31	45	24	31	0
53	10	9	54	59	54	0	56	57	58	58	57	56	0
31	25	48	31	26	47	0	50	27	31	49	28	31	0
0	29	6	4	5	3	8	7	30	0	51	9	24	0
45	46	23	10	21	22	44	43	12	49	11	27	31	50
0	28	1	41	42	26	48	47	2	25	19	20	18	0
13	14	15	17	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0

***ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ

ИСХОДНЫЙ ВАРИАНТ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ

В 1-М КОНСТРУКТИВЕ ПОМЕЩЕНО 7 ЭЛЕМЕНТОВ

НОМЕРА ЭТИХ ЭЛЕМЕНТОВ :

1 2 3 6 9 5 7

В 2-М КОНСТРУКТИВЕ ПОМЕЩЕНО 6 ЭЛЕМЕНТОВ

НОМЕРА ЭТИХ ЭЛЕМЕНТОВ :

4 8 12 10 11 13

В 3-М КОНСТРУКТИВЕ ПОМЕЩЕНО 4 ЭЛЕМЕНТОВ

НОМЕРА ЭТИХ ЭЛЕМЕНТОВ :

14 15 16 17

ФИКСИРОВАНЫ ЭЛЕМЕНТЫ С НОМЕРАМИ :

14 15 16 17

В КОНСТРУКТИВЕ N 1 НА ВНЕШНИЙ СОЕДИНИТЕЛЬ ВЫХОДИТ

17 ЦЕПЕЙ НОМЕРА ЭТИХ ЦЕПЕЙ :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

11 12 13 14 15 17 18 19 20, 16

29 30 34 35 36 37 39 40 41 42

51 53 54 55 57 58 59

В КОНСТРУКТИВЕ N 2 НА ВНЕШНИЙ СОЕДИНИТЕЛЬ ВЫХОДИТ

29 ЦЕПЕЙ НОМЕРА ЭТИХ ЦЕПЕЙ :

9 10 13 14 15 16 17 18 19 20
 21 22 23 24 25 26 27 28 31 34
 35 36 37 39 40 43 44 45 46 47
 48 49 50 53 54 55 57 58 59

В КОНСТРУКТИВЕ N 3 НА ВНЕШНИЙ СОЕДИНИТЕЛЬ ВЫХОДИТ

41 ЦЕПЕЙ НОМЕРА ЭТИХ ЦЕПЕЙ :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 11 12 13 14 15 17 18 19 20 21
 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
 51

2, 33, 6

КОЛИЧЕСТВО ЦЕПЕЙ, СОЕДИНЯЮЩИХ КОНСТРУКТИВЫ , РАВНО 59 ✓
 КОЛИЧЕСТВО СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОНСТРУКТИВАМИ РАВНО 72

*****ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ,
 ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА ОТДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВАХ*****

ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ

В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА N 4 (КОНСТРУКТИВ N 2)
 С ЭЛЕМЕНТОМ N 1 (КОНСТРУКТИВ N 1)

КОЛИЧЕСТВО ОБЩИХ ЦЕПЕЙ СОКРАТИЛОСЬ НА -9

В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА N 6 (КОНСТРУКТИВ N 2)

С ЭЛЕМЕНТОМ N 9 (КОНСТРУКТИВ N 1)

КОЛИЧЕСТВО ОБЩИХ ЦЕПЕЙ СОКРАТИЛОСЬ НА -8

В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА N 12 (КОНСТРУКТИВ N 2)

С ЭЛЕМЕНТОМ N 7 (КОНСТРУКТИВ N 2)

КОЛИЧЕСТВО ОБЩИХ ЦЕПЕЙ СОКРАТИЛОСЬ НА -1

*****ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ СХЕМЫ НА ЧАСТИ,
 ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА ОТДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВАХ*****

г) количество конструктивов, на которые (разбивается
 схема (с учетом внешнего соединителя);

д) количество элементов, которые фиксированы разра
 ботчиком на исходном варианте разбиения.

2. Далее в колоде располагаются карты с матрицей цепей. Каждая карта содержит строку матрицы, нанесенную по формату 2413 (если количество столбцов в матрице меньше 24, то дополнять незанятые форматные поля не следует. Количество этих карт должно соответствовать количеству элементов схемы, указанному на первой карте (п. а).

3. Следующей помещается карта, на которой по формату 1013 указывается число элементов в каждом конструктиве.

4. Информация о первоначальном варианте разбиения, который задается конструктором, размещается на последующих картах. Их число должно быть равным количеству конструктивов, на которые разбивается схема (см. п. г на 1-й карте). На каждой из этих карт по формату 2413 в произвольном порядке наносятся номера элементов, помещенных при первоначальном разбиении в данный конструктив. Количество таких записей должно соответствовать числу, указанному на предыдущей карте (см. п. 3).

5. Последней среди исходных данных помещается карта с информацией о фиксированных элементах. Если разработчику необходимо, чтобы некоторые элементы были зафиксированы в конструктивах, куда они были помещены при первоначальном разбиении схемы, то на этой перфокарте в позиции с номером, равным номеру элемента, записывается 1. Данный элемент в перестановках не участвует. Если элемент не фиксирован и может участвовать в перестановках, то в соответствующей позиции перфокарты представляется 0.

Время счета задачи и качество получаемого решения зависят от первоначального разбиения схемы, поэтому выполнять его надо тщательно.

6.4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОДНОГАБАРИТНЫХ МОДУЛЕЙ НА МОНТАЖНОМ ПОЛЕ

Известно, что качество трассировки печатных соединений (количество слоев печатной платы и количество межслойных переходов), а также помехоустойчивость устройства зависят от того, насколько хорошо была решена задача размещения элемента на монтажном поле. Так как эта задача многокритериальная, то при ее решении выбирают такую числовую характеристику, которая обобщала бы в некоторой мере все критерии. Часто в роли такой характеристики используют суммарную длину сигнальных связей

между элементами или суммарную длину минимальных связующих деревьев, построенных на контактах каждой цепи.

Все методы размещения модуля (элементов) на монтажном поле можно разбить на две группы — аналитические и модельные [3].

В настоящее время в практике конструирования широкое распространение получили именно аналитические методы размещения, так как они могут быть реализованы на ЭВМ.

Алгоритмы, используемые при аналитическом решении задачи размещения, делятся на два класса — последовательные и итерационные [10].

Итерационные алгоритмы предназначены для улучшения начального варианта, заданного конструктором или полученного с помощью одного из последовательных алгоритмов. Особенностью итерационных алгоритмов является то, что на каждом их шаге существует вариант размещения не хуже начального варианта. Улучшение достигается путем перестановок модулей по местам монтажного поля и оптимизации используемого при этом критерия. Наиболее простым из итерационных алгоритмов является метод парных перестановок.

Для размещения модулей (элементов) схемы электрической принципиальной на печатной плате необходимо иметь информацию об электрических связях между размещаемыми модулями и о геометрических параметрах коммутационного поля в численном виде. Информация о связях между размещаемыми модулями содержится в матрице смежности S (см. § 6.2), а информация о геометрических параметрах коммутационного поля обычно задается матрицей расстояний C [10]. Эта матрица представляет собой таблицу, номерам строк и столбцов которой соответствуют номера посадочных мест на коммутационном поле. На пересечении i -й строки и j -го столбца записывают расстояние между i -м и j -м посадочными местами, выраженное в каких-либо линейных единицах (миллиметрах, единицах шага координатной сетки и др.). При известных координатах центров i -го и j -го посадочных мест расстояние между ними может быть найдено по следующим формулам:

$$C_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|; \quad (6.3)$$

$$C_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (6.4)$$

Выражение (6.3) используется при вычислении расстояний в ортогональной метрике, а выражение (6.4) — в евклидовой метрике. Координаты центров установочных мест берут на основании эксиза платы (рис. 6.2).

Информация о первоначальном размещении элементов по посадочным местам платы задается вектором-строкой размещения $P_{1 \times n}$, элемент которой $P_k = j$ показывает,

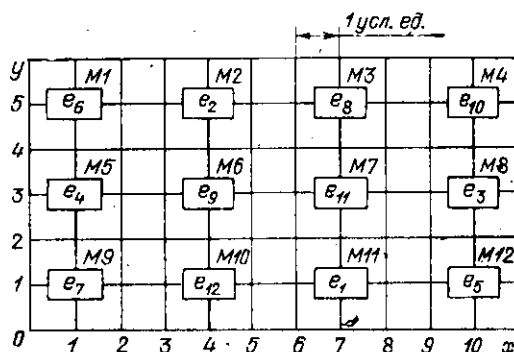


Рис. 6.2. Эскиз монтажного поля

что на j -м посадочном месте размещен элемент с номером k . Для варианта размещения, приведенного на рис. 6.2, вектор размещения имеет вид

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 \\ 11 & 2 & 8 & 5 & 12 & 1 & 9 & 3 & 6 & 4 & 17 & 10 \end{bmatrix}$$

Вектор P является как входным, так и выходным. После окончания работы алгоритма в нем хранится информация об оптимальном варианте размещения.

Иногда конструктору требуется зацепить некоторые элементы на исходном варианте размещения. Для этого служит вектор-строка $z_{1 \times n}$, элемент z_k которой равен 1, если k -й элемент закреплен за посадочным местом, указанным в P . Если k -й элемент не закреплен и может участвовать в перестановках, то $z_k = 0$.

Оптимизация размещения методом парных перестановок заключается в следующем.

Шаг 1. На первоначальном варианте размещения (который задается конструктором или находится с помощью одного из последовательных алгоритмов) производится оче-

редная парная перестановка модуля i с модулем j . Эти модули не должны быть помечены как закрепленные. Количество таких неповторяющихся перестановок, которые можно выполнить на начальном варианте размещения модулей, равно

$$m = C_n^2 = n(n-1)/2. \quad (6.5)$$

Шаг 2. После каждой перестановки подсчитывается приращение целевой функции. Приращение суммарной длины сигнальных связей, возникающее в результате перестановки модуля i с модулем j , вычисляется по формуле

$$\Delta_{ij} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i \\ k \neq j}}^n (S_{hj} - S_{ki}) C_{ghgi} - C_{ghgi} + \delta_{xij}. \quad (6.6)$$

Величина δ_{xij} равна приращению длины сигнальных связей, соединяющих переставляемые элементы с электрическим соединителем.

Шаг 3. После всех возможных перестановок определяется пара модулей, перестановка которых приводит к наибольшему улучшению целевой функции. Математически эта перестановка должна удовлетворять следующему условию:

$$\Delta_{kr} = \min_{\substack{i=1, n-1 \\ j=i+1, n}} \{\Delta_{i, j}\}; \Delta_{kr} < 0. \quad (6.7)$$

Шаг 4. В результате выполнения этой перестановки образуется новый улучшенный вариант размещения, принимаемый за начальный. Информация в массиве G изменяется и выполняется следующая итерация (переход к шагу 1).

Шаг 5. Алгоритм заканчивает свою работу в случаях (обычно в конкретной реализации алгоритма проверяется одно из указанных условий):

- а) если исчерпано заданное число итераций;
- б) если на очередной итерации достигнута заданная точность решения δ ;
- в) если на очередной итерации ни одна из возможных парных перестановок не приведет к улучшению целевой функции, т. е.

$$\Delta_{kr} = \min \{\Delta_{i, j}\} \geq 0.$$

Время нахождения локального оптимума и качество полученного решения во многом зависят от количества модулей, расположенных на печатной плате, и от качества ва-

рианта размещения, принятого за исходный. Приемлемое время счета (10 ...12 мин) на ЭВМ со средним быстродействием (типа ЕС 1022) можно получить, если проектируемая плата содержит не более 35 ...40 модулей.

Недостатком описанного алгоритма оптимизации размещения является сравнительно низкое качество получаемого решения с точки зрения последующей трассировки. Представление информации о связях в электрической схеме в виде матрицы смежности не позволяет учитывать реальное расположение контактов размещаемых модулей на монтажном поле и их взаимную ориентацию, что очень важно при реализации печатных соединений.

Точность решения задачи размещения модулей значительно возрастает при использовании в качестве целевой функции суммарной длины минимальных связующих деревьев, построенных на контактах каждой цепи. Так как при этом время счета существенно возрастает, то применение такой модели для конструкторов реальной степени сложности целесообразно, если программа оптимизации размещения реализована на ЭВМ с высоким быстродействием (типа ЕС 1050, ЕС 1033).

А. Программа оптимизации размещения элементов на плате методом попарных перестановок по критерию минимума суммарной длины сигнальных связей (см. с. 245—249) предназначена для оптимизации размещения одноконтурных модулей (например, ИМС на монтажном поле). Плата может содержать до 24 установочных мест, имеется возможность закреплять некоторые модули за местами, указанными конструктором.

Исходные данные для решения задачи готовятся следующим образом:

1) на первой карте по формату I2 указывается количество размещаемых модулей (число строк в матрице смежности S);

2) далее располагаются карты с матрицей смежности. Каждая строка матрицы наносится на отдельную перфокарту, формат записей 24I3. Если исходная информация о связях в схеме задана матрицей цепей, то для преобразования ее в матрицу смежности можно использовать программу, приведенную в § 6.2 п. А;

3) затем в колоде располагаются две перфокарты, содержащие информацию о координатах установочных мест на плате. На 1-й из них записаны значения координаты X центра или левого нижнего угла каждого установочного

```

C   ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЛАТЕ
C   МЕТОДОМ ПОПАРНЫХ ПЕРЕСТАНОВОК ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА
C   СУММАРНОЙ ДЛИНЫ СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ
C
      IMPLICIT INTEGER (A-Z)
      DIMENSION D(24,24),S(24,24),YRAZM(24)
      DIMENSION YZAKR(24),NEL(24),X(24),Y(24)
C
C   ВВОД ДАННЫХ О КОЛИЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ
      READ 10,N
10  FORMAT(I2)
C
C   ВВОД ДАННЫХ О СВЯЗЯХ ЭЛЕМЕНТОВ
      DO 1 I=1,N
        1 READ 20,(S(I,J),J=1,N)
20  FORMAT(24I3)
C
C   ВВОД КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ
      READ 20,(X(I),I=1,N)
      READ 20,(Y(I),I=1,N)
C
C   ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦЫ РАССТОЯНИЙ
      DO 2 I=1,N
        DO 2 J=1,N
          2 D(I,J)=IABS(X(I)-X(J))+IABS(Y(I)-Y(J))
C
C   ВВОД ДАННЫХ О ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ РАЗМЕЩЕНИИ
      READ 20,(YRAZM(I),I=1,N)
C
C   ВВОД ДАННЫХ О ЗАКРЕПЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
      READ 30,(YZAKR(I),I=1,N)
30  FORMAT(24I1)
C
C   КОНТРОЛЬНАЯ ПЕЧАТЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
      PRINT 100
100 FORMAT(///24X,"МАТРИЦА СВЯЗЕЙ"/)
      DO 3 I=1,N
        3 PRINT 20,(S(I,J),J=1,N)
      PRINT 110
110 FORMAT(//24X,"КООРДИНАТЫ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ"/)

```

```

        PRINT 120, (X(I), I=1, N)
120  FORMAT(8X, 'X : ', 24I3)
        PRINT 130, (Y(I), I=1, N)
130  FORMAT(8X, 'Y : ', 24I3)
        PRINT 140-
140  FORMAT(//24X, 'МАТРИЦА РАССТОЯНИЙ'//)
        DO 4 I=1, N
            4  PRINT 20, (D(I, J), J=1, N)
        PRINT 150
150  FORMAT(//24X, 'ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ'//)
        PRINT 160, (I, I=1, N)
160  FORMAT(2X, 'ЭЛЕМЕНТ : ', 24I3)
        PRINT 170, (YRAZM(I), I=1, N)
170  FORMAT(2X, ' МЕСТО : ', 24I3)
C
C  ВЫВОД СООБЩЕНИЯ О ЗАКРЕПЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ
        KZ=0
        DO 22 I=1, N
            IF(YZAKR(I).EQ.0) GOTO 22
            KZ=KZ+1
            NEL(KZ)=I
22  CONTINUE
            IF(KZ.EQ.0) PRINT 180
            IF(KZ.NE.0) PRINT 190, (NEL(I), I=1, KZ)
180  FORMAT(//2X, 'ЗАКРЕПЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕТ')
190  FORMAT(//2X, 'ЗАКРЕПЛЕННЫ ЭЛЕМЕНТЫ С НОМЕРАМИ : ', 24I3)
C
C  ВЫВОД СООБЩЕНИЯ О НАЧАЛЕ РАБОТЫ АЛГОРИТМА
        PRINT 200
200  FORMAT(///20X, 'ПРОЦЕСС ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛ-ОВ')
C
C  ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ <K> С <L>
        5  MIN=99999
            KK=N+1
            DO 12 K=1, KK
C
C  ПРОВЕРКА УСЛОВИЯ, ЧТО K-Й ЭЛЕМЕНТ НЕ ЗАКРЕПЛЕН
            IF(YZAKR(K).NE.0) GOTO 12
C
            INDK=YRAZM(K)

```

```

      LN=K+1
      DO 11 L=LN,N
C
C   ПРОВЕРКА УСЛОВИЯ, ЧТО L-Й ЭЛЕМЕНТ НЕ ЗАКРЕПЛЕН
      IF(YZAKR(L).NE.0) GOTO 11
C
C   ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИРАЩЕНИЯ СУММАРНОЙ ДЛИНЫ СИГНАЛЬНЫХ
C   СВЯЗЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕСТАНОВКИ  <K> - <L>
      INDL=VRAZM(L)
      DELTA=0
      DO 8 I=1,N
      IF((I.EQ.K).OR.(I.EQ.L)) GOTO 8
      INDI=VRAZM(I)
      DELTA=DELTA+(S(K,I)-S(L,I))*(D(INDL,INDI)-D(INDK,INPI))
      8 CONTINUE
C
C   ПОИСК НАИЛУЧШЕЙ ПЕРЕСТАНОВКИ  <KM> - <LM>
      IF(DELTA.GE.MIN) GOTO 11
      MIN=DELTA
      KM=K
      LM=L
C
      11 CONTINUE
      12 CONTINUE
C
C   ПРОВЕРКА КОНЦА РАБОТЫ АЛГОРИТМА
      IF(MIN.GE.0) GOTO 13
C
C   ПЕРЕСТАНОВКА ЭЛЕМЕНТА <KM> С ЭЛЕМЕНТОМ <LM>
      LPR=VRAZM(KM)
      VRAZM(KM)=VRAZM(LM)
      VRAZM(LM)=LPR
C
C   ВЫВОД СООБЩЕНИЯ О ВЫПОЛНЕННОЙ ПЕРЕСТАНОВКЕ
      PRINT 210,KM,LM,MIN
      210 FORMAT(/2X,'ПОСЛЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА НОМЕР ',
        *I2,' С ЭЛЕМЕНТОМ НОМЕР ',I2/2X,
        *'СУММАРНАЯ ДЛИНА СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ УМЕНЬШИЛАСЬ',
        *' НА',I6,' УСЛ. ЕД.')
C
C   ПЕРЕХОД НА ОПТИМИЗАЦИЮ НОВОГО ВАРИАНТА РАЗМЕЩЕНИЯ
      GOTO 5

```

```

C
C ПЕЧАТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗМЕЩЕНИЯ
13 PRINT 220
220 FORMAT(//24X,'ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ'//)
PRINT 160,(I,I=1,N)
PRINT 170,(VRAZM(I),I=1,N)

C
C ПОДСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ СУММАРНОЙ ДЛИНЫ СИГНАЛЬНЫХ
C СВЯЗЕЙ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА
SUM=0
DO 17 I=1,N
INDI=VRAZM(I)
DO 17 J=1,N
INDJ=VRAZM(J)
17 SUM=SUM+S(I,J)*D(INDI,INDJ)
SUM=SUM/2

C
C ПЕЧАТЬ ПОЛУЧЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ
PRINT 230
230 FORMAT(//2X,'СУММАРНАЯ ДЛИНА ',
**СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ ',I9,' УСЛ. ЕД.'//)

C
STOP
END

```

// EXEC

МАТРИЦА СВЯЗЕЙ

0	0	1	7	0	2	1	0	0	3	1	1
0	0	4	0	2	1	0	0	1	4	0	1
1	4	0	1	0	0	1	5	0	0	1	3
7	0	1	0	3	0	0	1	2	0	3	0
0	2	0	3	0	0	3	0	1	4	0	2
2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0
1	0	1	0	3	1	0	0	3	1	0	0
0	0	5	1	0	1	0	0	2	0	1	1
0	1	0	2	1	0	3	2	0	5	0	1
3	4	0	0	4	0	1	0	5	0	0	4
1	0	1	3	0	2	0	1	0	0	0	1
1	1	3	0	2	0	0	1	1	4	1	0

КООРДИНАТЫ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ

X : 1 4 7 10 1 4 7 10 1 4 7 10
 Y : 5 5 5 5 3 3 3 3 1 1 1 1

МАТРИЦА РАССТОЯНИЙ

0	3	6	9	2	5	8	11	4	7	10	13
3	0	3	6	5	2	5	8	7	4	7	10
6	3	0	3	8	5	2	5	10	7	4	7
9	6	3	0	11	8	5	2	13	10	7	4
2	5	8	11	0	3	6	9	2	5	8	11
5	2	5	8	3	0	3	6	5	2	5	8
8	5	2	5	6	3	0	3	8	5	2	5
11	8	5	2	9	6	3	0	11	8	5	2
4	7	10	13	2	5	8	11	0	3	6	9
7	4	7	10	5	2	5	8	3	0	3	6
10	7	4	7	8	5	2	5	6	3	0	3
13	10	7	4	11	8	5	2	9	6	3	0

ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ

ЭЛЕМЕНТ : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 МЕСТО : 11 2 8 5 12 1 9 3 6 4 7 10

ЗАКРЕПЛЕННЫ ЭЛЕМЕНТЫ С НОМЕРАМИ : 2 5 11

ПРОЦЕСС ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛ-ОВ

ПОСЛЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА НОМЕР 10 С ЭЛЕМЕНТОМ НОМЕР 12
 СУММАРНАЯ ДЛИНА СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ УМЕНЬШИЛАСЬ НА
 -66 УСЛ. ЕД.

ПОСЛЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА НОМЕР 1 С ЭЛЕМЕНТОМ НОМЕР 7
 СУММАРНАЯ ДЛИНА СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ УМЕНЬШИЛАСЬ НА
 -54 УСЛ. ЕД.

ПОСЛЕ ПЕРЕСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТА НОМЕР 8 С ЭЛЕМЕНТОМ НОМЕР 12
 СУММАРНАЯ ДЛИНА СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ УМЕНЬШИЛАСЬ НА
 -15 УСЛ. ЕД.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ

ЭЛЕМЕНТ : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 МЕСТО : 9 2 8 5 12 1 11 4 6 10 7 3

СУММАРНАЯ ДЛИНА СИГНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ 1237 УСЛ. ЕД.

ЕОЛ RAZMP

места, выраженные в единицах шага координатной сетки (ШКС). Порядок следования записей должен соответствовать нумерации установочных мест на эскизе монтажного поля (см. рис. 6.2). Первым записывается значение координаты X для установочного места с номером 1, затем — с номером 2 и т. д. Формат записей 2413. На следующей карте нанесена аналогичная информация о координате V каждого установочного места;

4) далее помещается карта, задающая первоначальное размещение модулей, отперфорированное на карте i -е по порядку число равно номеру установочного места, на которое назначен i -й модуль (например, на карте написано 20164 ..., что значит: модуль номер 1 размещен на 20-м установочном месте; модуль с номером 2 — на месте номер 16 и т. д.). Формат записей 2413;

5) последней располагается карта, содержащая информацию о закреплении разработчиком некоторых модулей. Если требуется закрепить какой-либо модуль за местом, куда он был назначен при первоначальном размещении, то для этого в позиции перфокарты с номером, равным номеру закрепляемого модуля, следует записать 1. Если модуль не закреплен, то в соответствующей позиции перфокарты указывается 0 или пробел.

6.5. ПРОВЕРОЧНЫЕ КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ

А. Программа расчета надежности ЭВА. Программа позволяет рассчитывать показатели надежности блока или отдельной платы (ТЭЗ) ЭВА (см. § 3.8). Рассчитываемое устройство должно содержать не более 40 типонаименований элементов (деталей). Исходной информацией для расчета надежности является:

спецификация (перечень элементов) рассчитываемого устройства или платы;

справочные, данные значений интенсивностей отказов для элементов (деталей), указанных в перечне;

значения поправочного коэффициента, учитывающего зависимость интенсивности отказов от электрического режима и условий эксплуатации элементов.

Исходные данные формируются в следующем порядке:

1-я карта содержит до 80 символов текстово-цифровой информации, служащей для идентификации результатов расчета (например, наименование устройства, фамилия разработчика и др.).

С ПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БЛОКА ЭВА

С

```
REAL IMIN(40),ISR(40),IMAX(40),KN(40)
DIMENSION K(40),P(50,3),NAM(40,8),NAMI(40)
```

С

С ВВОД И ПЕЧАТЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

С

```
READ(1,150)NAMI
PRINT 140,(NAMI(I),I=1,40)
READ(1,10)N
READ(1,20)(K(I),IMIN(I),ISR(I),IMAX(I),
*KN(I),(NAM(I,J),J=1,8)),I=1,N)
PRINT 30
PRINT 40
DO 1 I=1,N
1 PRINT 50,(NAM(I,J),J=1,8),K(I),IMIN(I),ISR(I),
IMAX(I),KN(I)

SMIN=0.
SSR=0.
SMAX=0.
DO 2 I=1,N
SMIN=SMIN+IMIN(I)*K(I)*KN(I)*1.E-6
SSR=SSR+ISR(I)*K(I)*KN(I)*1.E-6
2 SMAX=SMAX+IMAX(I)*K(I)*KN(I)*1.E-6
TMIN=1./SMIN
TSR=1./SSR
TMAX=1./SMAX
GB=1./TSR
```

С

С ПЕЧАТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

С

```
PRINT 60,TMIN,TSR,TMAX,GB
```

С

С ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА

С

```
H=100.
I=1
T=0.
PRINT 70
```

```

12 P(I,1)=EXP(-SMIN*T)
   P(I,2)=EXP(-SSR*T)
   P(I,3)=EXP(-SMAX*T)
   PRINT 80,T,P(I,1),P(I,2),P(I,3)
   T=T+H
   I=I+1
   IF(1.EQ.51)GOTO 13
   GO TO 12
13 N=I-1
   PRINT 100
10 FORMAT(I3)
20 FORMAT(I3,3F7.4,F4.0,8A3)
30 FORMAT(///34X,'ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ',/)
40 FORMAT(6X,84(1H-)/
   *6X,':',28X,':',8X,':',35X,':',8X,':',
   */6X,':',28X,' КОЛ-ВО : ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ *Е-6 1/ЧАС:',
   *8X,':',
   */6X,':',НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА ЭЛЕМЕНТА: ЭЛ-ОВ:',35X,' К-Т:',
   */6X,':',28X,':', ДАННОГО :',35(1H-),':',НАГРУЗКИ:',
   */6X,':',28X,':', ТИПА : МИНИМ. : СРЕДНЯЯ ':',
   * МАКСИМ. :',8X,':',
   */6X,':',28X,':',8X,':',3(11X,':'),8X,':',
   */6X,':',28(1H-),':',8(1H-),':',3(11(1H-),':'),8(1H-),':',
   *2(/6X,':',28X,':',8X,':',3(11X,':'),8X,':'))
50 FORMAT(6X,':',2X,8A3,2X,':',2X,I3,':',
   *2X,F7.4,2X,':',2X,F7.4,2X,F7.4,2X,':',
   *2X,F4.0,2X,':',
   */6X,':',28X,':',8X,':',
   *11X,':',11X,':',11X,':',8X,':')
60 FORMAT(///6X,'СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ',
   */9X,'ДЛЯ МИНИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ',8X,F12.1,'
   ЧАС.',
   */8X,'ДЛЯ СРЕДНЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ',12X,F12.1,'
   ЧАС.',
   */8X,'ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ',7X,F12.1,'
   ЧАС.',
   */6X,'ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ ЭВА ПРИ СРЕДНЕМ ',
   ) **УРОВНЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТКАЗОВ ЭЛ-ОВ ',E14.7)
70 FORMAT(///6X,'ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ
   РАБОТЫ',

```

```

*//6X,46(1H-),
*/6X,':',8X,':',3(11X,':'),
*/6X,': T(ЧАС) : PMIN(T) : PSR(T) : PMAX(T) : ',
*/6X,':',8X,':',3(11X,':'),
*/6X,':',8(1H-),':',3(11(1H-),':'),
*/6X,':',8X,':',3(11X,':'))
80 FORMAT(6X,':',F7.0,':',
*2X,F7.5,2X,':',2X,F7.9,2X,':',
*2X,F7.5,2X,':')
90 FORMAT(////////30X,'ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОСТИ',
**РАБОТЫ ОТ ВРЕМЕНИ'////)
100 FORMAT(/////////)
140 FORMAT(6X,40A2)
150 FORMAT(40A2)
STOP
END

```

2-я карта. По формату I3 наносится количество типов элементов (деталей), входящих в состав изделия. √ √

3-я и последующие карты (число этих карт должно соответствовать числу типов элементов, указанному на 2-й карте) содержат информацию об элементах. На каждой карте наносится:

количество элементов (деталей) данного типа в изделии (формат I3);

значение минимальной интенсивности отказов элементов данного типа, 10^{-6} 1/ч (формат F7.4);

значение средней интенсивности отказов элементов данного типа, 10^{-6} 1/ч (формат F7.4);

значение максимальной интенсивности отказов элементов данного типа, 10^{-6} 1/ч (формат F7.4);

значение поправочного коэффициента для элементов данного типа (формат F4.0);

наименование данного типа элементов (деталей) согласно спецификации, состоящее не более чем из 24 алфавитно-цифровых символов (включая пробелы).

Примечание. Величины интенсивности отказов для различных радиоэлементов и методика расчета поправочного коэффициента приведены в [11, с. 60 ...90].

// ЕХЕС

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

		ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ			
:	:	: КОЛ-ВО :	ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ :	:	:
:	НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА :	ЭЛ-ТОВ :	*Е-6	1/ЧАС	К-Т :
:	ЭЛЕМЕНТА	:	ДАННОГО:-----	НАГРУЗКИ:	:
:	:	ТИПА :	МИНИМ.: СРЕДНЯЯ :	МАКСИМ.:	:
:	ИНДИКАТОР Ф228 А-1:	6	0.1000	0.6400 :	1.1800 :
:	ТРАНЗИСТОР КТ315Б :	42	0.2700	0.5000 :	0.8600 :
:	:	:	:	:	:
:	РЕЗИСТОР МЛТ-0.25 :	57	0.0040 :	0.4420 :	0.4020 :
:	РЕЛЕ РЭС-10 :	5	0.1452 :	0.2500 :	0.5400 :
:	СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ				
	ДЛЯ МИНИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ				82614.0 ЧАС.
	ДЛЯ СРЕДНЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ				21130.2 ЧАС.
	ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ				7853.9 ЧАС.
	ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ ЭВА ПРИ СРЕДНЕМ УРОВНЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ				
	ОТКАЗОВ ЭЛ-ТОВ		0.4732567Е-0.		

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

T(ЧАС)	P _{MIN} (T)	PSR(T)	P _{MAX} (T)
0.	1.00000	1.00000	1.00000
100.	0.99879	0.99528	0.98755
200.	0.99758	0.99058	0.97486
300.	0.99638	0.98590	0.96252
400.	0.99517	0.98125	0.95035
500.	0.99397	0.97661	0.93832
600.	0.99276	0.97200	0.92645
700.	0.99156	0.96741	0.91473
800.	0.99036	0.96285	0.90316
900.	0.98917	0.95830	0.89173
1000.	0.98797	0.95378	0.88045
1100.	0.98677	0.94927	0.86931
1200.	0.98558	0.94479	0.85831
1300.	0.98439	0.94033	0.84745
1400.	0.98320	0.93589	0.83673
1500.	0.98201	0.93147	0.82614
1600.	0.98082	0.92707	0.81569
1700.	0.97963	0.92270	0.80537
1800.	0.97845	0.91834	0.79518
1900.	0.97726	0.91401	0.78512
2000.	0.97608	0.90969	0.77519
2100.	0.97490	0.90540	0.76538
2200.	0.97372	0.90112	0.75570
2300.	0.97254	0.89687	0.74614
2400.	0.97137	0.89263	0.73670
2500.	0.97019	0.88842	0.72738
2600.	0.96902	0.88422	0.71817
2700.	0.96785	0.88025	0.70909
2800.	0.96668	0.87589	0.70012
2900.	0.96551	0.87176	0.69126
3000.	0.96434	0.86764	0.68251
3100.	0.96317	0.86354	0.67388

Б. Программа расчета теплового режима блока ЭВА.

Программа предназначена для расчета теплового режима блока ЭВА (РЭА), выполненного в перфорированном или герметичном корпусе с естественным охлаждением при вертикальном расположении плат с элементами (см. § 3.7).

При подготовке исходных данных следует использовать ОСТ 4.ГО.012.032, характеристики корпуса, полученные на этапе эскизного проектирования, технические условия на применяемые элементы, сведения об условиях эксплуатации блока, заданные в ТЗ.

1-я карта содержит до 80 символов текстово-цифровой информации (наименование устройства, фамилия разработчика и др.).

2-я карта. По формату F6.2 наносятся следующие данные:

- мощность, потребляемая блоком, Вт;
- длина блока, выраженная в мм;
- ширина блока, выраженная в мм;
- высота блока, выраженная в мм;
- коэффициент заполнения блока по объему (отношение объема, занимаемого конструктивными элементами и платами, ко всему объему блока);
- давление окружающей среды, выраженное в мегапаскалях;
- температура окружающей среды, выраженная в градусах Цельсия;
- площадь одного перфорационного отверстия, выраженная в мм² если корпус блока герметичный, то эта величина равна нулю).

3-я карта. По формату 213 заносится:

- количество перфорационных отверстий (для герметичного блока указывается 0);
- количество типов теплонагруженных элементов. Теплонагруженными называются элементы, которые рассеивают мощность (транзисторы, резисторы, диоды и др.).

4-я и последующие карты содержат информацию о теплонагруженных элементах. На каждой из карт наносится следующее:

- количество элементов данного типа в блоке (формат I3);
- мощность, рассеиваемая элементом данного типа, Вт (формат F6.2). Величина рассеиваемой мощности определяется по данным схемы электрической принципиальной (см. далее примечание 1);

C

C ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЛОКА

C

```
      REAL L1,L2,L3,KZ,KP,KN1,KN2
      DIMENSION SEL(40),GEL(40)
      DIMENSION NAM(40,8),KEL(40),NAMI(40)
      DIMENSION PEL(40),TEC(40),TEL(40)
      READ(1,20) NAMI
      READ(1,110) PO,L1,L2,L3,KZ,H1,TC,SD
      READ(1,120) KOTV,KETB
      DO 11 I=1,KETB
11 READ(1,130) KEL(I),PEL(I),SEL(I),
      *(NAM(I,J),J=1,8)
      PRINT 20,NAMI
      PRINT 30
      PRINT 70,PO,L1,L2,L3,KZ,H1,TC,SD,KOTV,KETB
      L1=L1/1000
      L2=L2/1000
      L3=L3/1000
      SD=(SD*KOTV)*1.E-6
      SK=2.*(L1*L2+(L1+L2)*L3)
      SZ=2.*(L1*L2+(L1+L2)*L3*KZ)
      QK=PO/SK
      QZ=PO/SZ
      Y1=0.1472*QK-(QK**2)*(0.2962E-3)+(QK**3)*(0.3127E-6)
      Y2=0.1390*QZ-(QZ**2)*(0.1223E-3)+(QZ**3)*(0.0698E-6)
      KN1=0.82+1.0/(0.925+46.*H1)
      KN2=0.8+1./(1.25+38.*H1)
      PF=SD/(2.*L1*L2)
      KP=0.29+1./(1.41+4.95*PF) ,
      YK=Y1*KN1*KP*0.93
      YZ=0.93*KP*(Y1*KN1+(Y2/0.93-Y1)*KN2)
      YB=YZ*0.6
      TK=YK+TC
      TZ=YZ+TC
      TB=YB+TC
      PRINT 40
      DO 41 I=1,KETB
      GEL(I)=(PEL(I)/SEL(I))*1.E+6
```

```

      VEL=VZ*(0.75+0.25*(GEL(I)/QZ))
      VEC=VB*(0.75+0.25*(GEL(I)/QZ))
      TEL(I)=VEL+TC
      TEC(I)=VEC+TC
41  CONTINUE
      DO 31 I=1,KETB
31  PRINT 50,(NAM(I,J),J=1,8),REL(I),PEL(I),SEL(I),TEC(I),
      TEL(I)
      PRINT 60,TK,TZ,TE
20  FORMAT(40A2)
30  FORMAT(///34X,'ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ'//)
40  FORMAT(/6X,84(1H-)/6X,':',28X,': КОЛ-ВО : МОЩНОСТЬ :',
**ПЛОЩАДЬ : ТЕМПЕРАТУРА: ТЕМП-РА: '/6X,':',28X,': ЭЛ-ТОВ :',
** РАССЕЙВ. : ПОВЕРХНОСТИ: ВОЗДУХА : ПОВ-СТИ: '/6X,
**:', ' НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА ЭЛЕМЕНТА : ДАННОГО: ЭЛЕМЕНТОМ :',
** ЭЛЕМЕНТА : ОКРУЖ. ЭЛ-Т: ЭЛ-ТА: '/6X,':',28X,
** ТИПА : (ВТ) : (ММ**2) : (ГР. С) : (ГР. С):',
*/6X,':',28(1H-),':',8(1H-),':',3(11(1H-),':'),8(1H-),':',
*/6X,':',28X,':',8X,':',3(11X,':'),8X,':')
50  FORMAT(6X,':',2X,8A3,2X,':',2X,I3,3X,':',2X,F7.3,2X,':',
*2X,F7.1,2X,':',2X,F7.1,2X,':',1X,F5.1,2X,':',
*/6X,':',28X,':',8X,':',11X,':',11X,':',11X,':',8X,':')
60  FORMAT(///6X,'ТЕМПЕРАТУРА КОРПУСА БЛОКА',8X,F5.1,
ГРАД. С',
*/8X,'ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕТОЙ ЗОНЫ',6X,F5.1, ' ГРАД. С',/8X,
**СРЕДНЯЯ ТЕМП-РА ВОЗДУХА В БЛОКЕ ',F5.1,'ГРАД.
С'////////)
70  FORMAT(/8X,'МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ БЛОКОМ',6X,F6.2, ' ВТ',
*/8X,'ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ БЛОКА :'/30X,
**ШИРИНА',7X,F6.2, ' ММ'/30X,'ДЛИНА',8X,F6.2, ' ММ'/30X,
**ВЫСОТА',7X,F6.2, ' ММ'/8X,
**КОЭФФ. ЗАПОЛНЕНИЯ БЛОКА ПО ОБЪЕМУ',2X,F6.2,/8X,
**ДАВЛЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ',10X,F6.2, 'МРА',/8X,
**ПЛОЩАДЬ ПЕРФОРАЦИОННОГО ОТВЕРСТИЯ',7X,F6.2, ' ММ**2'/8X,
**КОЛ-ВО ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ',6X,I3,/8X,
**КОЛ-ВО ТИПОВ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ',I3,/8X,
**ТЕМПЕРАТУРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ',7X,F6.2, ' ГРАД. С',///)
110 FORMAT(8F6.2)
120 FORMAT(2I3)
130 FORMAT(I3,F6.2,F6.0,8A3)
      STOP
      END
// BXEC

```

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЛОКА РАСХОДОМЕРА

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ БЛОКОМ	13.85 ВТ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ БЛОКА:	
ШИРИНА	320.00 ММ
ДЛИНА	228.00 ММ
ВЫСОТА	110.00 ММ
КОЭФФ. ЗАПОЛНЕНИЯ БЛОКА ПО ОБЪЕМУ	0.50
ДАВЛЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	0.10 МПА
ПЛОЩАДЬ ПЕРФОРАЦИОННОГО ОТВЕРСТИЯ	0.0 ММ**2
КОЛ-ВО ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ	0
КОЛ-ВО ТИПОВ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ЭЛ-ТОВ	6
ТЕМПЕРАТУРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	25.00 ГРАД. С

площадь поверхности элемента, охлаждаемая воздухом, выраженная в квадратных миллиметрах (формат F6.0). Если элемент установлен на радиатор, то учитывается и площадь охлаждения радиатора (см. примечание 2);

наименование типа элемента, состоящее не более чем из 24 буквенно-цифровых символов (включая пробелы).

Примечания: 1. Мощность, рассеиваемая элементом, указанная в справочниках, является максимально допустимой. Элементы эксплуатируются обычно при значениях рассеиваемой мощности, составляющей 50 ... 80 % максимальной. Для микросхем следует брать рассеиваемую мощность, указанную в справочниках. При расчете мощности импульсных приборов необходимо учитывать, что на тепловой режим элемента влияет средняя эффективная мощность. Для диодов и стабилитронов рассеиваемая мощность равна произведению максимального тока через диод на падение напряжения на его $p-n$ переходе. Мощность, рассеиваемая трансформатором, составляет 3 ... 5 % от полезной мощности.

2. Площадь охлаждения элементов определяется из справочных пособий или рассчитывается. При расчете элемент принимается телом, имеющим форму цилиндра или параллелепипеда. Площадь поверхности этих фигур, подсчитанная по известным формулам, увеличивается на

КОД-ВО	МОЩНОСТЬ	ПЛОЩАДЬ	ТЕМПЕРАТУРА	ТЕМП-А
ЭЛ-ТОВ	РАССЕИВ.	ПОВЕРХНОСТИ	ВОЗДУХА	ПОВ-СТИ
НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА	ДАННОГО ЭЛЕМЕНТОМ	ЭЛЕМЕНТА	ОКРУЖ.ЭЛ-Т	ЭЛ-ТА
ЭЛЕМЕНТА	ТИПА	(ВТ)	(ММ**2)	(ГР. С)
РЕЗИСТОР МЛТ-0.125	8	0.060	60.0	53.5
РЕЗИСТОР МЛТ-0.25	54	0.100	100.0	46.6
РЕЗИСТОР МЛТ-2	1	0.500	650.0	41.9
ДИОД Д226Д	5	0.300	360.0	43.2
ДИОД КД-102Б	6	0.080	80.0	46.6
ТРАНЗИСТОР 806Б	1	0.850	600.0	55.2
ТЕМПЕРАТУРА КОРПУСА БЛОКА				26.9 ГРАД. С
ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕТОЙ ЗОНЫ				27.6 ГРАД. С
СРЕДНЯЯ ТЕМП-РА ВОЗДУХА В БЛОКЕ				26.5 ГРАД. С

5 ...10 % для учета поверхности охлаждения выводов элементов. Для элементов сложной формы площадь охлаждения подсчитывается по частям. Площадь охлаждения радиаторов определяется из ТУ на данный тип радиатора.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ЗАДАНИЕ

Студенту _____ группы _____

Курсовой проект по дисциплине
«Конструирование и микроминиатюризация ЭВА»

Тема _____

Дата выдачи задания _____ Дата защиты _____

Руководитель _____

Исходные данные:

1. Назначение и комплектность изделия _____

2. Условия эксплуатации, транспортирования и хранения ГОСТ _____

2.1. Группа исполнения _____

2.2. Категория изделия _____

3. Требования, предъявляемые к конструкции: _____

4. Объем курсового проекта

4.1. Пояснительная записка (20 ... 30 с.) с расчетами

4.1.1. _____

4.1.2. _____

4.1.3. _____

4.1.4. _____

4.2. Чертежи и эксплики (3...4 листа формата А1)

4.2.1. _____

- 4.2.2. _____
 4.2.3. _____
 4.2.4. _____
 4.2.5. _____
 4.3. Перечень элементов и готовых изделий: _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Назначение допусков на изготовление в виде предельных отклонений происходит в результате анализа взаимосвязанных размеров, который основан на теории размерных цепей (ГОСТ 16319—80).

Размеры деталей, образующих размерную цепь, называют звеньями размерной цепи. Различают исходные, замыкающие, составляющие, увеличивающие, уменьшающие и компенсирующие звенья.

Номинальные размеры звеньев, как правило, должны выбираться согласно нормальному ряду предпочтительных размеров по СТ СЭВ 514-77, а допуски на них — по ГОСТ 25347—82 (СТ СЭВ 146—75) и ГОСТ 25346—82 (СТ СЭВ 145—75).

Для достижения заданной точности замыкающего звена по ГОСТ 16320—70 используют различные методы расчета размерных цепей.

Например, методом максимума—минимума определяют размер замыкающего звена в следующей последовательности:

1) пользуясь конструктивной схемой узла, составляют размерную цепь, выделяя увеличивающие $\vec{A}_s$, уменьшающие $\overleftarrow{A}_l$ и замыкающие A_Δ звенья;

2) находят и выписывают известные номинальные A_s^h и A_l^h звеньев;

3) вычисляют номинальный размер $L_n = A_l^n$, используя формулу $A_\Delta^n = \sum_s A_s^n - \sum_l A_l^n$;

4) по таблицам отклонений СТ СЭВ 637—77 для заданных полей допусков определяют размеры звеньев;

5) определяют верхнее ES_Δ и нижнее EI_Δ отклонения замыкающего звена A_Δ по формулам: $ES_\Delta = A_{\Delta \max} - A_\Delta^n$, $EI_\Delta = A_{\Delta \min} - A_\Delta^n$, где $A_{\Delta \max} = \sum_s \vec{A}_{s \max} - \sum_l \overleftarrow{A}_{l \min}$, $A_{\Delta \min} = \sum_s \vec{A}_{s \min} - \sum_l \overleftarrow{A}_{l \max}$, или $ES_\Delta = \sum_s ES_s - \sum_l EI_l$, $EI_\Delta = \sum_s EI_s - \sum_l ES_l$, где $A_{s \max}$, $A_{s \min}$, $A_{l \max}$, $A_{l \min}$ — наибольшие и наименьшие размеры соответственно увеличивающих A_s и уменьшающих A_l .

щих A_i звеньев; ES_s , El_s , ES_t , El_t — верхнее и нижнее отклонения тех же звеньев;

б) проверить правильность вычислений, определив допуск

$$IT_{\Delta} \text{ по двум формулам: } IT_{\Delta} = \sum_i IT_s + \sum_t IT_t = \sum_{i=1}^{n-1} IT_i; IT_{\Delta} = ES_{\Delta} - El_{\Delta}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ*

Штампованные детали. Применение штамповок из листовых материалов (рис. П.3.1) обеспечивает малую трудоемкость и низкую стоимость изготовления, высокую точность размеров. Конструкция штампованных деталей в сильной степени зависит от объема применяемости (серии).

Стоимость штампованных деталей определяется в основном стоимостью штампов и материалов. Стоимость детали будет тем меньше, чем меньше ее размеры и проще форма. В конструкциях

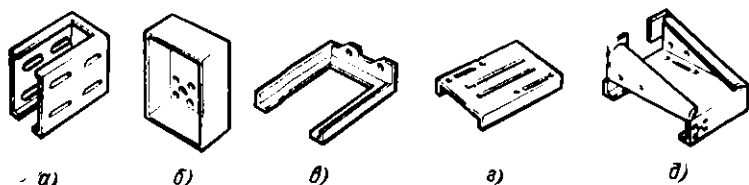


Рис. П.3.1. Несущие элементы конструкции ЭВА:

а — корпус; б — кожух; в — шасси; г — плата; д — рама

должны применяться дешевые и недефицитные материалы, а геометрия деталей должна допускать безотходный или малоотходный раскрой.

Форма детали должна обеспечивать наилучшее использование материала, простоту штампа и наибольшую стойкость его рабочих частей.

Детали малогабаритной аппаратуры рекомендуется изготавливать из материала возможно меньшей толщины, при этом необходимо обеспечивать заданную жесткость путем профилирования плоских поверхностей. Применяются как металлические, так и неметаллические листовые материалы (алюминиевые сплавы, стали, латуни,

* Использован материал методических указаний В. Ф. Казакова, О. П. Лаврентева. Разработка конструкций радиоэлектронной аппаратуры. — Казань.: Ротапринт, КАИ, 1977. — 40 с.

магниевого и титанового сплавы, а также слоистые пластики, листовые термопласты).

На штампуемость металлических материалов сильно влияет их химический состав и структура (особенно при изготовлении полых и сложных деталей, требующих большой пластической деформации).

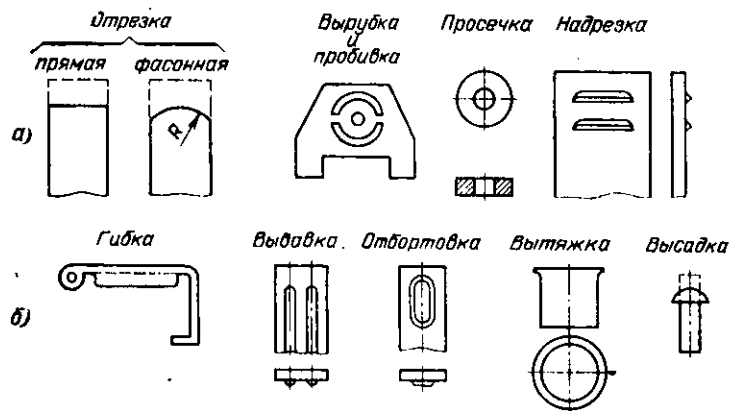


Рис. П.3.2. Операции при штамповке.
а — разделительные; б — формообразующие

ции). Детали, изготовленные штамповкой, можно разделить на плоские, изогнутые, полые и объемные.

Для получения штампованных деталей применяют две группы технологических операций: разделительные и формообразующие (рис. П.3.2).

К разделительным относятся операции отрезки, вырубки, пробивки, надрезки и другие, с помощью которых в основном изготов-

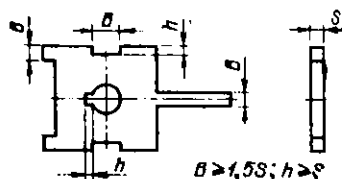


Рис. П.3.3. Минимальные размеры конструктивных элементов детали, получаемой выружкой

ливают плоские детали и заготовки (рис. П.3.2, а). К формообразующим относятся операции гибки, выдавки, отбортовки, вытяжки, высадки и др. (рис. П.3.2, б).

При вырубке и пробивке необходимо, чтобы минимальные размеры по контуру находились в соответствии с толщиной листа. Минимальные размеры таких элементов деталей показаны на рис. П.3.3.

Конструкция детали должна предусматривать возможно более простой штамп, предпочтительнее также круглые отверстия и формы, имеющие одинаковые радиусы сопряжения. Сложный контур вы-

рубной детали, как правило, вызывает появление заусенцев, которые резко ускоряют износ штампа. Размеры отверстий указаны в таблице (рис. П.3.4).

Плоские детали можно изготавливать из материала толщиной 0,5 ... 6 мм, но для материалов толщиной свыше 3 мм минимальный диаметр вырубаемых отверстий резко ограничивается, точность размеров снижается, а износ штампов ускоряется. Не следует выбирать отношения ширины к толщине меньше 3 : 1 (на перемычках 1,5 : 1), т. е. не рекомендуется применять длинные, узкие формы,

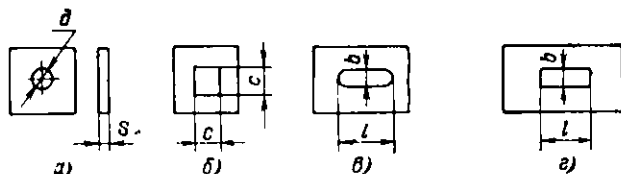


Рис. П.3.4. Минимально допустимые размеры штампуемых отверстий

Материал	Форма отверстий			
	а	б	в	г
	Размеры (не менее)			
	δ	с	е	г
Сталь $\sigma_B < 500$ н/мм	1,0 S	0,9 S	0,7 S	0,8 S
Алюминий	0,9 S	0,8 S	0,65 S	0,7 S
Титановый сплав в нагретом состоянии	1,0 S	0,7 S	0,75 S	0,75 S

отверстия неправильной формы. В целях меньшего искажения формы (контуров) деталей отверстия должны располагаться на расстоянии двух-трех толщин материала от края, а диаметр отверстия должен быть больше толщины материала.

Изогнутые детали. Сложность и стоимость изогнутой детали определяется направлением изгиба, числом изгибов в каждой плоскости и материалом. Наиболее простые формы гибков Г- и П-образные, т. е. угольники и скобы (рис. П.3.5). Для таких деталей желательна симметричная форма. Длина отгибаемой части должна быть не менее четырех-пяти толщин, а выступ «язык» должен отстоять от края не менее чем на 1 радиусгиба (рис. П.3.6).

Материал деталей, подвергнутых гибке, должен обладать высокими характеристиками предельной устойчивости и предельной прочности пластичности, чтобы гибка осуществлялась без разрушения материала (металла). Минимальный радиус гибки $R_{min} = k_1 k_2 S$, где S — толщина материала; k_1 — коэффициент, определяемый по табл. П.3.1, который учитывает свойства материала и

угол направления волокон к линии изгиба; k_2 — коэффициент, определяемый по табл. П.3.2, который вводит поправку при изгибе под углом меньше 90° .

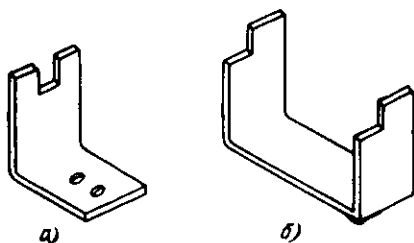


Рис. П.3.5. Изогнутые детали:
а — угольник; б — скоба

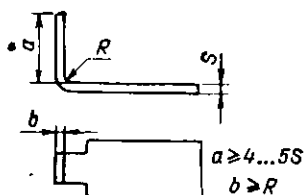


Рис. П.3.6. Правильная конструкция выступа изогнутой детали «языка»

Боковым стенкам деталей типа скоб рекомендуется придавать уклон $5-10^\circ$, особенно при толщинах материала 3—6 мм.

Таблица П.3.1

Материал	k , при различных направлениях волокон к линиигиба		
	поперек	под углом 45°	вдоль
Сталь 8 и сталь 10	0,3	0,5	0,8
Сталь 30	0,8	1,2	2,0
Латунь мягкая, медь	0,3	0,45	0,8
Латунь твердая	0,5	0,75	1,2
Алюминий	0,35	0,5	1,0
Алюминий, сплав Д16М	1,5	2,5	4,0
Алюминий, сплав В96Т	3,5	4,0	5,0

Таблица П.3.2

Угол гибки, град	90	80	70	60	50	45
k_2	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Для повышения точности гибки необходимо предусматривать фиксацию деталей с помощью технологических отверстий (если сама деталь не имеет отверстий).

Точность гибки зависит от формы и размеров деталей, числа операций гибки, механических свойств штампа, типа штампа.

Полые детали (т. е. детали, изготавливаемые вытяжкой). Наиболее просты в изготовлении цилиндрические полые детали с высотой, равной 0,5 ... 0,6 диаметра, и с возможно большими радиусами закруглений у дна и фланцев.

Цилиндрическая деталь с отношением высоты к диаметру $l/d > 0,6$ требует обычно две или более вытяжные операции, ее изготовление поэтому дороже. При больших l/d (вплоть до $l/d = 5 \dots 8$) детали получают методами ударного выдавливания либо многократной вытяжки.

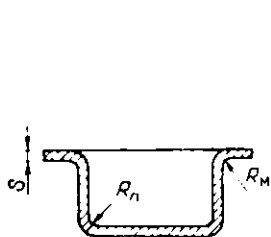


Рис. П.3.7. Радиусы сопряжения полый цилиндрической детали

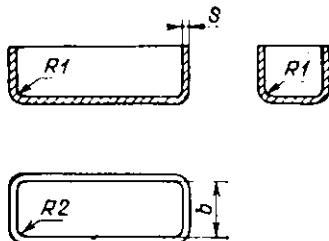


Рис. П.3.8. Радиусы сопряжения стенок прямоугольной детали

Для нормальных условий вытяжки полых цилиндрических деталей (рис. П.3.7) рекомендуется выбирать радиусы сопряжений с учетом следующих соотношений:

$$R_m \geq (2 \dots 2,5) S; R_n \geq (1 \dots 0,5) R_m,$$

где R_m — радиус сопряжений между фланцем и боковой стенкой (радиус скругления матрицы);

R_n — радиус сопряжений между дном и боковой стенкой (радиус скругления пуансона).

Применение конусности в пределах $1,5^\circ$ значительно облегчает съем детали с пуансона. Большой угол несколько усложняет технологию вытяжки.

Полые детали прямоугольной формы обходятся дороже, у них должны быть возможно большие радиусы закругления в углах и малое отношение высоты к площади сечения (h/F). При этом радиус скругления R'' в углах стенок должен быть равен радиусу скругления у дна R' или быть больше его (рис. П.3.8).

В полных деталях прямоугольной формы радиусы сопряжения рекомендуется выбирать в пределах

$$R' \geq S; R'' \geq (0,14 \dots 0,17) b,$$

где R' — радиус сопряжения дна и стенки; R'' — радиус сопряжения стенок по контуру; b — ширина основания.

В целях снижения брака при вытяжке переход дна в боковую стенку рекомендуется выполнять скосом под углом 45° с возможно большими радиусами перехода этого скоса в стенку и дно.

Самые трудоемкими в изготовлении являются полые детали неправильной формы. Отверстия в дне полых деталей более желательны, чем в стенках. Боковые отверстия, особенно при глубоких вытяжках, нельзя располагать близко ко дну.

Материал полых деталей должен обладать высокими показателями устойчивой пластичности и возможно более низкими пределами упругости и текучести (повышенная твердость затрудняет вытяжку и вызывает разрыв на 2-й и последующих операциях, выполняемых без промежуточных отжигов).

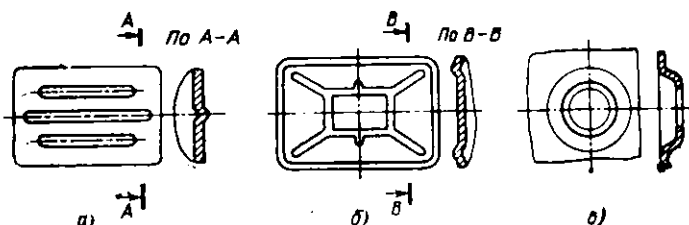


Рис. П.3.9. Конструктивные элементы повышения жесткости:
а, б — выдавки; в — разбортовка же отверстий

Для изготовления полых деталей рекомендуется мягкая сталь, алюминий, медь и латунь (при содержании меди до 68—72 %). Из сплавов алюминия (лучше применять АМц).

При пробивке отверстий в дне деталь закрепляют обычно за вертикальные стенки. Способ указания размеров, определяющих положение отверстий, пазов, пуклевок на стенках и дне полых деталей, определяется методом фиксации детали в штампе.

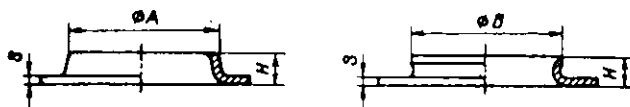


Рис. П.3.10. Обозначение размеров элементов разбортованных отверстий

При отношении толщины материала к диаметру или большей стороне дна детали менее 1 : 50 деталь требует дополнительных средств усиления жесткости: продольных, кольцевых и радиальных выдавок; разборок отверстий; выдавки углов.

Рекомендуемые формы отдельных элементов для выдавок и разборок отверстий показаны на рис. П.3.9.

При определении высоты борта разбортованного отверстия (рис. П.3.10) можно пользоваться формулами:

$$H = (0,3 \dots 0,4) A \text{ при } A/S = 2,5 \dots 5;$$

$$H = (0,15 \dots 0,22) A \text{ при } A/S \geq 10,$$

где H — высота борта; A — диаметр разбортовки (по средней линии); S — толщина листового материала.

Здесь меньшие значения коэффициентов соответствуют меньшим значениям толщин материалов. Если разбортовка отверстий предназначена для нарезания резьбы, то при выбранном диаметре A необходимо получать высоту H , равную высоте 2,5 ... 3 ниток резьбы. Толщина материала при этом должна находиться в пределах 0,5 ... 3 мм.

Литые детали. При заданной механической прочности минимальный вес и габаритные размеры литой детали достигаются путем уменьшения и правильного выбора сечений стенок, наилучшего использования механических качеств литейного материала.

Необходимо конструировать литые детали так, чтобы использовать модели с плоским разъемом (рис. П.3.11), с линиями I—I.

Отливки должны иметь (по возможности) плоские, цилиндрические и конические поверхности, что снижает стоимость изготовления моделей. Конструкция отливки должна быть такой, чтобы можно было беспрепятственно извлекать ее из формы.

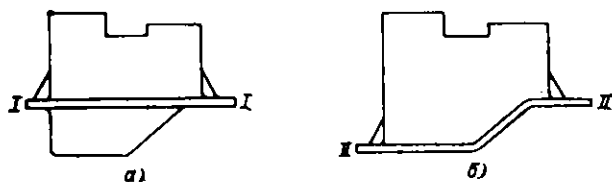


Рис. П.3.11. Линии разъема моделей:
а — правильно; б — неправильно

Все поверхности литой детали, перпендикулярные плоскости разъема, должны иметь литейные уклоны, значения которых зависят от высоты отливки, материала, из которого она изготавливается, толщины ее стенок и метода литья; чем больше высота отливки, толще ее стенки и больше усадка металла, тем больше должны быть литейные уклоны.

Рекомендуемые значения уклонов даны в табл. П.3.3.

Таблица П.3.3

Размеры отливки, перпендикулярные плоскости разъема	Уклон (конусность), %, при различных способах получения отливки			
	в землю	в кокиль	под давлением	по выплавляемым моделям
До 25 мм	11,5	3—5*	1,5—0,5*	—
25...100 мм	5,5	1		
100—500 мм	3	0,5		

* Большие величины относятся к внутренним поверхностям алюминиевых и медных сплавов.

Необходимо выдерживать одинаковую толщину стенок (для равномерного охлаждения), избегать резких переходов, местных утолщений (переходы к другой толщине стенок должны быть плавными). Ребра жесткости и внутренние стенки литых деталей рекомендуется выполнять более тонкими, чем наружные стенки (в пре-

делах 0,6 ... 0,8 толщины наружных стенок). Ребра жесткости обычно выполняются конусным уклоном 1 : 20 ... 1 : 50. Ребра и приливы следует располагать в плоскости разреза или перпендикулярно ей. Желательно шахматное или радиальное расположение ребер и перегородок (рис. П.3.12). Рекоменуется также объединять приливы и бобышки, расположенные в одной плоскости близко друг от друга, в один прилив.

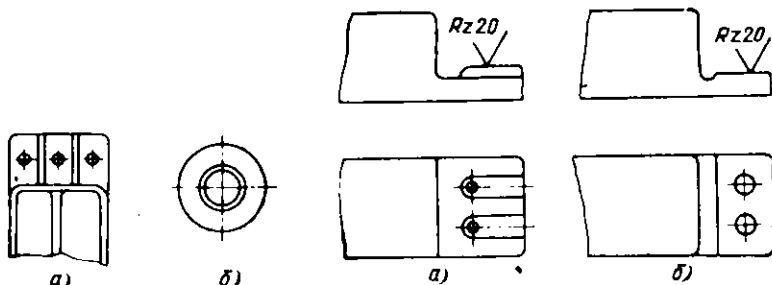


Рис. П.3.12. Расположение ребер и перегородок:

а — шахматное; б — радиальное

Рис. П.3.13. Способы обработки приливов:

а — отдельных; б — общего

Необходимо учитывать линейную усадку в процессе охлаждения и механической обработки. Радиусы галтелей рекомендуется принимать в пределах 0,2 ... 0,4 средней толщины сопрягаемых стенок. Обрабатываемые поверхности должны подниматься или иметь канавку в месте перехода (рис. П.3.13).

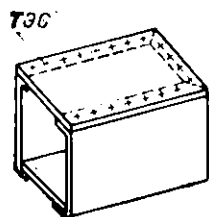


Рис. П.3.14. Конструкционный узел, соединенный точечной электросваркой

Сварные детали. В курсовых проектах, а в ряде случаев и в промышленности нередко приходится применять сварные корпуса, кожухи и другие несущие конструкции. При конструировании кожуха из тонкого листового материала (например, АМцП толщиной 1 мм) для соединения с крышкой и дном используют точечную электросварку (ТЭС). Точечную электросварку можно применять для малоуглеродистой и нержавеющей стали, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов (рис. П.3.14). Хорошо свариваются ТЭС алюминиевые сплавы Д1, Д16 и В95 (легированный медью), которые плохо свариваются другими видами сварки.

При толщине листового материала 1 мм расстояние от центра сварной точки до кромки детали должно быть 5 мм и ширина отбортовки 12 мм. При толщине листа 1,5 и 2 мм необходимо применять отбортовку 14 и 16 мм.

Для изготовления корпусов блоков применяется также газовая, аргоно-дуговая сварка, пайка, клепка, склейка и др.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

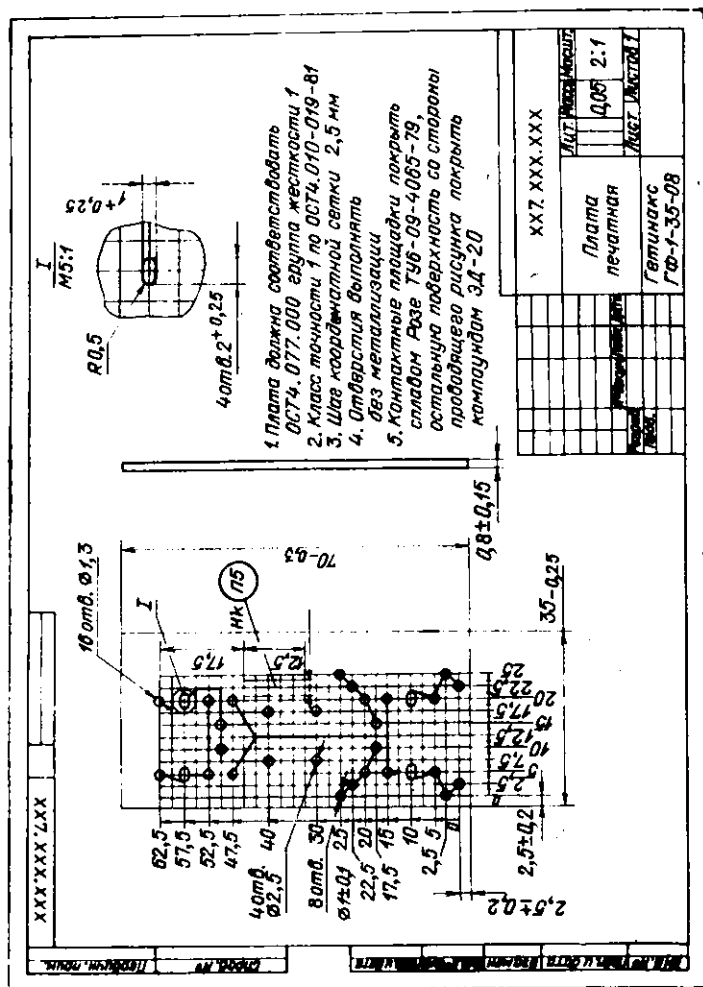


Рис. П.4.1. Сбo-
рочный чертеж

Рис. П.4.2. Сборочный чертеж

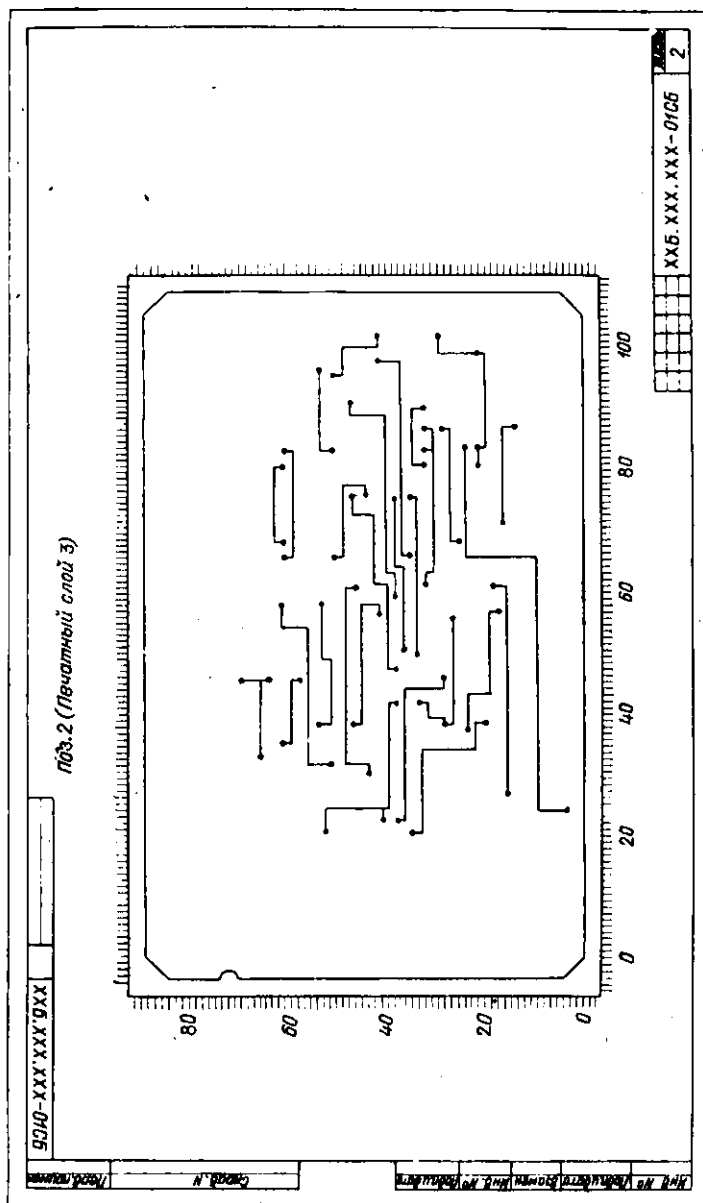


Рис. П.4.4. Чертеж слоя печатной платы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ *

1. Конструирование и расчет больших гибридных интегральных схем, микросборок и аппаратуры на их основе: Учеб. пос. для вузов/Г. В. Алексеев, В. Ф. Борисов, Т. Л. Воробьева и др.; Под ред. Б. Ф. Высоцкого. — М.: Радио и связь, 1981. — 216 с.
2. Ненашев А. П., Коледов Л. А. Основы конструирования микродвухэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1981. — 304 с.
3. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования/Под ред. Р. Г. Варламова. — М.: Советское радио, 1980. — 480 с.
4. Романов Ф. И., Шахнов В. А. Конструкционные системы микроЭВМ. — М.: Радио и связь, 1983. — 120 с.
5. Компонировка и конструирование микродвухэлектронной аппаратуры: Справочное пособие/П. И. Овсищев, И. И. Лившиц, А. К. Орчинский и др.; Под ред. Б. Ф. Высоцкого, В. Б. Пестрякова, О. А. Пятлина. — М.: Радио и связь, 1982. — 208 с.
6. Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиодвухэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1982. — 240 с.
7. Верхопятницкий П. Д., Латинский В. С. Справочник по модульному конструированию радиодвухэлектронной аппаратуры. — Л.: Судостроение, 1983. — 232 с.
8. Балашов Е. П., Пузанков Л. Б. Микропроцессоры и микропроцессорные системы: Учеб. пос. для вузов/Под ред. В. Б. Смолова. — М.: Радио и связь, 1981. — 328 с.
9. Справочник по интегральным микросхемам/Б. В. Тарабрина, С. В. Якубовский, Н. А. Барканов и др.; Под ред. Б. В. Тарабрина. — 2-е изд., перераб и доп. — М.: Энергия, 1981. — 816 с.
10. Селютин В. А. Машинное конструирование электронных устройств. — М.: Советское радио, 1977. — 384 с.
11. Сборник задач по теории надежности/Под ред. А. М. Половко и И. М. Маликова. — М.: Советское радио, 1972. — 176 с.
12. Шерстнев В. В. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА: Учебник для вузов. — М.: Радио и связь, 1984. — 272 с.
13. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочное пособие/Э. Т. Романычева, А. К. Иванова, А. С. Куликов, Т. П. Новикова. — М.: Радио и связь, 1984. — 256 с.

* В учебном пособии использованы материалы стандартов по конструированию ЭВА: ОСТ 4ГО.010.009, ОСТ 4.010.019—81, ОСТ 4ГО.010.030 и др.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Анализ конструкции 47, 133
— исходных данных 13, 18, 30
— назначения 19, 34
— теплового режима 39, 108
— условий эксплуатации 11, 20
— электромагнитной совместимости 39

Блок:
в герметичном исполнении 128
в негерметичном исполнении 128
кассетный 128
книжный 128, 140
разъемный 128, 134
этажерочный 128

Выбор монтажного проводника 188

Герметизация 157

Динамическая помехоустойчивость ИМС 93

Задача курсового проекта 6
Заземление 147
Защита от климатических факторов 48, 131
— от механических нагрузок 21, 104, 131, 179

Интенсивность отказов 49, 167, 250
Источник вторичного электропитания 106

Кабель гибкий печатный 141, 187
— ленточный плоский 141

Каркасы:
автономные комплектные 197
вдвижные 195
встраиваемые 198
наращиваемые 197
стационарные 195
поворотные 197
приборные 198
частичные 195

Класс точности 61
Кодирование схемы электрической принципиальной 223
Компоновка 7, 105, 116, 127, 131, 135, 200, 228
Компромисс 106

Конструирование:
блоков 129, 130
— запоминающих устройств 147
— питания
источника вторичного электропитания 107
микро-ЭВМ и микропроцессорных систем 125
печатных плат 20, 56, 117
Конструктивное решение 13, 20, 132, 176
Конструктивный уровень 15
Контактная площадка 59, 73, 75, 78
Контакты печатные 77
Коэффициент:
заимствования 172
заполнения объема 15, 16
качества 176
микроминиатюризации 15
надежности 175
назначения 175
оптимизации 171
плотности упаковки 15
повторяемости 171, 172
стандартизации и унификации 172
технологичности 14, 170, 175
эргономичности 51, 175

Ложное срабатывание 93

Метод агрегатирования 11
— базовый 53
— геометрический 52
— машиностроительный 52
— полуавтоматизированный 56
— топологический 53
— экспертный 51
Модульный принцип конструирования 11, 122, 133
Монтажный провод 190
Монтаж объемный 100
— печатный 50
— гибким печатным кабелем 100

Несущая конструкция 20, 178
Отверстие металлизированное 59, 74, 79
— монтажное 59, 71, 73
— неметаллизированное 58
— переходное 59, 70, 73

- Паразитная емкость 88
 - взаимоиנדукция 92
 - индуктивность 92
- Печатная плата 56
 - односторонняя 58
 - двусторонняя 58
 - многослойная 59, 60
- Покрyтия 77, 131
- Проект эскизный 7, 20
 - технический 7, 20
 - рабочий 7, 21
- Разбиение на подсхемы 11, 33, 133, 228
- Размещение 7, 53, 56, 64, 116, 221, 227, 240, 244
- Расчет:
 - конструктивно-технологический 70
 - на вибропрочность 101
 - помехоустойчивости 96
 - прочерочный 100, 108, 127, 131, 142
 - радиаторов 109
 - уровня стандартизации 171
 - шины заземления 97
 - шины питания и «земли» 83
 - экранирования 112
- Ремонтопригодность 48, 50
- Системный подход 107, 117, 165, 176
- Согласование размеров подсистем 13, 133
- Технические средства 136
- Технологичность 169
- Типовая конструкция 14, 132
- Типовой элемент замены 134, 250
- Трассировка 53, 56, 66, 76, 216, 221
- Условное графическое обозначение 207
- Установка элементов 119
- Чертеж платы 214
 - сборочный 218
- Шаг координатной сетки 121
- Шина питания 82, 97
 - земли 82, 97
 - общая 99
- Экранирование 148
- Электрический соединитель 120, 127, 134, 182, 194
- Электрические соединения 43, 48

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основные вопросы конструирования	5
1.1. Цель и задачи курса и курсового проекта	5
1.2. Методические основы конструирования	9
1.3. Методические рекомендации к выполнению введения пояснительной записки	27
1.4. Особенности исследовательских проектов	29
Глава 2. Исходные данные и ограничения	30
2.1. Анализ содержания исходных данных	31
2.2. Анализ схемы электрической для исследовательского проекта	32
2.3. Конструкторский анализ технического задания и схемы электрической принципиальной	34
2.4. Анализ аналога	47
2.5. Выбор метода конструирования	52
Глава 3. Конструирование модулей и межэлементных соединений	56
3.1. Конструирование печатных плат	56
3.2. Особенности конструктивного решения в зависимости от используемой элементной базы	105
3.3. Конструирование блоков	128
3.4. Электрическая защита блоков	147
3.5. Защита блоков от механических нагрузок	149
3.6. Герметизация	157
3.7. Обеспечение теплового режима	163
3.8. Оптимизация конструктивного решения с учетом системно- и схемотехнических, технологических и эксплуатационных требований	164
Глава 4. Типовые и индивидуальные несущие конструкции	177
4.1. Элементы несущих конструкций	178
4.2. Элементы крепления и фиксации	182
4.3. Элементы электрических соединений	182
4.4. Унифицированные конструкции	193
4.5. Компоновка устройств на базе УК	200
Глава 5. Конструкторская документация	204
5.1. Текстовые документы	204
5.2. Схемы электрические	206
5.3. Чертежи плат и сборочные чертежи	214
Глава 6. Автоматизация конструирования	218
6.1. Рекомендации по применению пакетов прикладных программ для АРМ	219
6.2. Представление информации о связях в схеме электрической принципиальной для ввода в ЭВМ	222

6.3. Компоновка элементов схемы по отдельным конструктивам	228
6.4. Решение задачи размещения одногабаритных модулей на монтажном поле	240
6.5. Проверочные конструкторские расчеты	250
Приложение 1. Пример оформления индивидуального задания на курсовой проект	261
Приложение 2. Расчет размерных цепей	262
Приложение 3. Рекомендации по выполнению несущих конструкций	263
Приложение 4. Примеры оформления чертежей	271
Список литературы	275
Предметный указатель	276

АЛЕКСАНДР ЯКОВЛЕВИЧ КУЗЕМИН

**Конструирование и микроминиатюризация электронной
вычислительной аппаратуры**

Заведующий редакцией Ю. Н. Рысен

Редактор Л. Д. Никулина

Художественный редактор Н. С. Шенин

Технический редактор Г. И. Колосова

Корректор Н. В. Козлова

ИБ № 468

Сдано в набор 19.04.85. Подписано в печать 30.09.85. Т-20210
Формат 84×108/32. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,7. Усл. кр.-отт. 14,7. Уч.-изд. л. 15,04.
Тираж 22 000 экз. Изд. № 20271.² Зак. № 852. Цена 80 к.
Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
129041, Москва, Б. Переяславская, 46