

Министерство образования и науки Российской Федерации  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

**Н.А. КОЛЬТЮКОВ, О.А. БЕЛОУСОВ**

## **ОСНОВЫ ЭРГНОМИКИ И ДИЗАЙНА РЭС**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию  
в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и  
автоматизации в качестве учебного пособия  
по курсовому проектированию*



---

Тамбов  
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
2012

УДК 331.101.1:621.396.6(075.8)  
ББК 3844-02я73  
К625

**Р е ц е н з е н т ы:**

Кандидат технических наук, начальник отдела эксплуатации  
Тамбовского филиала ЗАО «Вотек Мобайл»  
*Д.А. Бобаков*

Доктор технических наук, профессор,  
директор технического колледжа ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
*А.П. Денисов*

**Кольтюков, Н.А.**

К625 Основы эргономики и дизайна РЭС : учебное пособие по курсовому проектированию / Н.А. Кольтюков, О.А. Белоусов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 124 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-1134-3.

Содержит методические указания по организации и выполнению курсового проектирования с учётом стадий проектирования в соответствии с ЕСКД, подробно рассмотрены вопросы эргономики и дизайна РЭС; обеспечения качества и надёжности проектируемой РЭС, а также приведены основные конструкторские расчёты, необходимые при проектировании РЭС.

Предназначено для направлений подготовки бакалавров 210400 «Радиотехника», 211000 «Конструирование и технология электронных средств», 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», специалистов 210303 «Бытовая радиоэлектронная аппаратура», 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения и может быть полезно при изучении дисциплин «Конструирование РЭС» и «Конструирование и технология РЭС», и выполнения курсового и дипломного проектирования, а также может быть использовано студентами смежных специальностей и разных форм обучения.

УДК 331.101.1:621.396.6(075.8)  
ББК 3844-02я73

**ISBN 978-5-8265-1134-3**

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

## **ВВЕДЕНИЕ**

---

---

Важным фактором, определяющим темпы научно-технического прогресса в современном обществе, являются радиоэлектронные средства (РЭС).

Под РЭС понимают изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы радиотехники и электроники.

Ускорение научно-технического прогресса требует сокращения сроков разработки РЭС и внедрения их в производство и эксплуатацию.

РЭС нашли применение в телевидении, самолётостроении, аппаратах управления спутниками и космическими кораблями, устройствах исследования физиологических свойств организма человека, автоматическом управлении производственными процессами в самых различных отраслях промышленности.

Конструирование – процесс отражения в чертежах структуры, размеров, формы, материалов, обработки и связей (внутренних и внешних) разрабатываемого РЭС.

Под конструкцией РЭС понимается совокупность элементов и деталей с различными физическими свойствами и формами, находящихся в определённой пространственной, механической, тепловой, электромагнитной и энергетической взаимосвязи. Эта взаимосвязь определяется электрическими схемами и конструкторской документацией. Необходимо подчеркнуть, что современный отечественный, и в частности зарубежный, рынок предъявляет очень высокие требования к художественно-конструкторскому оформлению, необходимо также делать акцент на вопросы эргономики и дизайна. Помимо специальных требований к показателям качества РЭС, таких как надёжность, технологичность, должны быть гарантированы фирменный стиль и патентная чистота изделия, а также учтены эргономические решения, выдержанные основные требования дизайна: выразительность, гармоничность и композиционная устойчивость, стилевое единство, целесообразность форм и т.д., и вопросы, касающиеся повышения качества и конкурентоспособности проектируемой РЭС.

# 1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

---

---

## 1.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК–МАШИНА»

*Система «человек–машина».* Согласно ГОСТ система «человек–машина» (СЧМ) есть система, состоящая из человека-оператора и «машины» или совокупности технических средств, посредством которых он осуществляет трудовую деятельность.

Функционирует СЧМ по определённом алгоритму, т.е. она имеет логическую организацию функционирования, состоящую из совокупности операций.

Под *человеком-оператором* следует понимать человека, ведущего трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с совокупностью технических средств в условиях соответствующей внешней среды, через посредство воспринимаемой им информации и органов управления на основе представлений о целях и задачах трудовой деятельности.

При управлении «машиной» человек обязательно основывается на организованном в соответствии с определёнными правилами отображения состояния СЧМ с учётом внешней среды и способов воздействия на них.

В процессе функционирования СЧМ осуществляется достижение поставленной цели и её основным свойством является эффективность, т.е. способность достижения этой цели в данных условиях с определённым качеством при минимальных затратах труда и материалов. Эффективность и качество функционирования СЧМ определяются функционированием «машины», деятельностью человека-оператора и их согласованностью.

Проектирование «машины» должно вестись на основе изучения деятельности и психофизиологических возможностей человека-оператора, а также путей и методов согласования «машины» и оператора и вытекающих из этого требований к конструкции «машины».

Эти вопросы являются предметом изучения области науки и техники, которая получила название «инженерная психология».

*Инженерная психология* изучает объективные процессы взаимодействия человека и техники для использования их результатов при проектировании, создании и эксплуатации техники. Она рассматривает деятельность человека и функционирование машины во взаимодейст-

вии, в том числе в части информационного взаимодействия, при ведущей роли человека.

*Психологические стороны* науки «инженерная психология» направлены на изучение психических процессов и свойств человека, в том числе в части восприятия, обработки и накопления информации, принятия решений и осуществления действий. На этой основе формируются требования к технике.

*Технические стороны* науки «инженерная психология» направлены на изучение и формирование принципов, правил и рекомендаций для проектирования техники с учётом психологических, физиологических и эргономических особенностей человека. Сказанное с определёнными отличиями относится к неавтоматизированной, автоматизированной и автоматически действующей технике.

Деятельность оператора в СЧМ складывается из совокупности его действий. Действие – функциональный элемент деятельности, имеющий сознаваемую человеком цель. Деятельность оператора имеет структуру, т.е. пространственно-временную организацию выполнения алгоритма его деятельности, а также алгоритм – логическую организацию его деятельности, состоящую из совокупности программы действий и воспринимаемой информации, сигналов, образов и т.п. [1, 5].

Совокупность свойств человека-оператора, влияющих на эффективность СЧМ, можно охарактеризовать как человеческий фактор СЧМ. Важнейшее значение имеет качество деятельности и действий человека-оператора, которое характеризуется результатом выполнения деятельности и действий, определяемым по критерию достижения цели, с учётом показателей точности и своевременности. При этом называется работоспособность оператора, т.е. его свойство, определяемое состоянием физиологических и психических функций и характеризующее его способность выполнять определённую деятельность с требуемым качеством и в течение требуемого времени. Влияет также его напряжённость, определяемая интенсивностью физиологических и психических процессов, обеспечивающих выполнение деятельности, в том числе в части темповой и эмоциональной напряжённости.

Человек-оператор не может идеально осуществлять деятельность в системе СЧМ, ему свойственны отказы и ошибки, заключающиеся в невыполнении предписанных действий. Эти свойства оператора можно охарактеризовать как надёжность его деятельности, показывающую способность безотказно и безошибочно выполнять деятельность в течение определённого времени при заданных условиях.

Следует иметь в виду, что человек-оператор имеет значительные ограничения и недостатки в части скорости восприятия и обработки

информации, принятия решений и выполнения действий, работоспособности, напряжённости и надёжности, что приводит к стремлению автоматизировать многие процессы и операции управления техникой. Однако при этом техника усложняется, и человек-оператор не может быть исключён полностью, так как всегда остаются за ним развёртывание, налаживание, контроль, ремонт и т.п. Причём в этой части его функции могут даже усложниться, но требования к скорости, работоспособности, напряжённости и надёжности могут быть смягчены.

Стремление к автоматизации определяется также экономическими факторами, так как привлечение оператора к управлению техникой связано со значительными затратами. Кроме того, автоматизация управления техникой бывает необходимой из-за того, что окружающие условия не соответствуют допустимым для человека. Часто автоматизация обуславливается стремлением уменьшить суммарную массу (например, в авиации).

Деятельность человека в СЧМ требует его профессиональной подготовки – свойства человека-оператора, определяемого совокупностью специальных знаний, умений и навыков, обуславливающих его способность выполнять определённую деятельность с определённым качеством. Обеспечение профессиональной подготовленности оператора требует его обучения и тренировки, которые связаны с затратой средств и времени, а также выдвигают задачи профессионального отбора.

**Конструкция РЭС и СЧМ.** Радиоэлектронные средства и их конструкция входят в СЧМ. Действительно, часто функционирование сложной аппаратуры требует непрерывного участия специального человека-оператора. В других случаях даже при автоматизированном функционировании РЭС профессионально подготовленный человек-оператор может привлекаться для развёртывания, налаживания, контроля и ремонта РЭС. Применительно к РЭС существует также такая категория операторов, как пользователи бытовой радиоаппаратуры, которые практически не имеют профессиональной подготовки. Очень важно то, что эффективность СЧМ, требования к профессиональной подготовленности оператора, его работоспособности и напряжённости, затраты труда и времени на развёртывание, управление функционированием, контроль, ремонт и т.п. в основном определяются конструкцией РЭС. Причём в связи с непрерывным усложнением РЭС и ограничениями, присущими человеку-оператору, обеспечение эффективности СЧМ становится всё более и более трудной задачей. Принадлежность РЭС к СЧМ является основным признаком отличия аппаратуры от элементной базы.

## 1.2. ЧЕЛОВЕК-ОПЕРАТОР И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЭС

В эксплуатации РЭС всегда участвуют операторы. При всём многообразии этого участия общим остаётся то, что они воспринимают, обрабатывают, накапливают информацию, принимают решения и осуществляют действия. Свойства и возможности оператора, в первую очередь информационные, имеют большое значение и должны учитываться при проектировании и эксплуатации, они определяют роль человека в РЭС и влияют на возможности систем.

Информация о сообщении, выдаваемом РЭС, и о состоянии РЭС извлекается с использованием технических средств, обрабатывается в соответствии с принятым уровнем автоматизации и отображается средствами отображения информации (СОИ) – электронно-лучевые и стрелочные индикаторы (указатели), табло, измерительные приборы и т.п. Отображаемую на СОИ информацию оператор воспринимает, обрабатывает и по ней формирует «образ сообщения» или «образ состояния». Образ сравнивается с «эталоном», хранящимся в памяти, и затем принимается решение, т.е. мысленный план действий. Принятое решение реализуется органами движения и речи – в виде воздействия на органы управления и индикации, записи, выдачи речевой команды, включения дополнительных средств, действия по повторению наблюдения или выполнению новых наблюдений и т.п.

Очевидно, что используемые методы и средства отображения информации, требования к её обработке и к органам, используемым при выполнении управляющих действий, должны соответствовать эргономическим возможностям человека, которые характеризуются совокупностью параметров: гигиенических, антропометрических, физиологических, психологических и психофизиологических.

Большое значение проблемы восприятия, обработки и накопления информации имеют также в теории обучения, профессионального отбора, тренировки и т.п. человека-оператора.

Информационное взаимодействие человека и «машины» можно рассматривать, не углубляясь в психические и психофизиологические процессы, на основе информационно-кибернетических понятий, таких как количество, скорость, время хранения, объём информации и алгоритмы её обработки.

**Операции, выполняемые оператором с РЭС.** Конкретизируем теперь операции, выполняемые с РЭС в эксплуатации.

Основные операции, выполняемые оператором при подготовке к применению:

– упаковка, транспортирование к месту установки и применения;

- развёртывание на месте и установка на объекте, в процессе которых оператор осуществляет размещение, крепление и соединение между собой частей РЭС;

- включение и определение работоспособности, пригодности для применения по назначению.

При выполнении этих работ оператор руководствуется документацией. В процессе подготовки РЭС выявляются отказы и необходимость их восстановления и регулировки. Важно, чтобы конструкция РЭС обеспечивала эффективное, простое и безошибочное выполнение операций подготовки к применению. Это связано с ограничениями на массу и габариты частей, на которые разделяется РЭС при транспортировании, размещении на месте и на объекте установки, а также с наличием удобных элементов для переноса и механического крепления, электрического соединения, удобной и понятной маркировки и т.п. В ряде случаев, например для мобильных РЭС, размещаемых на автомобилях, определяющее значение имеет время и сложность развёртывания, которые также в основном определяются конструкцией РЭС, например антенн, устройств питания, соединений между автомобилями.

Комплекс указанных свойств аппаратуры часто объединяют понятием эксплуатационной технологичности.

Применение по назначению предполагает выполнение оператором или автоматически следующих операций:

- включение, настройка, коммутация, контроль правильности функционирования и принятие решения о возможности применения по назначению с уведомлением потребителя информации; изменение режимов, перестройка и переключение (или коммутация) и т.п. при изменении ситуации или получения запроса от потребителя;

- управление извлечением информации, если потребителем является человек или управление передачей информации в суперсистему;

- осуществление вторичной обработки информации (пересчёт координат, дешифрация и т.п.).

Далее будет показано, что часто из-за условий размещения (ракета, ИСЗ и т.п.) или из-за большой скорости поступления и обработки информации выделение сведений и управление должны быть автоматическими.

В ряде случаев (например, носимая аппаратура) естественно всё возлагать на оператора.

Если возможно и то и другое решение, то степень автоматизации должна определяться или экономическими, или тактико-техническими факторами.



В процессе эксплуатации РЭС, как правило, нуждается в техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р).

Оператор при ТО осуществляет проверку работоспособности и технического состояния РЭС. На основании полученной информации, а также информации, содержащейся в документации и накопленной в процессе обучения и опыта, он принимает решения и осуществляет действия по сохранению и восстановлению работоспособности. При контроле оператор использует контрольно-измерительную аппаратуру, в том числе встроенную, предусмотренные точки контроля и т.п. Его действия состоят в диагностировании, регулировке, смене некоторых элементов и т.п.

При ремонте оператор использует информацию из документации по ТО и Р и накопленную им при обучении и из опыта, а также результаты осмотра и диагностирования и т.п.

Обработывая информацию, оператор принимает решения и осуществляет действия по замене износившихся или отказавших элементов, регулировке и т.п. с проведением контроля после ремонта и проверки работоспособности. Большая часть операций, выполняемая оператором при ТО и Р, с трудом поддается автоматизации.

*Типы операторской деятельности.* Из вышеизложенного следует, что взаимодействие «машины» (аппаратуры) и человека предусматривает несколько типов операторской деятельности:

- оператор-манипулятор. Он в основном совершает исполнительные действия, руководствуясь однозначными, предварительно усвоенными инструкциями. Основную роль в его деятельности играют механизмы сенсомоторной регуляции;

- оператор-наблюдатель и контролёр. Это широко распространённый тип оператора при эксплуатации РЭС (управление, включение, извлечение информации, оценка работоспособности аппаратуры и т.п.). Он может осуществлять немедленное и отсроченное обслуживание. Основную роль играют не сенсомоторные действия, а восприятие информации, оперативная память и оперативное мышление;

- оператор-исследователь и диагностик. Этот тип операторской деятельности применительно к РЭС характерен для технического обслуживания и ремонта. При этом сенсомоторная регуляция не играет определяющей роли, в основном используются кратковременная и долговременная память, понятийное и логическое мышление, опыт, отображённый в памяти;

- оператор-руководитель. Такой тип оператора не управляет непосредственно техническими средствами, он управляет людьми.

Конечно, изложенные типы операторской деятельности не изолированы друг от друга. Деятельность реального оператора может совмещать все или часть типов операторской деятельности.

При анализе и оценке операторской деятельности всех типов основное значение имеет выявление специфики задач, которые они решают, определение быстродействия, точность и надёжность решений и действий оператора, установление особенностей их подготовки.

Из вышеизложенного следует, что в своей деятельности оператор при применении РЭС по назначению, развёртывании, техническом обслуживании и ремонте осуществляет восприятие, обработку и накопление информации, принятие решений и осуществление действий. Для правильного конструирования РЭС недостаточно располагать рекомендациями по конструированию РЭС как части СЧМ. Необходимо уяснить, из каких соображений они сформулированы. Для этого следует рассмотреть психологические возможности и свойства человека как основной составной части СЧМ.

### 1.3. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

**Психологические составляющие деятельности.** Операции, выполняемые оператором, связаны со сложной психической деятельностью. К её составляющим относятся:

*Мотивация.* Мотив – это то, что побуждает человека к деятельности. Основой мотива деятельности является потребность человека, объективная необходимость в веществе, энергии и информации.

*Целеполагание.* Это мысленно представляемый результат или образ того, что должно быть достигнуто в результате деятельности.

*Восприятие и обработка информации.* При этом производится восприятие сигналов физических носителей информации (показания приборов, включение сигнальных ламп и пр.) и их обработка. Оператор обычно не воспринимает непосредственно состояние объекта (предмета, явления), но воспринимает имитирующий его образ (отображение), называемый «информационной моделью». Информационная модель должна с требующейся полнотой и точностью отображать состояние объекта и вместе с тем должна быть согласована с возможностями оператора по приёму и обработке информации, его психологическими качествами. На основе информационной модели в сознании оператора формируется образ состояния объекта деятельности, или оперативный образ, или концептуальная модель. Концептуальная модель – «умственная картина» состояния объекта (процесса) и условий.

*Принятие решений.* При этом выдвигаются мысленные варианты решения, происходит их оценка и выбор.

*Выработка плана действий* и осуществление действий по управлению.

*Восприятие результатов действий* (обратная связь).

Из перечисленных психических составляющих деятельности оператора важнейшим, определяющим её результат, является принятие (на основе восприятия и обработки информации) решений, на базе которых осуществляются действия. Как уже отмечалось, очень важно, какое время затрачивается на решения и действия, каковы их точность и надёжность. Это связано с особенностями протекания психических процессов, характерных для деятельности оператора.

**Психические процессы.** При выполнении психологических составляющих деятельности, которые были рассмотрены выше (мотивации, целеполагания, восприятия и обработки информации, принятия решений и осуществления действий), имеют место психические процессы и реализуются следующие психические функции.

*Внимание* – направленность психической деятельности на определённые объекты (предметы) и явления.

*Ощущение* – отражение предметов и явлений материального мира при их непосредственном воздействии на рецепторы, рецепторы совместно с нервными проводящими путями и соответствующими областями мозга образуют анализаторы (зрительные, слуховые и другие органы чувств). Свойства анализаторов описаны в литературе и приведены ниже.

*Восприятие* – отражение в сознании человека предметов и явлений при их воздействии на органы чувств, при котором происходят процессы упорядочения и объединения ощущений в образы.

*Мышление* – процесс обобщённого познания предметов и явлений действительности, связей и отношений, существующих между ними. Мышление – это очень сложный и многогранный психический процесс. Различают различные формы мышления.

*Память* – накопление, организация и закрепление в сознании и памяти образов, впечатлений, закономерностей, понятий, данных, их сохранение, последующее узнавание и воспроизведение того, что было в прошлом опыте индивидуума. Память – очень сложное психическое явление, она играет большую роль в психической деятельности человека. Различают много видов памяти.

*Воображение* – процесс создания образов нового.

*Общение* – способ активного взаимодействия между людьми.

Основное значение в понимании закономерностей информационного взаимодействия человека и «машины», а также принятия решений, в выявлении роли оператора в СЧМ и перспектив изменений этой роли при автоматизации, имеют психические процессы памяти и мышления. Поэтому остановимся на них подробнее.

**Память.** Память включает процессы запоминания (накопления), сохранения, узнавания, забывания и воспроизведения информации. Основные характеристики памяти: объём запоминаемой информации; скорость запоминания; длительность сохранения (или скорость забывания); полнота, точность и готовность воспроизведения.

По длительности хранения различают следующие виды памяти: кратковременная (непосредственная и оперативная) и долговременная. По характеру – словесно-логическая, образная (зрительная, слуховая и т.п.), моторная (двигательная), эмоциональная и др.

Рассмотрим особенности разных видов памяти. Непосредственная память – это как бы слуховая или визуальная «фотография», которая сохраняется очень короткое время. В оперативную память информация поступает после её быстрой обработки, при протекании психических процессов восприятия и оперативного мышления. При этом производится быстрая селекция и реорганизация информации, выделение образов, признаков и т.п. в зависимости от решаемой задачи. В основном в оперативной памяти используются по характеру материала такие её виды, как образная и моторная. Время хранения информации в оперативной памяти до 10...20 с, иногда до минуты, т.е. информация сохраняется на время выполнения оперативного действия, после чего в основном она утрачивается.

Объём оперативной памяти небольшой – 10...50 символов, при речевом общении до 10...13 слов. В некоторых источниках [5] её объём оценивается 150...200 бит.

При соответствующей «установке» и подключении мышления часть информации из кратковременной (оперативной) памяти переходит в долговременную. Долговременная память хранит информацию длительное время (часы – годы). В процессе перехода в долговременную память обычно происходит дальнейшая реорганизация информации, формируются обобщения, закономерности и т.п.

Задача долговременной памяти – это накопление информации (т.е. образов, понятий, закономерностей, символов, количественных данных и т.п.) для обеспечения правильного поведения индивидуума в будущем, на основе полученного опыта, т.е. обеспечение обучения оператора.

Удобно разделить долговременную память на две подобласти: начально-долговременную – на время от нескольких часов до нескольких дней и устойчиво-долговременную память – на время до нескольких месяцев и до нескольких лет. Это деление не является общепринятым [1, 5].

Ряд исследователей полагают, что скорость поступления информации в начально-долговременную память составляет 1...0,5 бит/с, её объём около  $10^5$  бит и время хранения до двух-трёх недель [5].

Во многих случаях, например для оператора-диагностика, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт, необходимо иметь обширные, долго сохраняемые и используемые знания по принципу действия (размещение элементов конструкции).

Операторы-манипуляторы и наблюдатели могут довольствоваться ограниченным объёмом информации в долговременной памяти, но она также должна сохраняться и использоваться ими многие годы и десятилетия. Таким образом, рассмотренная начально-долговременная память не может обеспечить успешную трудовую деятельность и эффективное обучение оператора.

Исследования показывают, что при многократных применениях на практике накопленных знаний, их осмыслений, формировании обобщений, выявлении и использовании связей и т.п. процесс забывания замедляется, знания преобразуются в форму, в которой они могут сохраняться и активно использоваться человеком в течение многих лет, а при определённых условиях и всей его активной жизни. Очевидно, что именно такое накопление информации является основной задачей обучения операторов технического обслуживания и ремонта.

Однако многократное применение, осмысливание, повторение и т.п. приводят к тому, что скорость накопления такой информации в устойчиво-долговременную память оказывается очень незначительной, как указано в ряде работ, она составляет всего 0,05 бит/с, но её объём (количество) практически не имеет ограничений [5].

**Мышление** – высшая ступень человеческого познания. В процессе мышления выполняются умственные операции: *анализ* – мысленное разделение предметов и явлений на части и выделение отдельных свойств; *синтез* – мысленное соединение частей в единое целое; *абстракция* – отвлечение от частных и сохранение в мышлении общих и существенных признаков; *конкретизация* – придание предметного характера абстрактно-обобщённой мысли; *обобщение* – мысленное объединение предметов и явлений по общим и существенным признакам.

Различают следующие формы мышления:

- оперативное – процесс построения последовательности действий в динамическом режиме взаимодействия с предметом и явлением. Оперативное мышление взаимодействует с оперативной памятью и использует информацию, накопленную в долговременной памяти;

- наглядно-действенное (действенное) – осуществляется в форме предметных действий;

- наглядно-образное (образное) – представляется в форме наглядных образов;

- абстрактное – опирается на общие и отвлечённые понятия;
- логическое – опирается на закономерности;
- понятийное – основывается на понятиях и представлениях;
- эвристическое – основывается на психических процессах во-  
ображения.

Ранее понятия, относящиеся к мышлению, были использованы при рассмотрении типов операторской деятельности и при изучении памяти, поэтому более подробно на них останавливаться не будем, имея в виду, что к мышлению придётся вернуться при рассмотрении вопроса о принятии решений. Здесь отметим только, что мышление осуществляется с затратами времени. Количественные характеристики затрат будут рассмотрены далее.

**Принятие решений.** Как было уже отмечено, важнейшим содержанием деятельности оператора является принятие решения и осуществление действий. Это основная цель деятельности оператора. Решения принимаются на основе восприятия и обработки текущей информации с привлечением памяти и мышления, особенности которых уже были рассмотрены. Психические процессы, происходящие при этом, существенно различаются в зависимости от решаемой задачи.

Напомним, что существуют разные типы операторской деятельности, для которых характерны различные по сложности категории задач.

1. *Стереотипные, или простейшие*, задачи характерны для оператора-манипулятора. Они заключаются в принятии простейших решений, например о выключении аппаратуры при возникновении сигнала аварии или о включении пресса после того, как заготовка оказалась в «гнезде» и т.п. При этом основную роль играют механизмы сенсомоторной регуляции и оперативного мышления. Используются кратковременная и долговременная память, и определяющее значение имеет натренированность оператора. Принятие таких решений характеризуется минимальными затратами времени. Однако реакция человека на звук или свет всё же требует 0,1...0,2 с (время сенсомоторной реакции). Автоматы принимают такие решения много быстрее. При решении простейших задач привлечение человека-оператора наименее эффективно из-за сравнительно медленной реакции и утомления, а также длительного обучения. Решение таких задач обычно сравнительно просто автоматизируется.

2. *Мыслительные* задачи предполагают их решения при последовательной реализации определённых мыслительных операций, т.е. когда алгоритм решения известен и усвоен оператором. Процессы принятия решения в мыслительных задачах основываются на оперативном

мышлении и оперативной памяти, а также на использовании правил и способов действий (алгоритмов), накопленных в долговременной памяти. Такие задачи характерны для оператора-наблюдателя. Они встречаются при обнаружении и различении сигналов, оценке помеховой ситуации, интерпретации часто встречающихся результатов, оценке качества изделия при контроле, простых случаях поиска неисправностей и т.п. Время, затрачиваемое на принятие таких решений, существенно больше, чем время сенсомоторной реакции. При решении мыслительных задач обычно производится также обработка информации, что связано с затратами времени. Значительные затраты времени объясняются конечной скоростью протекания психических процессов, которые были рассмотрены ранее. Решение таких задач может быть автоматизировано, но аппаратура усложняется.

3. *Проблемные задачи*: для их решения не удаётся ограничиться использованием только заранее известных правил (алгоритмов). Процесс принятия проблемного решения предполагает выбор стратегии и составление плана действий, сопоставление результатов промежуточных этапов с конечной целью и т.п. При этом используется оперативная память – оперативное мышление, но основную роль играют долговременная память и такие формы мышления, как понятийное и логическое. Такие задачи встречаются при поиске отказов в сложной аппаратуре, её регулировке и развёртывании, при анализе сложных помеховых ситуаций и т.п. [5]. Затраты времени на решение таких задач могут быть очень значительными и определяются сложностью задачи и подготовленностью оператора, наличием в его устойчиво-долговременной памяти необходимых знаний, а также приспособленностью конструкции аппаратуры к контролю и диагностированию. Например, в сложной аппаратуре среднее время поиска отказа может составлять часы и даже дни. Решение проблемных задач наиболее сложно поддаётся автоматизации и в то же время их решение, как уже отмечалось, требует, как правило, высокого уровня подготовки оператора, большого количества знаний, накопленных в его долговременной памяти, и больших затрат времени. Такие задачи свойственны операторам-исследователям и диагностикам. После принятия решения оператор переходит к действиям.

**Управляющие действия человека-оператора.** Любые действия (движение, речевая команда и т.п.) складываются из совокупности элементарных движений и звуков, объединяемых механизмами центральной регуляции.

Наиболее часто управляющие действия имеют характер движений рукой и пальцами (поворот рукоятки, запись символа и т.п.). На их

выполнение оператор затрачивает время, которое составляет примерно 0,1...0,5 с на каждое элементарное движение. Данные о затратах времени на некоторые простые действия приведены в табл. 1.1. Причём точность движения и усилия, затрачиваемые оператором, должны соответствовать его возможностям и антропометрическим характеристикам.

Таким образом, после принятия решения затрачивается ещё значительное время на выполнение действий, что определяется физиологическими и антропометрическими характеристиками человека, которые будут подробнее изложены ниже. Следовательно, деятельность оператора всегда связана с затратами времени или он обладает конечным быстродействием. Автомат может выполнять многие действия значительно быстрее, точнее, без утомления, не требуя соблюдения гигиенических и физиологических требований, часто имея меньшую массу и габариты.

Кроме того, на протекание психических процессов при принятии решений и на выполнение действий большое влияние оказывает индивидуальность оператора, его работа отдельно или в составе группы, утомление, наличие эмоциональных факторов, мотивация, внешние условия и т.п. Поэтому закономерности восприятия и обработки информации, принятия решений и осуществления действий носят вероятностный характер, наблюдаются на практике значительные отклонения и «выбросы».

### 1.1. Характеристики оператора

Операция	Время, с
Распознавание простого «образа» (заранее известного «признака») в «простых» условиях	0,3
Распознавание «образа» в сложных условиях	до 10
Считывание показаний стрелочного прибора	0,5...1,5
Время выполнения простой арифметической, логической и комбинаторной (ИЛИ, И, НЕ) операции на один разряд	0,5...1
Реакция на простой «сигнал», включая элементарное действие (время сенсомоторной реакции)	0,1...0,2
Время выполнения простой элементарной операции: поворот, нажатие кнопки и т.п.	0,5...1
Скорость ручной записи	3 бита (знака)/с



#### **1.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАТОРА В СЧМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЭС И ИЗВЛЕЧЕНИИ СООБЩЕНИЙ**

На основе рассмотрения психических аспектов взаимодействия человека-оператора и «машины», для того чтобы определить его место и роль в РЭС, необходимо оценить задачи автоматизации, полезно сформулировать усреднённые ориентировочные характеристики человека для случая, когда основная задача состоит в принятии оперативных решений и выполнении оперативных действий по управлению или выдаче сообщений. Для обученного и подготовленного оператора эти свойства можно представить в виде таблицы.

Как следует из табл. 1.1, человек осуществляет простую обработку информации и запись значительно медленнее (в миллионы раз), чем это достигнуто в ЭВМ. Однако сложную обработку при распознавании образов с использованием ассоциаций и опыта, т.е. накопленной информации, человек осуществляет значительно совершеннее и быстрее, чем ЭВМ. Поистине уникальны творческие возможности человека, его способность к обработке информации по эвристическим и нетривиальным алгоритмам, генерированию гипотез и идей, его возможности диагностировать, принимать решения и прогнозировать развитие, располагая очень ограниченными сведениями. Он способен работать, используя множество алгоритмов и выполняя неисчислимо количество разнообразных действий. Творческие способности человека-оператора имеют большое значение также для эксплуатации, позволяя подмечать неизвестные ранее закономерности, выявлять новые возможности РЭС, вводить усовершенствования и т.п. Однако в текущей работе с РЭС, осуществляя рутинные восприятия и обработку информации, а также действия, оператор проявляет себя в соответствии с табл. 1.1. Очевидно, что если скорость поступления информации и требуемая скорость её обработки превышает возможности человека, независимо от других условий операции должны выполняться автоматически действующей аппаратурой.

**Характеристики человека-оператора в СЧМ при техническом обслуживании, диагностике, первоначальном вводе в действие, развёртывании, ремонте и т.п.** Для случая, когда требуется решение сложных задач, при необходимости обработки большого количества информации по сложным и заранее неизвестным алгоритмам с использованием многошаговых процедур, что характерно для технического обслуживания, ремонта, начального ввода в действие, необходима специальная подготовка, которая в основном заключается в обучении, в процессе которого оператор накапливает в устойчиво-долговремен-

ной памяти сведения о режимах, соединениях, сигналах, показаниях приборов в аппаратуре. При этом главная роль отводится мышлению и его взаимодействию с памятью. Это имеет большое значение для ремонтпригодности. Аналогичный процесс происходит при обучении оператора по эксплуатационной документации. Характеристики оператора при обучении отображены в табл. 1.2.

Как следует из табл. 1.2, человек значительно медленнее накапливает информацию, чем она может вводиться в память ЭВМ. Но её накопление связано с творческим процессом, обработкой, реорганизацией и отбором.

**Общая характеристика оператора.** Характеристики, приведённые в табл. 1.1 и 1.2, являются усреднёнными; они справедливы для нормальных рабочих условий, когда человек не утомлён, здоров, нет отвлекающих факторов и внутренних эмоциональных переживаний, внешние гигиенические и физиологические условия (температура, акустические и механические воздействия, освещение и т.п.) соответствуют нормам. Эти условия имеют большое практическое значение, так как создание необходимой для организма обстановки приводит к тому, что эквивалентная масса человека, рассматриваемого в совокупности с РЭС, в зависимости от особенностей внешних условий, продолжительности его работы, наличия сменности операторов из-за их утомления, сна, питания и т.п., может в 5 – 10 раз превышать его массу.

## 1.2. Характеристики оператора при обучении

Характеристики памяти	Кратковременная память (восприятие, оперативная память)	Память	
		начально-долговременная	устойчиво-долговременная
Скорость поступления информации, бит/с	10...15	0,5	0,05
Время хранения	20 с	Дни, недели	Годы, десятилетия
Накапливаемое количество информации, бит	150	$10^4 \dots 10^5$	$10^8 \dots 10^{10}$

Кроме того, оператор является «дорогим устройством», приводит к большим эксплуатационным расходам, так как требует вознаграждения за работу, реальное содержание которого должно возрастать в связи с повышением уровня жизни общества и необходимостью привлечения операторов всё более высокой квалификации. Большие затраты связаны также с обучением оператора.

При эмоциональном напряжении и стрессах информационные и исполнительные возможности человека оказываются другими. Как видно из изложенного, человек является требовательным к конструкции и условиям, «дорогим», медленно действующим и длительно подготавливаемым «устройством» обработки и накопления информации, принятия решений и осуществления действий.

По изложенным причинам вопрос о роли человека в управлении РЭС является сложным, требует при конструировании правильного учёта его свойств и возможностей, максимального облегчения его действий при применении по назначению, техническом обслуживании, ремонте, развёртывании и транспортировке. Имеется явно выраженная тенденция к автоматизации применения по назначению, контроля, технического обслуживания, но она обычно не устраняет человека, а сохраняет за ним наиболее сложные и ответственные функции, что требует от него высокой квалификации, длительной подготовки и чувства ответственности. При этом он выступает как высшее звено в АСУ РЭС.

## **1.5. ЧЕЛОВЕК-ОПЕРАТОР И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РЭС ПО НАЗНАЧЕНИЮ**

**Автоматизация управления включением и настройкой.** При выполнении операций включения, перестройки, коммутации и тому подобного человеком аппаратура получается наиболее простой, так как достаточно предусмотреть соответствующие органы управления, а также измерительные приборы и индикаторы. Если функции выполняются автоматически, например автоматическое включение и установка рабочей частоты по закодированной команде, автоматическая подстройка контуров и антенны с использованием систем экстремального управления и т.п., то аппаратура существенно усложняется. Определение сложности аппаратуры, заменяющей человека (например, одного оператора), затрудняется тем, что один человек может управлять очень сложной аппаратурой, если на её включение, перенастройку и другие операции может быть отведено много времени.

Число операций управления вводом в действие тем больше, чем сложнее аппаратура. В среднем можно считать, что одна операция приходится на 5...20 каскадов аналоговой аппаратуры и на несколько тысяч логических элементов дискретной (цифровой). Для сложной аппаратуры общее число операций по введению в действие без автоматизации получается большим, и оператор должен затрачивать значительное время на их выполнение. Напомним, что человек может выполнять одно-два простейших действия в секунду. В среднем каждая операция состоит из пяти простейших действий, т.е. требует 2...5 с. За одну минуту оператор может выполнить 10...15 операций (см. табл. 1.2).

Автоматизация и дистанционное управление введением в действие и перестройкой аппаратуры вызывают её усложнение примерно в 1,5 – 2 раза. Автоматизация, как правило, значительно увеличивает скорость введения аппаратуры в действие и перенастройки. В автоматизированных системах управления РЭС (АСУ РЭС) оставляет за человеком несколько (примерно 2–3) операций, так что при этом затраты времени оператора будут незначительны.

**Автоматизация управления извлечением информации.** Операции выделения информации также разнообразны. В системах передачи команд, проводной связи, радиосвязи и телеметрии они состоят в приёме, декодировании и записи. Человек может выполнять эти функции только при очень малой скорости поступления информации, как это объяснено выше. Аппаратура, автоматически выполняющая эти функции, может содержать 10...30 аналоговых каскадов и сложных элементов, что позволяет без особых трудностей автоматизировать эти операции и значительно увеличить скорости поступления и запоминания информации.

В системах радиолокации, радионавигации и радиоуправления рассматриваемые функции включают в себя:

- обнаружение сигнала или поиск (по параметру, несущему информацию, например поиск сигнала по частоте, задержке, направлению прихода);
- измерение параметров сигнала или слежение за ними для получения информации о скорости и координатах, выполнение вычислений, т.е. преобразование или вторичная обработка информации.

Если скорость поступления информации превышает 5...10 бит/с или требуется её сложная обработка за короткое время (менее 0,1...0,3 с), то в составе системы нужно иметь блоки автоматического выделения и обработки информации.

Слежение за параметрами сигнала сводится обычно к выявлению рассогласования, вызываемого отклонением управляемого объекта и исполнительного органа от состояния, задаваемого параметром сигнала, и к осуществлению действий с исполнительным органом, обеспечивающим устранение рассогласования. Такая система, по сути дела, является замкнутой системой управления, и если она действует с участием человека, то он выполняет в ней функции одного из звеньев, включённых в замкнутый контур. При этом, как это следует из изложенного выше, человек осуществляет оперативное управление [1, 3].

При достаточной тренировке действия оператора приобретают определённую и его свойства могут быть «описаны» передаточной функцией

$$K_q(p) = [K_q e - p\tau_q - (P_q p + 1)] / [(T_{2q} p + 1) (T_{1q} p + 1)],$$

где  $p$  – символ Лапласа.

Другими словами, человек эквивалентен «звену», которое имеет задержку  $\tau_q = 0,1 \dots 0,5$  с, инерционности  $T_{2q} = 0,2 \dots 0,5$  с и  $T_{1q} = 0,05 \dots 0,1$  с. Поскольку оператор способен реагировать не только на отклонение (рассогласование), но и на скорость её изменения или производную, то в числителе содержится член с параметром  $P_q$ .

Очевидно, что рассмотренные функции человека могут выполняться автоматически аппаратурой.

**Автоматизация управления вторичной обработкой информации.** Операции вторичной обработки информации достаточно разнообразны. Примером вторичной обработки может служить использование результатов измерения гиперболических координат в радионавигационной системе для вычисления с высокой точностью географических координат корабля.

Аппаратура, выполняющая такие расчёты, т.е. ЭВМ, должна содержать большое количество логических элементов, причём результаты будут получены значительно быстрее, чем при их выполнении человеком. Изложенное выше обобщено в табл. 1.3, откуда следует, что во многих случаях необходимо или полезно автоматизировать получение и обработку информации в РЭС, что приводит к конструированию соответствующих устройств, усложняет конструкцию РЭС, но даёт значительный эффект. В связи с этим автоматизация РЭС приобретает всё более широкое применение, вплоть до создания АСУ РЭС.

### 1.3. Операции с аппаратурой и её усложнение

Операции, выполняемые с аппаратурой	Число дополнительных каскадов и сложных элементов при автоматизации. Аналоговая аппаратура	Число дополнительных логических элементов. Цифровая аппаратура	Дополнительные преимущества, обеспечиваемые автоматизацией
Введение в действие ЭА, установление заданного режима	50	$10^3$	Высокая скорость введения в действие. Облегчение обеспечения дистанционного управления
Запись, измерение параметра, слежение	20	$10^3$	Высокое быстродействие и точность. Неограниченная продолжительность действия
Вторичная обработка информации, расчёты, преобразования	$>(2...3)10^2$	$>10^5$	Высокая скорость обработки информации

### 1.6. СВОЙСТВА АНАЛИЗАТОРОВ И АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАТОРА

**Анализаторы и антропометрические характеристики.** Приём и первичную обработку информации о состоянии РЭС, внешней среды и самого оператора обеспечивают анализаторы, состоящие из чувствительного органа (рецептора), определённого участка головного мозга, прямых и обратных нервных связей между ними. Каждый из анализаторов описывает совокупность параметров. Поскольку оператор РЭС в большинстве случаев работает в комфортных условиях, то для конструирования РЭС представляют интерес не предельные, а обеспечивающие устойчивую и надёжную работу значения параметров. Кроме зрительного и слухового анализаторов, воспринимающих более 90% поступающей информации, обычно учитывают группу анализаторов,

связанных с рецепторами кожи, а также кинестатический (рецепторы в мышцах и сухожилиях) и вестибулярный анализаторы.

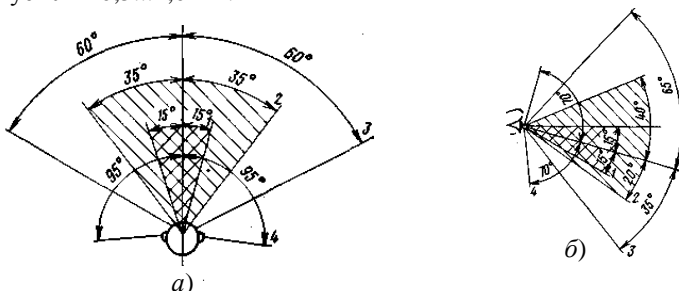
Обобщённые размеры тела человека и его частей называют антропометрическими характеристиками. К ним также отнесены пространственные, скоростные и силовые показатели управляющих движений оператора.

Антропометрические характеристики у отдельных индивидуумов могут значительно отличаться, однако при разработке изделий исходят из обобщённых данных оператора.

**Зрительный анализатор.** Рассмотрим основные его характеристики применительно к работе оператора РЭС. На рисунке 1.1 представлены пространственные характеристики глаза, в первую очередь определяющие параметры информационного поля – пространства, в котором размещены СОИ. Детальное восприятие зрительных образов возможно в очень узкой центральной части поля зрения (по  $3^\circ$  от оси зрения во все стороны). В зоне удобного наблюдения 2, в которой распознают взаимное расположение или форму объектов, дополнительно выделяют зону оптимального обзора 1 размером по  $15^\circ$  от оси зрения во все стороны.

Зона 3 соответствует углам зрения оператора при повороте головы, зона 4 – головы и глаза (ГОСТ 23000–78).

Остроту зрения определяет угол  $\varphi = \Delta / l$ , под которым две удалённые на расстояние  $l$  от глаза точки с зазором между ними  $\Delta$  видны как раздельные. За условную единицу остроты зрения принят угол зрения, равный одной угловой минуте ( $1'$ ), но при разработке РЭС обычно исходят из минимального угла зрения оператора 10...20, что при обычном расстоянии от глаза до передней панели РЭС  $l = 1$  м соответствует  $L = 0,5...1,0$  мм.



**Рис. 1.1.** Углы и зоны зрения глаза в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях:

- 1 – зона оптимального зрения; 2 – зона удобного зрения;
- 3 – с поворотом головы; 4 – с поворотом головы и глаза

Дифференциальный порог характеризует способность глаза воспринимать различия в яркости. При обычных условиях работы оператор может уверенно дифференцировать всего лишь около десяти градаций.

Возможность различать цвета резко увеличивает объём получаемой оператором информации. При средних размерах объектов, освещённости и других условиях оператор может уверенно распознавать и классифицировать всего около десяти оттенков. При размерах, меньших 10, глаз не замечает хроматичности излучения, и цвета плохо различимы на периферии поля зрения.

В инженерной психологии возможные сочетания цветов ранжированы в порядке убывания цветового контраста: синий на белом, чёрный на жёлтом (и наоборот), чёрный на белом и т.д. Цветовой контраст следует учитывать при окраске внешних поверхностей РЭС, оформлении передних панелей, а также при выделении надписей.

Ахроматический интервал представляет собой разницу в пороговых яркостях, при которых объект воспринимается вообще и распознаётся его цвет. Минимальный ахроматический интервал у красного цвета, что, несмотря на плохую чувствительность глаза в той области, является одной из причин использования красного цвета для сигналов опасности или запрета.

Зрительные ощущения имеют скрытый (латентный) период от предъявления предмета до появления ощущения и период сохранения зрительного ощущения при устранении предмета, равный 0,1...0,2 с. Это приводит, во-первых, к ограничению скоростных возможностей оператора, во-вторых, к невозможности различать быстро следующие друг с другом световые импульсы. Для надёжной фиксации мельканий частоту следования импульсов выбирают не выше 10 Гц.

**Слуховой анализатор** принимает сигналы в диапазоне 16... 20 000 Гц. Важнейшими характеристиками звуковых сигналов являются частота и громкость – субъективное впечатление от воздействия звуковых колебаний на органы слуха, зависящее прежде всего от звукового давления. В качестве порогового давления принято  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па, а вызывающему неприятные ощущения шуму вблизи работающего авиационного двигателя соответствует уровень 130 дБ.

Слуховой анализатор обладает дифференциальной способностью к восприятию изменений громкости и высоты тонов (частоты). Хотя число градаций в обоих случаях велико, для уверенной и быстрой классификации при работе оператора используют не более десяти значений.

Благодаря восприятию звука двумя ушами, возможна пространственная локализация источника звука. При худшей, чем у зрительной системы, разрешающей способности слуховая система обладает уни-



кальной возможностью локализации положения источника, находящегося в любой точке сферы, без поворота головы или корпуса.

Аварийные сигналы, требующие незамедлительной реакции оператора независимо от его местонахождения и деятельности, должны иметь высокую интенсивность, чтобы подавить другие сигналы. Наоборот, уведомляющие звуковые сигналы должны оказывать мягкое воздействие, например сигнал вызова с помощью зуммера во внутренних переговорных устройствах. Звуковые сигналы обычно дублируют оптическими.

Латентный период слухового анализатора примерно такой же, как у зрительного (0,1...0,2 с).

**Кожный и другие анализаторы.** Кожный анализатор обеспечивает восприятие прикосновения, боли, тепла и холода, при этом чувствительность к тем или иным воздействиям резко отличается на разных участках кожи. Наибольший интерес с точки зрения оператора РЭС представляет чувствительность к прикосновению (тактильная). Операторы широко используют осязание при локализации места расположения и опознавания формы ОУ, особенно в случае их расположения на периферии информационного поля или при недостаточной освещённости. Другие кожные анализаторы в работе оператора РЭС играют вспомогательную роль, например ощупывание греющихся элементов.

**Основные антропометрические характеристики оператора.** В работах по инженерной психологии приведены подробные данные по средним размерам тела человека и разбросу их значений. Динамические антропометрические характеристики задают с помощью углов поворотов отдельных частей тела, а их использование совместно со статическими позволяет строить зоны досягаемости рук (рис. 1.2).

Зоны досягаемости определяют моторное поле – пространство, в котором размещают ОУ. Моторное поле разделяют на три зоны: оптимальной досягаемости, соответствующей движениям рук с опёртыми локтевыми суставами; лёгкой досягаемости – расслабленными руками при их движении в локтевых суставах.

При разработке конструкции, нахождении оптимальной рабочей позы оператора прибегают к соматическому анализу, позволяющему найти параметры моторного и информационного полей для производных рабочих поз, сочетая, например, зоны видимости глаза (рис. 1.1) и зоны досягаемости рук (рис. 1.2) с различными допустимыми поворотами рук или корпуса. Антропометрические характеристики определяют максимальные размеры РЭС, места расположения ОУ, соединителей и других внешних элементов, например оперативные органы управления следует располагать в удобной зоне (рис. 1.3, б, в, г, е).

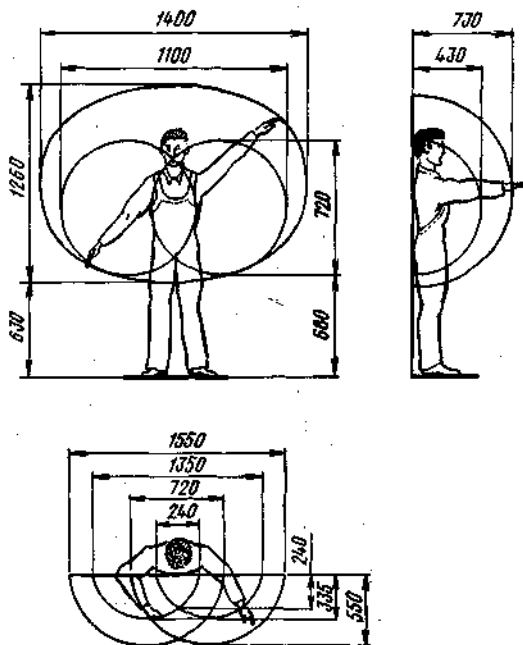


Рис. 1.2. Зоны досягаемости рук

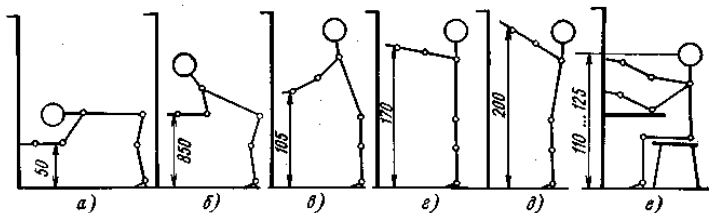


Рис. 1.3. Рабочие зоны при работе оператора  
(размеры даны в дециметрах):

*а* – нижняя неудобная; *б* – нижняя менее удобная; *в* – удобная;  
*г* – верхняя менее удобная; *д* – верхняя неудобная; *е* – для работы сидя

В процессе трудовой деятельности оператор выполняет не только операции по подготовке и применению РЭС по назначению, но и осуществляет техническое обслуживание и ремонт. В этом случае исходят не из оптимальных, а допустимых антропометрических характеристик и поз, определяющих минимальные размеры рабочих пространств при выполнении тех или иных работ (рис. 1.4). На размеры проёмов суще-

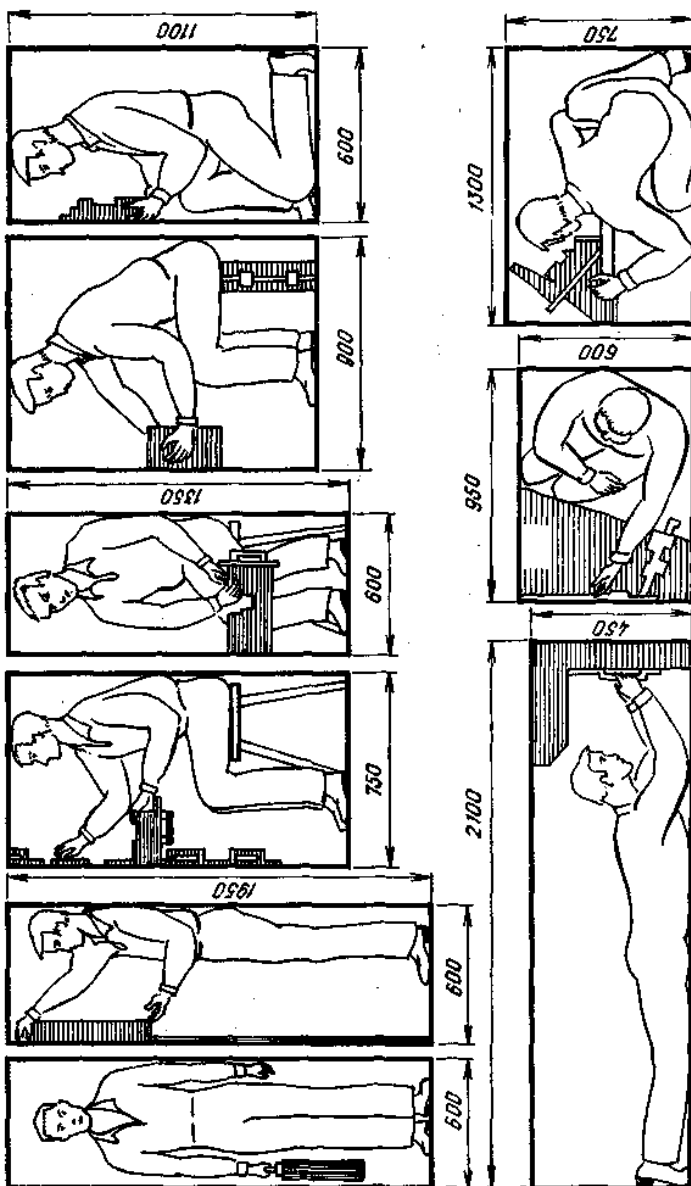


Рис 1.4. Минимальные размеры зон при технологическом обслуживании РЭС

ственное влияние оказывает одежда оператора, например, для обеспечения доступа рукой до плеча в лёгкой одежде необходим диаметр отверстия 130 мм, а в зимней – 220 мм.

**Характеристики управляющих движений.** Кроме пространственных, управляющие воздействия имеют ещё две группы характеристик: временные (скоростные) и силовые.

Общее время выполнения движения разделяют на латентный период, представляющий собой время от момента появления сигнала до начала выполнения управляющих движений, и длительность моторного действия – фактическое время выполнения движения. Минимальное время (0,17 с) оператор затрачивает на движения, выполняемые пальцами рук. Если это время принять за единицу, то для выполнения движений кистью и пальцами необходимы две единицы времени; предплечьем, кистью и пальцами – три; рукой в плечевом суставе – четыре; на наклон и подъём корпуса – семнадцать.

Силовые характеристики определяют усилия, развиваемые при выполнении движений. Сила различных мышечных групп руки колеблется в широких пределах.

Важной характеристикой, влияющей на разбиение конструкции РЭС на части, является способность к поднятию и перемещению груза. Нагрузку до 6 кг считают лёгкой, 6...15 кг – умеренной, 15...30 кг – средней, 30...50 кг – тяжёлой. Это разделение нагрузок введено для удобных и компактных грузов, расположенных вблизи оператора, а для груза, размещённого на расстоянии вытянутых рук, нормы, естественно, иные. Желательно, чтобы масса груза, размещённого вблизи пола, не превышала 30 кг, а поднимаемого до уровня груди – 10...15 кг. Способность к подъёму и перемещению тяжестей имеет важное значение при учёте требований к транспортировке и развёртыванию РЭС.

## **1.7. ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ**

**Критерии выбора СОИ и ОУ.** При выборе СОИ и ОУ следует учитывать, что объём информации должен быть необходимым, так как увеличение объёма ведёт к снижению надёжности.

Основные технико-экономические показатели СОИ:

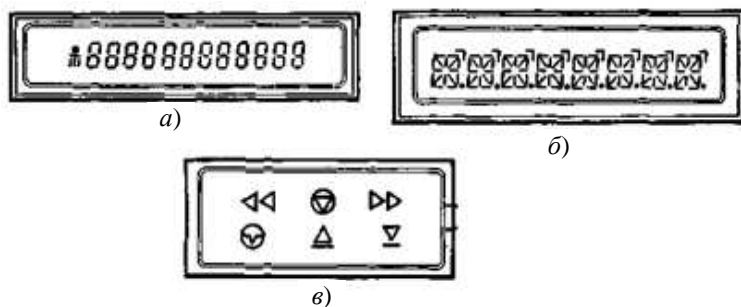
- *функциональные* – функциональные возможности, размеры символов, яркость, многоцветность, контрастность, угол обзора;
- *электрические* – потребляемая мощность, совместимость с ИМС, сложность автономных цепей питания и управления;
- *конструктивные* – устойчивость к внешним воздействиям, показатели надёжности, конструктивное оформление и удобство закрепления.

Все ОУ состоят из узла переключения или регулировки и приводного устройства, передающего усилия оператора. По виду приводного устройства ОУ разделяют на кнопки (клавиши), тумблеры, поворотные переключатели и регуляторы. Различают: функциональные показатели ОУ – характер управляющих движений и степень их соответствия стереотипам движения, управляющие усилия; электрические – число переключаемых цепей, токи, диапазон частот; конструктивные – удобство установки, габаритные размеры, конструкция приводного устройства и его эстетическое оформление.

Во всех случаях при выборе СОИ и ОУ следует учитывать их стоимость, соответствие принципам построения РЭС (аналоговый или цифровой) и перспективность.

**Знакосинтезирующие индикаторы.** В матричных индикаторах со знаковосинтезированием любой допустимый символ формируют из постоянного набора элементов (сегментов), высвечиваемых в тех или иных сочетаниях. Этот способ построения цифр или букв алфавита хорошо сочетается с дискретным комбинаторным управлением, легко реализуемым в РЭС на цифровых микросхемах. Поскольку сложность СОИ и управляющих устройств зависит от числа сегментов, то естественно стремление к их уменьшению, однако из рис. 1.5, *а* видно, что семисегментные индикаторы даже для изображения цифр дают начертания символов, значительно отличающиеся от стандартных шрифтовых. Семнадцатисегментный индикатор (рис. 1.5, *б*) позволяет воспроизводить цифры, буквы латинского и русского алфавитов.

По физическому принципу работы СОИ со знаковосинтезированием делят на электролюминесцентные, вакуумные люминисцентные, светоизлучающие диодные и жидкокристаллические.



**Рис 1.5. Основные типы знаковосинтезирующих информационных панелей:**

*а* – семисегментный индикатор; *б* – семнадцатисегментный индикатор;

*в* – с сегментами специальной формы

*Электролюминесцентные индикаторы* имеют плоскую конструкцию, дающую большой угол обзора, высокую механическую прочность, низкую стоимость. Они многоцветны, что обеспечивает дополнительное цветовое кодирование информации. Основные недостатки: невысокая яркость и её уменьшение в несколько раз в течение первой тысячи часов эксплуатации; необходимость специальных цепей питания и управления, не согласующихся с цепями питания ИМС.

*Вакуумные люминесцентные индикаторы* обладают высокой яркостью, возможностью получения символов нескольких цветов на одном индикаторе, малой потребляемой мощностью, способностью переключения с помощью обычных цифровых ИМС, но низкой механической прочностью.

*У светодиодных индикаторов* высокая механическая прочность, совместимые с ИМС рабочие напряжения, большой срок службы. Основной недостаток – малые размеры светящихся поверхностей.

*У жидкокристаллических индикаторов* высокие значения контрастности (до 100:1) получают при ярком освещении, например на открытом воздухе. Индикаторы имеют плоскую конструкцию, малую потребляемую мощность, невысокую стоимость, совместимы с ИМС. Недостатки: ограниченный температурный диапазон, малое быстродействие, необходимость подсветки при низких уровнях освещённости.

Все типы индикаторов выпускают как в одноразрядном, так и многоразрядном исполнениях, что упрощает их крепление на передней панели, улучшает внешний вид прибора.

**Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ)** позволяют представить информацию в виде наиболее быстро опознаваемых оператором наглядных моделей – изображений, например обстановки на индикаторе РЛС, осциллограмм сигналов и пр.

При конструировании РЭС следует принять во внимание, что ЭЛТ обычно являются наиболее сложными и габаритными изделиями, требующими дополнительного введения значительных по объёму и массе узлов, например высоковольтных, электромагнитного экранирования трубки и т.п.

**Плоские матричные экраны** фактически представляют собой знаковосинтезирующие индикаторы с точечными сегментами. Газоразрядные индикаторные панели переменного тока содержат достаточно большое количество элементов (1024×1024), имеют хорошую разрешающую способность (5...10 элементов на сантиметр), могут быть красного, жёлтого, зелёного и синего цветов свечения. Несмотря на относительно небольшие габариты, плоские матричные индикаторы представляют собой довольно сложные изделия, например индикатор ИВ Л Г1-128/128 с матрицей 128×128 точек при размерах информации

онного поля 127×127 мм имеет 579 выводов. В настоящее время созданы электролюминесцентные матричные вакуумные и безвакуумные экраны.

**Светоизлучающие элементы и световые табло.** Для подачи предупредительных или аварийных сигналов, индикации двух-трёх состояний РЭС применяют светодиоды, малогабаритные приборные лампы накаливания и сигнальные газосветные лампочки.

Приборные лампы накаливания и газосветные лампочки являются ненадёжными элементами (срок службы от 10 до 1000 ч), поэтому их необходимо располагать в легкодоступных местах, устанавливая в легкоразъёмные держатели – патроны, которые закрывают полупрозрачными колпаками разных цветов.

Световые табло применяют в тех случаях, когда необходимо сообщить оператору дополнительную текстовую информацию, например указания к действию, или индексировать относительно большое число состояний. Световое табло состоит из арматуры, элементов крепления, транспарантов с нанесёнными надписями и лампочек подсвечивания. При разработке конструкции табло необходимо предусмотреть возможность быстрой замены лампочек. Значительно удобнее серийно выпускаемые табло, фактически представляющие собой знаковосинтезирующие индикаторы с сегментами специальной формы (рис. 1.5, в).

**Стрелочные и шкальные индикаторы.** Цифровые индикаторы неудобны при быстрой оценке значений параметров и скорости их изменения, что оправдывает применение стрелочных индикаторов в режиме слежения, при настройке и регулировании.

Шкалы бывают круглыми, горизонтальными или вертикальными линейными. В большинстве случаев для настройки и слежения предпочтительно движение стрелки при неподвижной шкале (рис. 1.6, а). Шкалы типа «открытое окно» (рис. 1.6, б), расположенные за панелью прибора, предпочтительны при широком диапазоне измерений, быстрым считывании точных значений, однако такие шкалы усложняют конструкцию передней панели. Подвижные шкалы с неподвижной стрелкой (точкой отсчёта) получают при нанесении делений на приводные элементы ОУ, лимбы настройки (рис. 1.6, в).

Для уверенного и быстрого распознавания показаний индикатора, расстояния между ними и надписи выполняют относительно крупными (рис. 1.6, г), чтобы при расстоянии до глаза оператора около 1 м обеспечить достаточный (не менее 20) угол зрения между соседними рисками.

Количество делений на шкале не должно превышать минимально необходимого для требуемой точности. При оценке попадания контро-

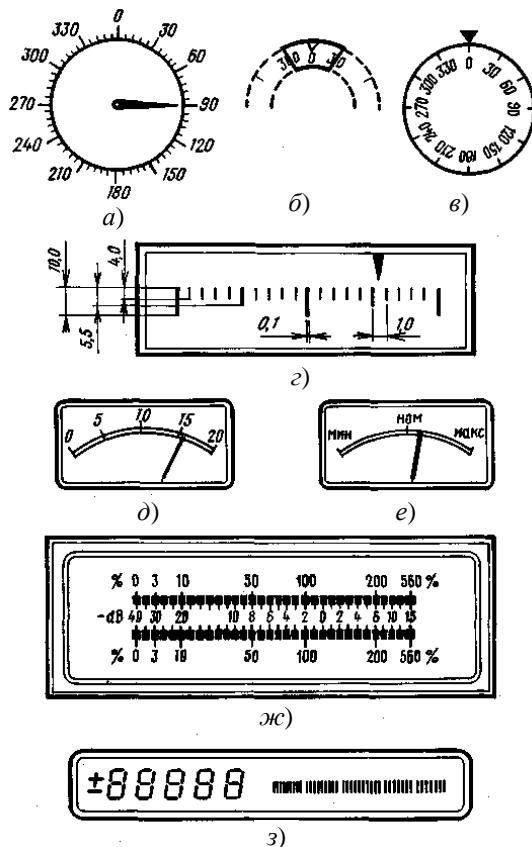


Рис. 1.6. Шкальные и стрелочные индикаторы

лируемого параметра в допустимый интервал значений предпочтительнее градуировка по рис. 1.6, е, чем по рис. 1.6, д поскольку после отвлечения внимания не нужно вспоминать положение стрелки.

При недостаточной освещённости рабочего места, например при совместной работе с ЭЛТ, используют подсветку шкал с помощью приборных лампочек накаливания, осуществляя её прямым или отражённым светом. При организации подсветки глаза оператора необходимо защитить от прямого попадания света.

Электромеханические стрелочные индикаторы при цифровой обработке информации, типичной для современных РЭС, требуют введения дополнительных цифро-аналоговых преобразователей. Эти противоречия устранены в электронных дискретно-аналоговых шкальных



индикаторах, фактически представляющих собой знаковосинтезирующие индикаторы, в которых сегменты вытянуты в виде рисок линейной шкалы (рис. 1.6, ж, з). Комбинированные индикаторы сочетают преимущества цифрового и аналогового способов представления информации.

**Кнопочное и сенсорное управления.** В современных РЭС для управления широко используют кнопочные переключатели, позволяющие осуществлять сложную коммутацию электрических цепей с помощью наиболее быстро и легко выполняемых управляющих движений – нажима пальцем руки. Кнопочные переключатели, объединённые в группы, называют клавишными панелями или клавиатурами.

В качестве переключающих узлов в маломощных низкочастотных цепях используют стандартные микропереключатели. Головки кнопок могут иметь квадратную, прямоугольную или круглую формы (рис. 1.7), причём для часто используемых кнопок круглая форма не рекомендуется.

Для надёжной установки пальца рабочая поверхность кнопок должна иметь небольшую вогнутость.

Для уменьшения утомляемости при частых переключениях усилие нажима кнопки должно быть менее 0,5 Н, однако малые усилия и малый рабочий ход не позволяют использовать кинестетический анализатор и чётко индицировать факт переключения. У наиболее распространённых кнопок под указательный палец усилие нажима 1...2 Н, а рабочий ход – 2...3 мм.

В кнопках без фиксации переключение определяют по возрастанию усилия нажимающего пальца и лёгкому щелчку, определяемому на слух. Удобны кнопки с подсветкой.

Наряду с механически переключаемыми кнопками широкое распространение получило так называемое сенсорное управление, использующее для переключения эффект изменения ёмкости электрон-

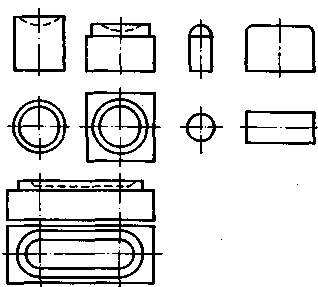


Рис. 1.7. Формы приводных элементов кнопочных переключателей

ной схемы при приложении пальца оператора к специально выделенному месту. Из-за отсутствия механических перемещений для фиксации переключений необходима визуальная индикация состояния сенсорного переключателя с помощью СООИ.

**Тумблеры.** Переключатели этого типа применяют в случаях, требующих двух-трёх дискретных состояний переключателя, чётко контролируемых зрительно или наощупь. При переводе тумблеров из одного положения в другое должен ощущаться перепад значений упругого сопротивления, а при переключении – характерный щелчок. У тумблеров широкого применения длина приводного элемента 10...25 мм при диаметре 3...8 мм.

При наличии на панели большого числа тумблеров их необходимо кодировать формой приводного элемента, размерами и цветом. Некоторые возможные формы приводных элементов приведены на рис. 1.8.

**Поворотные переключатели.** Органы управления этого вида предназначены для многопозиционного последовательного переключения цепей или ступенчатого регулирования параметров РЭС.

Для обеспечения хорошего сцепления с рукой на ОУ располагают крупные зубцы и впадины, равномерно распределённые по окружности. По мере роста сопротивления перемещения на оси переключателя диаметр и высоту ручек увеличивают так, чтобы обеспечить приемлемые усилия оператора (1...2 Н). Для этих целей используют поворотные переключатели типа «клювик».

Основным недостатком поворотных переключателей является необходимость последовательного выполнения всех промежуточных переключений, что при большой разнице начальной и конечной позиций (до 20) требует большого числа дополнительных управляющих действий. Это увеличивает время управления и ускоряет износ переключающего узла, все контакты которого работают при любом переключении.

В современных РЭС поворотные переключатели успешно вытесняют кнопочное управление, свободное от отмеченных недостатков.

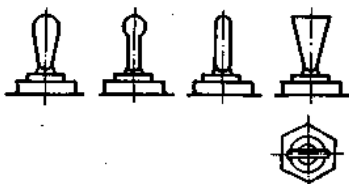


Рис 1.8. Приводные элементы тумблеров

## 1.8. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАНЕЛЕЙ И ПУЛЬТОВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

**Организация рабочего поля оператора.** Часть пространства, где сосредоточены СОИ и ОУ в объёме, достаточном для функционирования системы, называют рабочим полем оператора. В зависимости от сложности конструктивного исполнения и расположения РЭС на объекте установки возможны следующие варианты пространственной организации рабочего поля оператора:

- на передних панелях отдельных РЭС, разнесённых друг от друга в пространстве (рис. 1.9, а);
- на передних панелях отдельных РЭС, сгруппированных в стеллажах, шкафах или на рабочих столах операторов (рис. 1.9, б);
- встраиваемые в стойки информационных панелей, на которые выведены оперативные СОИ и ОУ блоков (рис. 1.9, в);
- на панелях пультов отображения информации и управления, специально вводимых в состав сложных комплексов (рис. 1.9, г).

В пультах сосредоточены все технические средства, необходимые для оперативного управления РЭС. С точки зрения работы оператора наименее удобен первый вариант рабочего поля, наиболее – последний (пульт), однако введение пульта усложняет и удорожает конструкцию системы, требует дополнительных кабельных и жгутовых соединений, а зачастую – введения систем дистанционного управления и телеметрии.

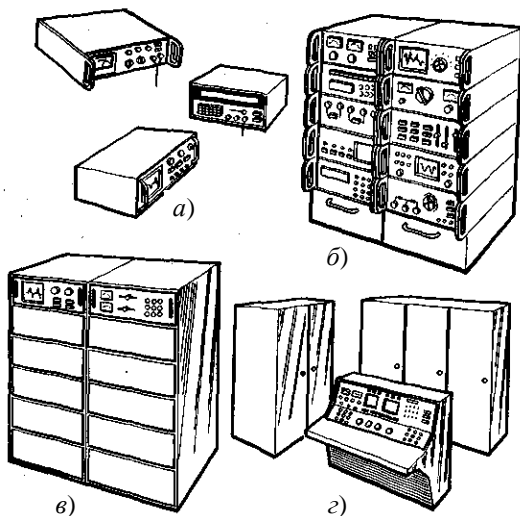


Рис 1.9. Пространственная организация рабочего поля оператора

Пространственная организация рабочего поля тесно связана с рабочей позой оператора. Стандартными являются три рабочих положения: сидя, стоя и сидя – стоя (ГОСТ 23000–78).

Работа сидя мало утомляет мышцы, обеспечивает выполнение точных движений, поэтому предпочтительна при организации рабочих мест, требующих непрерывного присутствия оператора. Работа сидя–стоя увеличивает рабочее поле оператора и даёт возможность перераспределять статическую нагрузку мышц при смене рабочих положений. Такой режим используют в случае достаточно компактного размещения РЭС, не требующих непрерывного контроля и управления, что позволяет обслуживать их, переходя от одного РЭС к другому. При децентрализованном размещении и большом пространственном разнесении РЭС возможна работа только стоя, дающая большую физическую нагрузку на оператора.

**Принципы размещения СОИ и ОУ.** Сформулируем принципы инженерной психологии, определяющие размещение СОИ и ОУ. Минимизация числа СОИ и ОУ, разгружая оператора, повышает скорость управления и одновременно улучшает экономические показатели конструкции РЭС.

По принципу экономии движений каждое последующее движение должно быть естественным продолжением предыдущего, а его завершение – началом следующего. Предпочтительны непрерывные, плавные, круговые движения. При выборе траекторий необходимо учитывать привычность движений, обеспечивающую автоматизм их выполнения.

По принципу значимости в зонах оптимального обзора и управления в первую очередь необходимо размещать наиболее важные, пусть даже редко используемые элементы, например индикаторы аварийных ситуаций. При одинаковой важности по принципу частности предпочтительны более часто используемые элементы.

В соответствии с принципом структурного соответствия целесообразно близкое пространственное расположение СОИ и ОУ, тесно связанных между собой.

Принцип ограничения длин массивов группируемых элементов, базирующийся на психологических закономерностях восприятия зрительной информации, предполагает разбиение больших массивов на группы по 3 или 5 (иногда 7) элементов в каждой, так как в них оператор может найти нужный элемент без пересчёта.

Для повышения эффективности и надёжности работы, улучшения взаимозаменяемости и сокращения сроков подготовки операторов чрезвычайно важна типизация и унификация их действий. Характеристики СОИ и ОУ, место их размещения должны предписывать опера-

тору определённый стереотип действий, например высвечивание индикатора отказа должно автоматически вызывать последовательность действий при аварийной ситуации.

Оформление передних панелей во многом определяет внешний вид РЭС, так что при их разработке должны быть учтены также принципы художественного конструирования.

**Панели отображения и управления.** Фронтальные размеры многих современных РЭС, например электронных измерительных приборов или телевизоров, определяют не внутренние конструкции, а именно условия размещения СОИ и ОУ. В этом случае ориентировочная площадь передней панели

$$S_n = K_s \sum \gamma_i S_i,$$

где  $K_s$  – статистический коэффициент заполнения передней панели, зависящий от вида РЭС, требований эргономики;  $\gamma_i$  – коэффициент, учитывающий зоны доступа или наблюдения, пояснительные надписи для  $i$ -го элемента;  $S_i$  – площадь, необходимая для установки  $i$ -го элемента.

Максимальные размеры передних панелей РЭС не превышают 500 мм, поэтому СОИ и ОУ, расположенные на них, при общепринятом расстоянии до оператора (около 1 м) всегда попадают в зоны удобного наблюдения и управления, но значимость отдельных зон панелей различна из-за зрительной и функциональной асимметрии человека. По информационной важности наиболее предпочтителен верхний левый угол. Поскольку правая рука более развита и приспособлена для точных движений, для управления предпочтительна правая сторона панели. Предпочтительные зоны расположения СОИ и ОУ, включая зоны коммутации, для вертикальных передних панелей электронных измерительных приборов приведены на рис. 1.10.

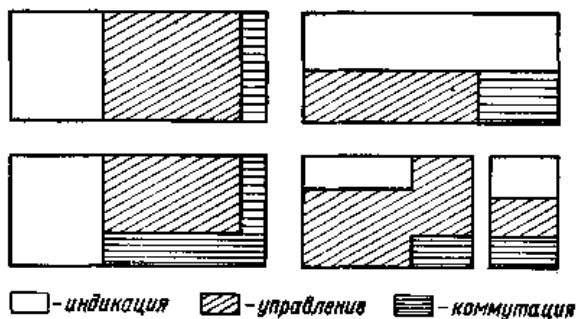


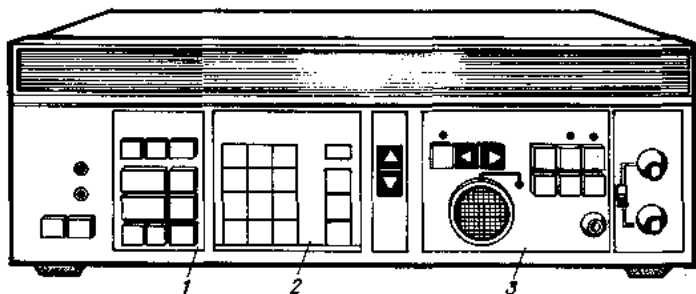
Рис. 1.10. Расположение рабочих зон на панелях приборов и блоков

На первом этапе конструирования передней панели на основе изучения алгоритма эксплуатации необходимо составить траектории экономных движений оператора. Далее, используя принципы оперативной упорядоченности, значимости, частности и группирования, выполнить предварительное группирование и размещение с учётом важности зон панели, причём элементы следует располагать на вертикальных и горизонтальных линиях условной координатной сетки (рис. 1.11). Базовая вертикаль сетки проходит через середину передней панели, а шаг рекомендуется выбирать из ряда 15, 20, 30, 40, 50 мм (ОСТ 4.270.000–83).

Приведённый на рис. 1.11 эскиз соответствует передней панели сложного многофункционального программируемого прибора (генератор от 10 кГц до 1,2 ГГц) с встроенными микропроцессорами и клавиатурой управления. Здесь клавиатура установки режимов работы *1* предназначена для управления функциями, выполняемыми прибором. Клавиатура *2* обеспечивает ввод цифровых данных, выполнение арифметических операций с числами, функциональные преобразования выходных величин, например логарифмирование, набор и ввод новых программ работы прибора. С помощью клавиатуры *3* осуществляют управление параметрами выбранного режима работы прибора, взаимодействие с другими приборами и ЭВМ через магистральные каналы.

При выборе направлений перемещения ОУ увеличению значений параметров должны соответствовать вращению ручек по ходу часовой стрелки, линейные перемещения движков – слева направо и т.д. Таких же правил следует придерживаться при организации движения стрелок индикаторов.

Обычно клавиши имеют форму, близкую к квадрату, а более важные – выделяют двойным или большим увеличением одной из сторон (рис. 1.11). Минимальный зазор между головками клавиш, определяе-



**Рис 1.11.** Передняя панель функционального генератора с клавиатурами: *1* – установки режимов работы; *2* – ввода данных; *3* – управления параметрами

мый удобством манипуляции и лёгкой раздельности переключений, равен 2...5 мм. Группы выделяют, оставляя большие промежутки между элементами, используя рамки, объединяющие надписи, цвета элементов и панели.

Конструктивное исполнение клавишных панелей возможно не только из отдельных сгруппированных клавиш, но и из единых клавиатур типа микрокалькуляторных. К преимуществам таких клавиатур следует отнести относительно низкую стоимость, более высокую плотность размещения клавиш, к недостаткам – менее чёткую фиксацию срабатывания.

Примеры правильного и неправильного оформления панелей приведены в ОСТ 4.270.000–83.

**Пульты отображения информации и управления.** Основными узлами пультов являются панели отображения информации и управления, однако для эффективного взаимодействия с оператором важна не только их организация, но и конструкция пульта в целом. В свою очередь, форму и размеры пульта во многом определяет информационная насыщенность его панелей. Пульты малой сложности могут быть реализованы в настольном исполнении или встроены в РЭС, а более сложные – в виде напольных конструкций, обеспечивающих лучшие условия работы оператора.

Большое значение имеет высота пульта. Высокие пульты (свыше 1650 мм) используют при повышенной информационной нагрузке и ограниченных площадях, низкие (до 1000 мм) – при необходимости следить за показаниями расположенных за пультом приборов, однако наибольшее распространение получили пульты средней высоты (1100...1300 мм).

При эксплуатации РЭС практически во всех случаях достаточно фронтальных пультов. Эргономически обоснованная форма и размеры пульта стационарных РЭС приведены на рис. 1.12.

Конструкции пультов разнообразны, однако для всех видов, кроме настольного, характерна консоль (стол), выступающая в сторону оператора и предназначенная для опоры рук. Несмотря на относительную свободу в выборе форм и размеров пультов, вопросы, связанные с эргономическим согласованием, жёстко регламентированы целой системой государственных и отраслевых стандартов, например ГОСТ 23000–78.

Разделение панели фронтального пульта на зоны, учитывающие восприятие и моторную деятельность оператора, приведено на рис. 1.13. Для наблюдения за центральной зоной 1 не требуется перемещения глаз, поэтому здесь размещают наиболее ответственные и часто наблюдаемые СОИ, а наименее важные – в периферийной зоне 3. Наиболее ответственные и требующие точных движений ОУ располагают в





При группировании СОИ и ОУ, конструировании панелей пультов следует руководствоваться теми же правилами и принципами, что и при конструировании передних панелей РЭС, учитывая отмеченную специфику разделения рабочего поля оператора.

**Автоматизация конструирования панелей управления.** Конструирование панелей является творческим процессом, требующим учёта большого числа субъективных или нечётко определённых факторов, так что фактически процесс автоматизированного проектирования панелей управления представляет собой автоматизированное графическое редактирование эскиза панели, выполненного конструктором, и выпуск конструкторской документации с помощью комплекса АРМ. Важным моментом, объясняющим высокую эффективность автоматизированных систем, является наличие библиотек типовых изображений и пакета прикладных программ для работы в диалоговом режиме.

До начала составления формализованного задания (ФЗ) конструктор разделяет эскиз на постоянную и переменную части. К постоянной части относят данные, которые не могут быть изменены в процессе проектирования, например размер панели, к переменной – изменяемые в процессе графического редактирования. В процессе размещения СОИ и ОУ оператор в диалоговом режиме взаимодействует с «графическим редактором», осуществляя ввод, перемещение и удаление элементов. На всех этапах работы, начиная с ввода ФЗ, подсистема осуществляет синтаксический контроль, сообщая оператору об ошибках. В случае недопустимых указаний при размещении СОИ и ОУ никаких изменений не происходит, а выдаётся сообщение об ошибке.

После завершения графического редактирования включают подсистему, обеспечивающую автоматический выпуск конструкторской документации.

## **1.9. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭСТЕТИКИ И ЗАДАЧИ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

**Основные понятия, термины и цель технической эстетики.** *Техническая эстетика* – это научная дисциплина, предметом которой является область деятельности художника-конструктора. Техническая эстетика изучает общественную природу и закономерности развития дизайна, основополагающие принципы и методы художественного конструирования, проблемы стиля и мастерства [3, 5].

Целью художника-конструктора (дизайнера) является создание совместно с другими специалистами, в первую очередь с конструкторами и технологами РЭС, изделия, отвечающего физиологическим, социальным и эстетическим требованиям человека. Специфика изде-

лия, применяемые материалы, условия эксплуатации, производственные характеристики открывают возможности для технической эстетики. Поэтому, помимо чисто профессиональных знаний в области дизайна, художник-конструктор должен овладеть определёнными техническими знаниями.

С другой стороны, назначение и характер построения и компоновки РЭС во многом определяют эстетические показатели (композиционная целостность, пропорции и др.). Поэтому конструктор РЭС также должен быть знаком с основными категориями и понятиями технической эстетики. На любой стадии проектирования РЭС работа конструктора связана с работой дизайнера. Одновременно с обоснованием и выбором варианта конструкции необходимо продумать вопросы технической эстетики [3, 5].

Проектирование внешних объёмов (форм, пропорций, габаритных размеров) РЭС включает построение системы модульной координации размеров проектируемых комплексов, установление масштабной соразмерности элементов отдельных приборов между собой и в целом, определение зон размещения внешних установочных элементов и выбор системы цветового решения.

Под элементом здесь и в дальнейшем будем понимать одну составную (неделимую) часть некоторого целого. Например, элементом может быть формообразующая линия (элемент формы), обрамление шкалы (внешний установочный элемент) и др. Понятия «элемент» и «неделимость» носят относительный характер – сложные объекты могут быть элементами в другой ситуации.

При конструировании внешних объёмов РЭС, как правило, предусматривается возможность геометрической совместимости функциональных блоков при их одновременной эксплуатации в комплексе. Для этого лучше всего подходит функционально-узловой метод.

**Требования рациональности форм композиционной целостности внешних объёмов РЭС.** Все РЭС должны обладать композиционной целостностью, т.е. элементы формы должны находиться во взаимосвязи и гармоническом единстве. Гармонией является строгое согласование отдельных составных частей целого, соразмерность всех элементов. Гармоническое единство отражает логику и органичность связи конструктивного решения с его композиционным воплощением.

*Композиция* – строение (структура) художественного произведения или изделия, распределение и взаимные связи его частей, что определяют идейный замысел и задачи. Основу композиции составляет объёмно-пространственная структура и тектоника объекта.

Тектоникой называется выражение закономерностей строения предмета, присущих его конструктивной схеме, его объективных фи-

зических свойств, соотношения масс, несущих и несомых частей и т.п. Тектоника – это зримое отражение в форме работы конструкции и организации материала. Тектоника в технике проявляется во взаимном расположении частей предмета, его пропорциях, ритмическом строе форм и др. Другими словами, проявления тектоники многообразны и связаны с конструкцией, материалами и выполняемыми функциями.

*Композиционная целостность* – понятие о построении целостного произведения (изделия), все элементы которого находятся во взаимосвязи и гармоническом единстве. Главная особенность этих связей – соподчинённость, без которой не существует целостность. Второстепенные элементы должны подчиняться главным элементам, основному звену композиции или композиционным центрам. Следует отметить, что композиционные схемы РЭС обладают большой гибкостью компоновки. Это позволяет создавать разнообразные композиции, что в других отраслях техники, например в машиностроении, сделать трудно.

Композиционная целостность в РЭС может быть достигнута различными методами: введением в композицию дополнительного элемента, наложением, соединением и пересечением контуров. При конструировании внешних объёмов РЭС необходимо принимать оправданное пластическое решение формы, создающее впечатление замкнутого непрерывного целого с логичными и согласованными между собой переходами отдельных форм аппаратуры. Пластикой называется предметно-пространственная выразительность формы изделия, созданная разработкой её тектоники и характера поверхности. Формы основных объёмов в целом должны быть просты, лаконичны, без сложных ломаных контуров и фигур, замысловатых конфигураций. В большинстве случаев форма РЭС создаётся прямолинейными образующими, и криволинейные поверхности встречаются обычно в виде переходных или промежуточных элементов. Вопросы композиции подробно изложены в [1, 3, 5].

*Пропорции* – это определённое соотношение частей между собой и целым, они являются одним из основных средств гармонизации формы. Размеры частей и элементов изделия должны подчиняться определённой системе.

Пропорции в технике имеют большое значение, особенно в случаях, когда изделия представляют собой системы унифицированных элементов. Сама унификация немислима без строгой организации структуры.

Существуют несколько видов систем пропорций: арифметическая, геометрическая, «золотого сечения», иррациональных отношений и др.

Арифметическая система основывается на соотношении

$$H_1 - H_2 = H_2 - H_3 = \dots = H_i - H_{i+1} = \dots = H_{n-1} - H_n,$$

где  $H_i$  – размер стороны прямоугольника (рис. 1.14, а).

Для геометрической пропорциональности (рис. 1.14, б) характерно наличие общего члена в соотношении размеров:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{H_2}{H_3} = \dots = \frac{H_i}{H_{i+1}} = \dots = \frac{H_{n-1}}{H_n}.$$

На рисунке 1.14, в показана система иррациональных отношений, где отношения высот прямоугольника относятся как

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}}; \frac{H_2}{H_3} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}; \frac{H_3}{H_4} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{4}} \text{ и т.д.}$$

В системе «золотого сечения» целое так относится к своей большей части, как большая часть к меньшей (рис. 1.14, г). Пропорции «золотого сечения», например  $M_1 / M_2$  и  $M_2 / M_3$ , определяются графическим построением на прямоугольном треугольнике, который имеет соотношения катетов как 1:2. Радиусом  $R_1 = 0,5M_1$  из центра  $O$  находят

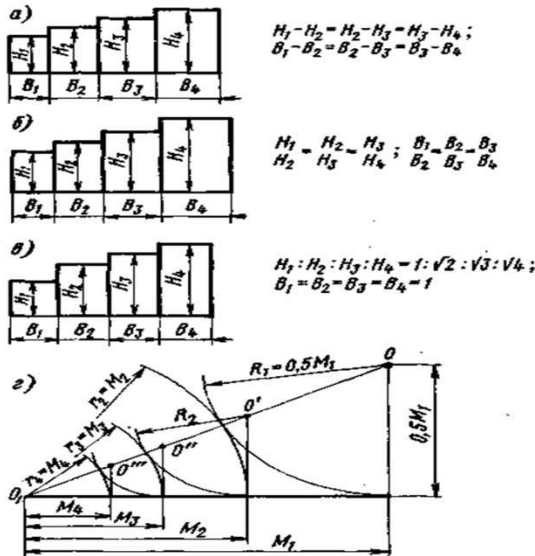


Рис. 1.14. Системы пропорций:

а – арифметическая; б – геометрическая; в – иррациональных отношений;

г – «золотого сечения»

точку  $C_1$  на гипотенузе треугольника, через которую в свою очередь из центра  $O_1$  проводят радиус  $r_2 = M_2$ . Затем аналогичным путём из центра  $O$  радиусом  $R_2$  находят точку  $C_2$  и определяется радиус  $r_3 = M_3$ . «Золотое сечение» наиболее целесообразно использовать для изделий прямоугольной конфигурации, развитой в вертикальном направлении, при небольшом количестве членений. Пример применения этой системы пропорции для композиции РЭС показан на рис. 1.15.

*Ритм* – средство композиции, обеспечивающее выделение и связь элементов формы путём их повторения, чередования, нарастания и убывания.

Часто РЭС, в соответствии с принципом действия и конструкцией, имеет повторяющиеся элементы, например последовательно расположенные блоки, индикаторы и др. Средством композиции может служить их закономерная повторяемость.

Имеется метрическая и ритмическая повторяемость. Метрическая повторяемость (метр) основывается на повторении через равные интервалы. Она создаёт впечатление покоя, статичности (рис. 1.16, а). Ритмическая повторяемость, наоборот, закономерным чередованием элементов подчёркивает динамичность (рис. 1.16, б). Размеры блоков здесь постепенно нарастают.

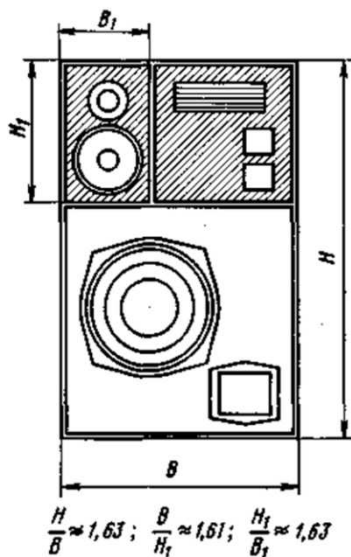
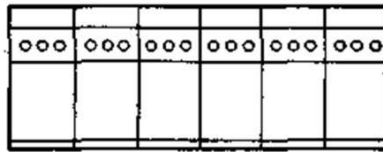
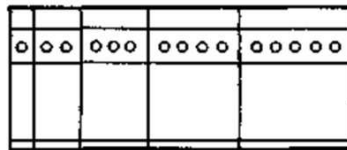


Рис 1.15. Пример композиции РЭС с использованием системы пропорций «золотого сечения»



a)



b)

**Рис 1.16. Повторяемость композиции РЭС:**  
 а – метрическая; б – ритмическая

Ритм позволяет упорядочить хаотическое нагромождение различных элементов и приборов. Следует отметить, что повтор как единая группа или система воспринимается зрителем только тогда, когда число чередующихся элементов превышает шесть, семь. Сбивка ритма обычно нарушает целостность. Недопустимо даже почти незаметное изменение закономерностей ритма, акцент в ряду должен быть только явным. Ритм в технике выражается очень разнообразно – изменение размеров конструкции, нарастание плотности структур, светлости окраски и др.

*Масштабность* – установленное соотношение создаваемого предмета с определённой мерой. Масштабность определяет соответствие одного предмета другому или нескольким предметам при их сопоставлении, а также пропорциям человеческого тела. Для достижения гармонического единства элементов внешних объёмов отдельных функциональных блоков с формой РЭС необходимо соблюдать масштабную соразмерность с пропорциями человека-оператора, с размерами РЭС и её элементами, с пропорциями и габаритами окружающей среды изделий, совместно с которыми эксплуатируется РЭС.

Суть гармонического единства здесь состоит в отражении правильных связей между аппаратурой и человеком-оператором. Таким образом, пропорции являются средством достижения масштабности устройств различных габаритов.

Масштабность предмету придают также мелкие выступы, детали управления, соответствие пропорций между элементами устройств и

истинными нагрузками. Единство масштаба – одно из необходимых условий для достижения не только эстетических качеств, но и средство обеспечения высокой надёжности в системе «человек–машина».

*Контраст* – приём композиции, резко выраженное противопоставление. Он позволяет ярче выделить функциональные и конструктивные особенности сопоставляемых элементов.

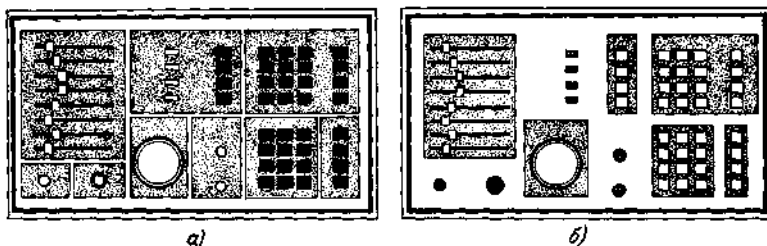
Контраст в технике может проявляться в различном виде: низкое противопоставляется высокому, светлое – тёмному, шероховатое – гладкому. Часто контраст выражается компоновкой изделий, когда элементы с различным функциональным назначением ярко выделяются (рис. 1.17, *а*). В сложных системах выделением наиболее ответственных частей пульта достигается надёжность, уменьшается притупленность внимания оператора.

Однако чрезмерный контраст может вызывать преждевременное утомление. Недопустимо, когда контраст нарушает целостность композиции изделия (рис. 1.17, *б*).

Иногда достаточно эффективно и оправданно чередование блестящих, полированных поверхностей с выраженными шероховатыми.

Одним из наиболее ярких свойств композиции является симметрия. Проявления асимметрии в симметричной системе имеют сложный характер, но в подчеркнута симметричной форме недопустимы даже небольшие отступления от симметрии. Если, например, передняя панель по отношению к её элементам выполнена ярко симметрично, то тогда симметрия должна быть отражена и в деталях.

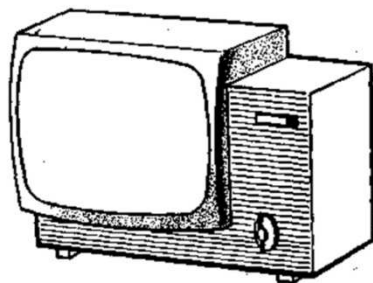
В конструкциях современных РЭС абсолютная симметрия практически не осуществима и нарушения равновесия будут менее выражены в случае полного отказа от симметрии (рис. 1.17). Однако технически необоснованная асимметрия нарушает всю тектоническую основу. На рисунке 1.18 показан пример [1, 5] явного нарушения тектоники – массивная, асимметрично расположенная часть аппарата вторглась в лёгкое, ажурное основание. Контраст всегда связан с нюансом.



**Рис. 1.17. Упорядоченность композиции:**

*а* – правильно, с использованием контраста;

*б* – неправильно, с нарушением целостности композиции



**Рис. 1.18. Пример конструкции необоснованной асимметрии**

*Нюанс* – приём композиции, незначительное различие в однородных элементах по форме, размерам, цвету и т.п. Использование нюанса зависит от детального уточнения и разработки характера формы, выбора материалов и обработки поверхностей деталей. Нюансировка не связана с компоновкой изделия и определяется беспредельно разнообразной гаммой вариантов различных материалов, фактуры, отделок, цвета, формы и др. Особое значение нюансировка приобретает при конструировании элементов, связывающих аппаратуру с оператором (пульт управления, передняя панель, элементы индикации и др.). Иногда следует пользоваться правилом: то, что нельзя скрыть, необходимо акцентировать. Винт, применение которого диктуется конструкцией (или технологией), должен нюансно отличаться своей формой, отделкой, цветом. Линия раздела чётко определяет место примыкания деталей.

Эстетическими категориями, которые представляют собой систему единых признаков, временно объединяющих в технике предметную среду, являются стиль и мода.

Например, употребление предупреждающего цвета в виде знака в наиболее опасном месте будет более эффективным, чем общее цветковое покрытие этого участка аппаратуры.

Кроме того, если аппаратура в процессе эксплуатации располагается на близком расстоянии от оператора, то насыщенность цвета окраски должна быть невысокой. Если аппаратура расположена от наблюдателя на расстоянии более 20 м, то цвет должен быть насыщенным и система окраски должна обеспечивать чёткое разграничение частей аппаратуры [1, 5].

Эти требования особенно важны при разработке профессиональной аппаратуры.

Для бытовой техники, кроме эргономики, особую роль играет гармония цветового ансамбля всего интерьера (табл. 1.4).



#### 1.4. Возможные области применения цветов

Цвет	Функция воздействия	Код монтажных проводов
Красный	Непосредственная опасность. Включение питания	Цепи высоких напряжений, положительный потенциал
Жёлтый	Возможные опасности	Различные цепи
Зелёный	Безопасность, нормальное функционирование аппаратуры	Сигнальные цепи
Синий (голубой)	Различная информация	Отрицательный потенциал
Белый	Указание границ параметра	Различные значения
Чёрный		Корпус, заземление
Оранжевый	Движение	Цепи малых напряжений

Однако цвет должен быть также увязан с объёмно-пространственной структурой изделия [1, 5]. Цвет связан с пропорциями, масштабом, контрастом и нюансом. Поэтому с помощью цвета можно акцентировать необходимые элементы формы и скорректировать не слишком удачные пропорции (когда технически нет возможности изменять сами внешние объёмы). Вполне оправдано выделение другим цветом отдельных зон управления как активных цветовых контрастов.

Элементы внешних объёмов РЭС, требующие определённого внимания при работе, следует выделять цветом, контрастным цвету основных объёмов аппаратуры. Например, цвет поверхности лицевой панели аппарата может контрастировать с цветом других поверхностей этого прибора, зоны индикации и управления могут иметь различное цветовое решение. Матовые покрытия позволяют получить чистые тона, а глянцевые – определённость и чёткость формы. Поверхности панелей и пультов управления следует делать матовыми с коэффициентом отражения 20...30%.

Покрытия, имеющие шероховатость структуры, позволяют маскировать мелкие дефекты, возникающие при производстве, и наоборот, глянцевые поверхности зрительно усиливают отклонения от иде-

альной геометрической формы. Таким же образом светлые тона менее требовательны к качеству поверхности, чем тёмные. Сложные объёмно-пространственные структуры требуют осторожности в применении нескольких цветов и тональных отношений.

Конструктор всегда должен использовать достоинства естественной фактуры материала (древесины, металла, пластмассы, стекла и др.), не применяя окраску поверхностей. Даже отличная имитация материала, например дерева, не может передать характерные свойства природных материалов. Металлизация поверхностей, несмотря на тонкий слой, почти всегда раскрывает естественную структуру материала (при качественном исполнении) и создаёт необходимый эффект. Здесь имеется возможность нюансировать при помощи применения глянцевых и матовых поверхностей. Важны тончайшие оттенки цвета и фактуры покрытия.

## 2. ПРИНЦИПЫ РАЗУКРУПНЕНИЯ РЭС И КОНСТРУКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

---

---

### 2.1. УРОВНИ РАЗУКРУПНЕНИЯ РЭС

*Иерархия и разукрупнение.* Следует иметь в виду, что разукрупнение – не искусственный приём, а отражение внутренних свойств сложных систем. Основные факторы, обуславливающие необходимость разукрупнения сложных РЭС:

- ограниченные психофизиологические и антропометрические характеристики требуют разделения сложных объектов на части, учитывающие возможности человека;

- высокие показатели ремонтпригодности и готовности к применению по назначению, эффективное техническое обслуживание сложных РЭС возможны только при быстром обнаружении и замене отказавших подсистем достаточно высокой сложности, и не изделий электронной техники;

- разукрупнение РЭС позволяет организовать параллельную разработку и изготовление отдельных частей, что значительно сокращает сроки введения в эксплуатацию изделия в целом;

- в ряде случаев – ограничение габаритов объектов-носителей, аппаратных помещений или отсеков.

Важнейшим свойством сложных систем является то, что полученные в результате разукрупнения разных систем части могут быть объединены в классы, называемые уровнями разукрупнения РЭС. При разукрупнении систем обязательно соблюдение иерархического принципа, в соответствии с которым систему необходимо разбивать на уровни таким образом, чтобы подсистемы старших иерархических уровней обобщали задачи младших, а подсистемы младших выполняли конкретизацию решений старших уровней.

Известно, что для решения любой практической задачи достаточно небольшого числа (3...5) уровней, поэтому всегда устанавливают высший и низший, не делимый при данной постановке задачи уровень. Неделимость любых реальных подсистем всегда условна, поскольку возможна постановка новых задач, не только допускающих, но и требующих дальнейшей детализации. Так, ИС для изготовителей РЭС представляет собой неделимое изделие, а для предприятий электронной промышленности – изделие высшего уровня, состоящее из большого числа деталей. Низший иерархический уровень могут занимать не только поступающие извне изделия, но и разрабатываемые, напри-

мер печатные платы. В качестве старшего уровня обычно принимают систему в целом.

В зависимости от постановки задачи возможны различные способы разукрупнения одной и той же системы. В соответствии с ГОСТ 26632–85 уровни разукрупнения РЭС определяет функциональная или конструктивная сложность.

Напомним, что введены четыре уровня разукрупнения по функциональной сложности: радиоэлектронная система, радиоэлектронный комплекс, радиоэлектронное устройство, радиоэлектронный функциональный узел. Разукрупнение РЭС по конструктивной сложности представляет собой один из наиболее ответственных и творческих этапов в работе инженера-конструктора и требует более глубокого рассмотрения.

*Разукрупнение РЭС по конструктивной сложности.* В качестве основы разукрупнения РЭС по конструктивной сложности в ГОСТ 26632–85 приняты несущие конструкции.

Несущая конструкция – элемент конструкции или совокупность элементов конструкции, предназначенные для размещения технических средств и обеспечения их устойчивости и прочности в заданных условиях эксплуатации. По сложности НК разделены на три уровня. К первому уровню отнесены несущие конструкции (НК1), предназначенные для размещения изделий электронной техники и электротехники и входящие в НК более высоких уровней. Несущая конструкция второго уровня (НК2) предназначена для размещения РЭС, выполненных на основе НК1, третьего уровня (НК3) – для размещения РЭС, выполненных на основе НК2 и (или) НК1.

При разукрупнении по конструктивной сложности РЭС разделены на три уровня, однозначно связанные с уровнями НК:

- радиоэлектронная ячейка (ячейка) – РЭС, выполненное на основе НК1;
- радиоэлектронный блок (блок) – РЭС, представляющее собой совокупность ячеек и выполненное на основе НК2;
- радиоэлектронный шкаф (шкаф) – РЭС, представляющее собой совокупность блоков и (или) ячеек и выполненное на основе НК3.

Наименования уровней разукрупнения РЭС (ячейка, блок, шкаф) достаточно условны, так как на каждом уровне возможны модификации изделий, имеющие собственные названия, например для третьего уровня наряду со шкафом – стойка или пульт. Конкретизация состава уровней выполнена в следующем разделе.

Разукрупнение по конструктивной сложности РЭС в модульном исполнении связано в ГОСТ 26632–85 базовыми несущими конструкциями.

Базовая несущая конструкция (БНК) – несущая конструкция, предназначенная для размещения РЭС различного функционального назначения, габаритные размеры которой стандартизованы. Несмотря на то что в ГОСТ 26632–85 в качестве признака БНК указана только стандартизация размеров НК, на них должны быть распространены и признаки более общего понятия базовых конструкций. В общетехническом понимании базовые конструкции представляют собой изделия, в которых определённые конструкторские решения сохранены неизменными (унификация и типизация) для ряда изделий. Поскольку БНК представляют собой частный случай несущих конструкций, то для них также справедливо разделение на три уровня: БНК1, БНК2 и БНК3. Определения БНК2 и БНК3 аналогичны НК2 и НК3, а в определении БНК1 введено дополнение, связанное с тем, что для РЭС в модульном исполнении введены четыре, а не три, как в общем случае, уровня разукрупнения: нулевой, первый, второй и третий.

Радиоэлектронный модуль (РЭМ) – функционально законченное РЭС, выполненное на основе базовой несущей конструкции того или иного уровня разукрупнения и обладающее свойствами конструктивной и функциональной взаимозаменяемости.

Радиоэлектронный модуль первого уровня (РЭМ1) представляет собой функционально законченную ячейку или кассету, выполненную на основе БНК1 и обладающую свойствами функциональной и конструктивной взаимозаменяемости, РЭМ2 – блок на основе БНК2, РЭМ3 – шкаф на основе БНК3.

Радиоэлектронный модуль нулевого уровня (РЭМ0) представляет собой РЭС, предназначенное для реализации функций преобразования информации или преобразования сигналов и выполненное на конструктивной основе, размерно координируемой с БНК1 и обладающее свойствами конструктивной и функциональной взаимозаменяемости. Фактически РЭМ0 представляют собой РЭФУ, собранные на печатных платах, и вводятся из-за широкого распространения печатного монтажа.

В ГОСТ 26632–85 при разукрупнении РЭС по конструктивной сложности так же, как и при разукрупнении по функциональной сложности, не введён уровень изделий электронной техники (ИЭТ).

Выбор низким уровнем ячейки РЭМ0 оправдан с точки зрения конструктора РЭМ, так как соответствует основному требованию к конструкции РЭС – соединению неделимых комплектующих изделий. В то же время для обеспечения конструктивной совместимости при конструировании сложных РЭС уровень комплексов целесообразен. Схема входимости РЭС, учитывающая сказанное, приведена на рис. 2.1.

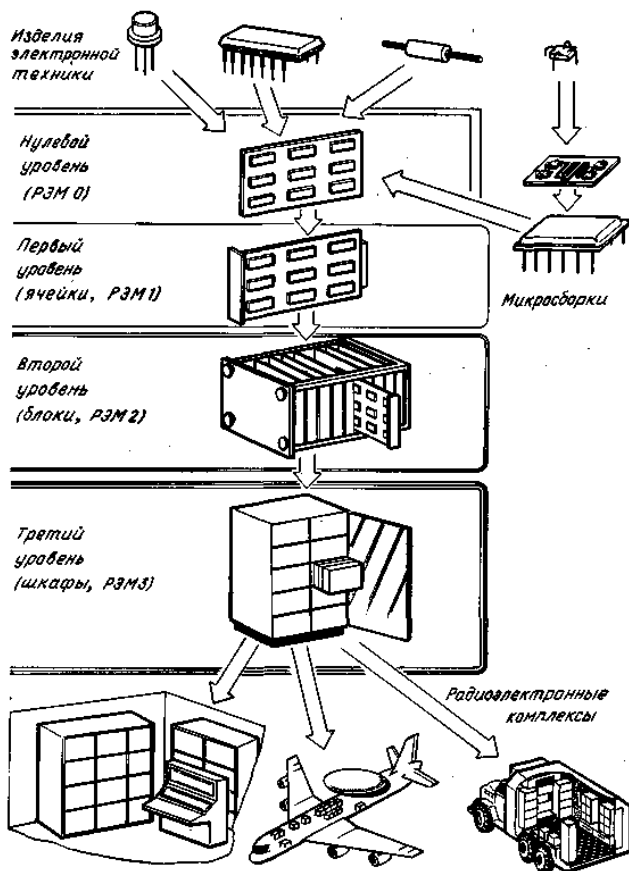


Рис. 2.1. Схема входимости радиоэлектронных средств

Микросборки выделены особо, поскольку их разрабатывают и производят изготовители РЭС, но после выпуска используют наряду с другими ИЭТ.

**Ограничения при разукрупнении по конструктивной сложности.** Разукрупнение может быть выполнено только в том случае, если известны геометрические размеры модулей, определяющие не только вместимость, но и тепловые режимы, электромагнитную совместимость и другие важнейшие конструктивные показатели РЭС, включая надёжность. На геометрические размеры влияет большое число факторов, причём степень влияния одних и тех же факторов может существенно отличаться на разных уровнях разукрупнения.

Конструкцию РЭС высших уровней разукрупнения определяет целевое назначение, объект установки, требования эргономики и технической эстетики. Для создания РЭС большой сложности в виде единого целого (сборочной единицы) массогабаритные показатели модулей высших уровней должны быть близкими к предельно допустимым с точки зрения антропометрических характеристик человека. В частности, из соображений удобства работы оператора высота шкафа не должна превышать 2200 мм; масса нерасчленяемых при перемещении конструкций – не больше 150...200 кг. Типичным примером ограниченных размеров РЭС как объекта установки является требование обеспечения транспортировки корабельных РЭС через люки (600×600 мм). Большое влияние на выбор размеров оказывают эстетические требования к внешнему виду РЭС.

Характер влияния рассмотренных факторов на конструкцию блоков (РЭМ2) несколько иной, а их значимость уменьшена. Несмотря на это, вопросы эргономического согласования необходимо учитывать и в этом случае, к примеру, масса модулей не должна превышать 30 кг, а устанавливаемых в верхних рядах шкафов – даже 10...15 кг. С другой стороны, в аспекте ремонтпригодности РЭС размеры блоков должны быть достаточными для размещения 10...50 ячеек. Объект установки оказывает существенное влияние на геометрические размеры блоков при их размещении не в шкафах, а в выделенных для этой цели нишах или полостях.

Ячейки (РЭМ1) имеют относительно небольшие размеры и массу. Восстановление работоспособности РЭС в модульном исполнении наступает после обнаружения и замены неисправной ячейки. Время съёма и установки легкосъёмной ячейки в основном зависит от конструкции присоединительных узлов, так что увеличение сложности и размеров ячейки оказывает относительно небольшое влияние на  $T_{в}$ . Введение многоконтактного электрического соединителя всегда уменьшает среднее время наработки и может быть оправдано в том случае, если связанные с ним отказы не становятся основными, т.е. ячейка должна быть достаточно крупногабаритной.

Следовательно, при оценке размеров ячеек следует принять во внимание, что их увеличение целесообразно исходя из следующих соображений: возможности размещения РЭС достаточной функциональной сложности; повышения ремонтпригодности устройств; снижения влияния отказов соединителя на общую надёжность модуля; снижения доли изделений, вводимых только для придания конструктивной завершенности. В то же время при увеличении размеров ухудшаются показатели безотказности и ремонтпригодности самих ячеек, усложняется организация ЗИП.

## 2.2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Структура и состав конструкционных систем.* Конструкционная система (КС) представляет собой совокупность БНК разных уровней разукрупнения, обеспечивающую создание требуемого множества РЭС и организованную на основе определённых размерных соотношений с учётом условий эксплуатации, инженерной психологии, технологии производства. Разработка КС предполагает не только проведение комплексной унификации размеров, сортамента, конструктивно-технологических решений, но и создание типовых элементов конструкций, узлов и НК модулей различных уровней разукрупнения. Для КС обязательно разрабатывают полный комплект базовой конструкторской документации и экспериментально подтверждают получение требуемых паспортных характеристик.

По способу построения КС представляют собой системы универсально-сборных каркасных конструкций, основу построения которых составляют сборные каркасы различных уровней, видов и типоразмеров.

Под каркасом понимают остов сборочной единицы или РЭС в целом, собранный, как правило, из отдельных элементов и обеспечивающий прочность и жёсткость конструкции при заданных внешних воздействиях. В некоторых конструкционных системах такие сборочные единицы называют рамами, шасси и т.п.

Наружные оболочки (кожухи), выполняемые, как правило, из листовых материалов, предназначены для придания конструкции завершённого вида, защиты от внешних климатических и механических воздействий, электромагнитного экранирования. Листы, составляющие оболочки, называют панелями, крышками или стенками. При невысокой интенсивности механических воздействий допустимы бескаркасные варианты, в которых прочность и жёсткость обеспечивают собранные в единое целое элементы конструкции и панели, несущие в этом случае механическую нагрузку.

Одним из важнейших требований к КС является обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС). Для получения высокой эффективности экранирования КС в целом недостаточно использования металлов или металлизации при изготовлении элементов конструкции. При разработке КС должны быть разработаны соединения, обеспечивающие малое сопротивление контактного перехода между отдельными деталями КС, конструкции заземления РЭМ разных уровней разукрупнения.

Разработанные КС, отличаясь в деталях, сохраняют много общих черт. Анализ наиболее распространённых отечественных и зарубежных систем показывает, что число уровней в них варьируется в преде-



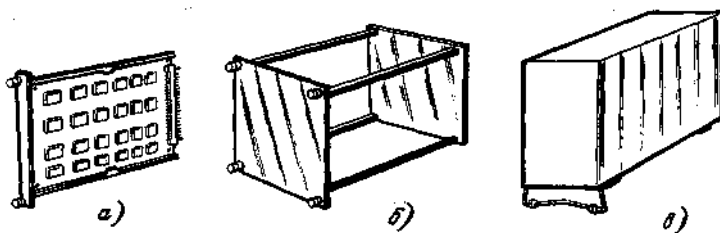
лах 3...5, причём в большинстве систем четыре уровня, в трёхуровневых системах монтажные платы (нулевой уровень) фактически объединены с каркасами первого уровня, а пятиуровневые – расширены за счёт уровня ИЭТ.

Для выяснения типичного состава изделий в КС рассмотрим широко распространённую и детально разработанную систему унифицированных типовых конструкций (УТК), (ГОСТ 20504–81). Эта структура, уровни разукрупнения которой, по сути, соответствуют ГОСТ 26632–85, является иерархической.

Нулевой уровень занимают выдвижные монтажные платы для объединения ИЭТ. Действительно, платы могут входить во все подсистемы первого, второго и третьего уровней разукрупнения, следовательно, в отношении входимости нулевой уровень действительно лучше, к примеру, третьего, который соответствует устройствам, специально разрабатываемым для решения каких-то конкретных задач. В то же время совершенно очевидно, что монтажные платы соответствуют РЭМО, т.е. низшему уровню разукрупнения РЭС в модульном исполнении ГОСТ 26632–85.

Занимающие первый уровень частичные каркасы (рис. 2.2) предназначены для размещения, объединения электрическими и другими связями, присоединения к внешним цепям изделий, собранных, как правило, на монтажных выдвижных платах.

Второй уровень составляют комплектные и блочные каркасы, объединяющие изделия, выполненные на частичных каркасах и (или) платах. Комплектные каркасы представляют собой каркасы с передними панелями. В случае простых или даже функционально сложных, но построенных на ИМС повышенной степени интеграции РЭС необходимая доля размещения невелика. Это характерно для электронных измерительных приборов, РЭС для автоматизации производства и средств связи. На первом и втором уровнях для этого введены прибор-



**Рис. 2.2. Сборные несущие конструкции:**

*а* – частично вставной каркас с печатной платой;

*б* – многоплатный частично вставной каркас; *в* – частично приборный каркас

ные каркасы, представляющие собой каркасы с наружными оболочками, что обеспечивает построение конструктивно завершённых РЭС для автономного использования – приборов.

Третий уровень занимают шкафы и стойки, столы и пульта. Шкафы предназначены для установки, объединения электрическими и другими связями изделий, выполненных, как правило, на блочных каркасах. Основным отличием стоек от шкафов является отсутствие передней двери. Тумбы, столы и секции пультов используют для организации рабочего места оператора. Бескаркасные НК, предназначенные для объединения и защиты изделий, собранных на монтажных подвижных платах или частичных каркасах, здесь названы кожухами.

*Технологичность КС.* Производственную технологичность (ГОСТ 14.205–83) оценивают с помощью набора большого числа показателей, из которых важнейшие – трудоёмкость, материалоёмкость и себестоимость. Высокая технологичность КС связана главным образом с резким сокращением числа типоразмеров и принципом сборки из унифицированных типовых деталей. Так, при переводе аппаратуры приёма и обработки информации с оригинальных НК на КС количество типоразмеров шкафов или блоков уменьшилось в 30 – 50 раз, а коэффициент повторяемости деталей возрос до 75%.

Значительное снижение трудоёмкости, материалоёмкости и себестоимости связано с широким применением точных профилей, штампованных деталей, унифицированных способов и узлов крепления. Использование точных профилей при изготовлении КС значительно упрощает технологические процессы, сводя их в основном к обрезке профилей и сверлению отверстий. В большинстве случаев достаточна точность обработки не выше 12 квалитета и допуски на межосевые размеры около +0,2 мм. Это приводит к снижению трудозатрат в 3 – 5 раз и повышению коэффициента использования металла до 95%. Перспективны сложные профили с пазами для установки панелей и плат из алюминиевых сплавов, поверхности которых не требуют дополнительной обработки и допускают непосредственное нанесение декоративных покрытий.

Для соединений в КС может быть использована сварка и сборка с помощью винтов или болтов.

Для общей характеристики конструкционных систем РЭС приведём некоторые данные отраслевой КС «База-3», обеспечивающей построение конструкций шестнадцати типоразмеров и двух модификаций: сборочных узлов – 37; деталей – 52; профилей – 3; типоразмеров стандартного крепежа (болтов, винтов) – 522, гаек – 120; количество видов покрытий гальванических – 7, лакокрасочных – 2. Значительное отличие в количестве винтов и гаек связано с широким применением

самонарезающихся винтов, ускоряющих монтаж. Для изготовления КС разработаны типовые технологические процессы, приведённые, например, в ОСТ 4.054.062–83.

*Преимущества реализации РЭС на конструкционных системах.* Конструктивная завершённость РЭМ позволяет разбивать РЭС на относительно автономные при конструировании и изготовлении части, а сборку РЭС в единое целое в наиболее распространённом разъёмном варианте осуществляют стыковкой частью легкосъёмных электрических соединителей.

Сформулируем основные преимущества модульного исполнения РЭС для этапов конструирования, производства и эксплуатации.

На этапе конструирования построение РЭС на основе КС значительно сокращает объём оригинальной конструкторской документации и упрощает внесение изменений за счёт широкого использования базовых чертежей, групповых методов проектирования и результатов предыдущих разработок. Кроме того, известны основные конструктивные параметры, например показатели устойчивости к внешним нагрузкам, тепловые и другие характеристики, что обеспечивает принятие объективных решений до построения и испытания опытных образцов. При использовании КС модернизация РЭС и разработка модификации фактически сводятся к разработке новых печатных плат, внутри- и межблочного монтажа и передних панелей. Более того, КС позволяют совершенствовать БНК, изменять отдельные детали и сборочные единицы, улучшать технологию их изготовления, требуя лишь сохранения габаритных размеров и согласования присоединительных узлов.

На этапе производства применение базовых конструкций стандартных материалов и профилей ограниченной номенклатуры прогрессивных способов формообразования и сборки обеспечивает высокую технологичность, специализацию, механизацию и автоматизацию производства; снижает требования к квалификации монтажников; уменьшает стоимость и повышает качество РЭС.

На этапе эксплуатации преимущества модульных конструкций связаны с повышением эксплуатационной технологичности вследствие повышения качества изделий, ускорения восстановления работоспособности РЭС за счёт быстрой замены отказавших модулей. Сложные РЭС, требующие больших затрат на разработку и изготовление, обычно рассчитаны на длительное время эксплуатации, например у БНК – свыше 10 лет.

Все сложные РЭС в настоящее время строят на основе каких-либо конструкционных систем, так что в дальнейшем БНК рассматриваем только как конструкционные системы, не указывая это дополнительно.

### 2.3. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Размерные отношения и ряды.* Для унификации изделий желательно, чтобы их параметры имели не произвольные, а упорядоченные значения, образующие так называемые параметрические ряды (ряды питающих напряжений, номинальные значения резисторов и др.). Основой построения размерных рядов в технике является система предпочтительных чисел по ГОСТ 8032–84 (СТ СЭВ 3961–83). Каждому ряду предпочтительных чисел соответствует учитывающий особенность восприятия зрительных образов ряд предпочтительных пропорций, члены которого представляют собой отношения целых чисел, точно или приближённо равные предпочтительным числам.

Параметрические ряды, образованные упорядоченной последовательностью геометрических размеров, называют типоразмерными или размерными. Размерные ряды для КС должны обеспечить:

- сопряжение размеров модулей как одного, так и разных уровней разукрупнения;
- получение достаточного для построения различных РЭС набора типоразмеров;
- возможность построения модулей высших уровней из низших;
- гармонизацию формы внешней поверхности и панелей РЭС.

Легко убедиться, что сформулированному набору требований удовлетворяют не общепринятые геометрические, а приведённые в том же ГОСТ 8032–84 арифметические предпочтительные ряды чисел, полученные на основе общего члена  $a_k = a_0 + k10^m / R$ , где  $a_0$  кратно  $10^m / R$ ;  $R = 5, 10, 20, 40, 80, 160$ ;  $m$  – целые числа. При  $R = 2, R = 5$  получают ряд А20, при  $R = 10$  – ряд А10 и т.д.

Типоразмерные ряды на основе арифметических прогрессий позволяют строить ряды, в которые могут входить модули с размерами, кратными 2, 3, 4, 5 и т.д. Это удобно и целесообразно в аспекте унификации БНК, так как можно либо заменить относительно сложный модуль набором более простых, либо найти размеры модуля более высокого уровня на основе суммарных размеров вошедших в него модулей предыдущего уровня.

Базовые размеры  $a_0$  и шаг  $\Delta a$  размерных рядов выбирают на основе компромисса между необходимостью построения достаточного для размещения различных РЭС набора и минимизацией числа типоразмеров. При переходе к более высоким уровням разукрупнения целесообразно использование рядов с кратно увеличенными значениями базового размера и шага.

Геометрические размеры блоков и шкафов в порядке обычного указания записывают как  $H \times B \times L$ , где  $H$  – высота,  $B$  – ширина,  $L$  – глубина, причём  $H$  соответствует вертикальным, а  $B$  – горизонтальным размерам во фронтальной плоскости, перпендикулярной линии нормального зрения оператора. Для печатных плат указывают  $H \times L$ , причём независимо от их пространственного расположения под высотой всегда понимают сторону, на которой установлен соединитель. Требуемое многообразие типоразмеров РЭС можно получить, изменяя один, два или три размера. В реальных конструктивных системах наибольшее число градаций имеет ширина  $B$ , затем высота  $H$ , глубина  $L$ , хотя в отдельных случаях правило может быть изменено. Очевидно, что при использовании арифметических прогрессий получить ряды предпочтительных пропорций по ГОСТ 8032–84 нельзя, однако желательно, чтобы отношения двух модулей были гармоничными.

*Стандартизация размеров РЭС.* Стандартизация размеров является обязательным условием модульного исполнения РЭС, при этом необходимо учитывать не только обеспечение входимости в рамках одной КС, но и конструктивную совместимость с другими КС и приборами. Решение этих вопросов невозможно без стандартизации основных размеров модулей на отраслевом, государственном и даже международном уровнях.

В нашей стране в качестве основной принята метрическая система мер, но в рекомендациях МЭК, например стандарта МС МЭК 297–1, 1982, для конструкций РЭС принята так называемая «19-дюймовая система».

Основой для построения конструктивных систем, базирующихся на метрической системе мер, служит ГОСТ 20504–81. В качестве основы для размеров изделий нулевого, первого и второго уровней разукрупнения приняты арифметические ряды с шагом, кратным 20 мм, что соответствует рекомендациям МЭК 482. Полученные на основе этого ряда условные размеры РЭМ разных уровней разукрупнения приведены в табл. 2.1.

Наружные и внутренние размеры модулей отличаются от условных допусками, обеспечивающими входимость. Наружные (внутренние) размеры обозначают буквами  $H(h)$ ,  $B(b)$  или  $L(l)$  с цифровыми индексами 0, 1, 2 или 3, указывающими уровень разукрупнения, например, для блоков  $B_2 = B + \Delta b_2$ ,  $b_2 = B - \Delta b_2$ . Допуски регламентированы стандартом, а  $\Delta b_2 = 0$  или 40 мм. Кроме наружных размеров, важных для обеспечения входимости в РЭМЗ, у РЭМ2 указывают максимальные размеры с выступающей за корпус арматурой для крепления к БНКЗ. Глубина корпусов изделий второго уровня  $L_2 = L - \Delta L_2$ , где  $L_2 = 600$  мм соответствует зоне, отводимой для установки соединителей и межблочного монтажа.

## 2.1. Условные размеры РЭМ, выполненные в метрической системе мер

Изделия нулевого, первого и второго уровней			Изделия третьего уровня		
Высота, мм	Ширина, мм	Глубина, мм	Высота, мм	Ширина, мм	Глубина, мм
80 + $k40$ при $k = 0,5$	20 + $k20$ при $k = 0,7$ ;  160 + ( $k - 8$ ) $x$ при $k = 8,16$	240 360 480×40	600 + $k200$ при $k = 0,8$	600 800 1000	400 600 800

Внешние размеры шкафов соответствуют условным (см. табл. 2.1), а внутренние определяют соотношения  $h_3 = H + 40n$ ,  $b_3 = B + \Delta b_3$ , где  $\Delta b_3 = 8$  мм;  $n = 0, 1, 2, \dots$

В качестве исходного в стандарте установлен размер  $B$  изделия второго уровня, совпадающий с максимальным номинальным размером 480 мм. Этот размер соответствует полным блочным или приборным каркасам, а другие значения  $B$  из табл. 2.1 – частным. Наружный размер блочного каркаса с учётом арматуры для крепления  $B_2 = 520$  мм.

Особо следует отметить, что, несмотря на обязательность основных размеров модулей первого, второго и третьего уровней, для всех РЭС геометрические размеры изделий нулевого уровня (печатных плат) ГОСТ 20504–81 регламентирует только при их установке в РЭМ высших уровней в вертикальном положении и перпендикулярно лицевой стороне РЭС. Кроме того, размеры, отличающиеся от указанных в стандарте, могут иметь конструкции третьего уровня для РЭС в пыле-, водо- и виброустойчивом исполнении.

Главными стандартами, организующими размерные соотношения КС, выполненных в международной «19-дюймовой» системе мер, являются: ГОСТ 26.204–83 (СТ СЭВ 3266–81) и ГОСТ 26.202–81 (СТ СЭВ 834–77). Здесь в качестве исходного принят размер, совпадающий с шириной передней панели 19 дюймов, равный 482,6 мм. Все основные размеры НК получены на основе арифметических прогрессий с шагом вертикального приращенения ( $U = 44, 45$  мм, шагом по горизонтали между шаговыми линиями печатных плат, кассет и блоков, кратным размеру  $T = 2 \times 2,54 = 5,08$  мм (табл. 2.2).

## 2.2. Основные размеры РЭМ, выполненные в дюймовой системе мер

Типоразмер	Высота платы, мм	Высота ячейки, мм	Длина платы, мм	Ширина ячеек и блоков, мм
$kU$ , $k = 2U2$	$55,55 + (k - 2)U$	$84,25 + (k - 2)U$	$100 + 60n$ , $n = 1,4$	$B < m \cdot 5,08$ , $m = 2,95$

Для предпочтительных размеров  $3U$  и  $6U$  высоты плат равны 100,00 и 233,35 мм соответственно, а максимального  $12U$  – 500,05 мм. Высоту шкафов определяют члены арифметической прогрессии от  $13U$  до  $45U$ , соответствующие наружным размерам шкафа по высоте 800, 1000...2200 мм (шаг 200 мм). Наружные размеры шкафа по ширине определяют ряд от 600 до 1000 мм, а по глубине – от 300 до 900 мм с шагом 100 мм. Ширина проёма шкафов  $b_3 = 450$  мм и соответствует блоку с исходной шириной передней панели 482,6 мм.

Из сравнения метрической и «19-дюймовой» систем видно, что основные геометрические показатели изделий одних уровней разукрупнения в них близки, так как найдены на основе одних и тех же требований и ограничений, а некоторые, например высота шкафов, совпадают. На первый взгляд различия, связанные с принятой системой мер, важны только для внутренней организации конструктивных систем, однако это не так. Действительно, возможность выпуска РЭС в двух системах мер вызывает неудобства в силу несовместимости даже сходных по возможностям и размерам модулей из разных систем.

## 2.4. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЭС

*Унификация конструктивных систем.* Известно, что затраты на изготовление изделий зависят от объёма их выпуска нелинейно:  $C(N) \approx \approx C_0 N^a$ , где  $C(N)$  – затраты на изготовление  $N$  изделий;  $C_0$ ,  $a$  – коэффициенты, причём для радиопромышленности  $a \approx 0,3$ .

Увеличение объёма выпуска изделий может быть достигнуто за счёт внутривидовой унификации – сокращения типономиналов изделий в рамках КС, предназначенной для разработки РЭС одного вида, например стационарной или морской; межвидовой унификации – сокращения типономиналов изделий за счёт применения одной и той же КС для изготовления РЭС различных видов.

В настоящее время для построения РЭС, ЭВМ и электронных устройств различного назначения используют свыше 20 КС, отличающихся конструкторской реализацией, но построенных на основе рас-

смотренных выше общих принципов построения и стандартов. Такое большое разнообразие КС вызвано не столько объективными, сколько субъективными причинами, обусловленными узковедомственными интересами отраслей, поэтому достаточно рассмотреть основные характеристики нескольких представляющих наибольший интерес для конструирования РЭС систем:

- унифицированных типовых конструкций и входящих в единую систему средств приборостроения (ЕССП), задающих основные принципы построения других конструкционных систем;
- унифицированных базовых несущих конструкций (УБНК), имеющих достаточно высокий уровень межвидовой унификации;
- конструкционную систему для электронных измерительных приборов.

*Системы УТК и ЕССП.* Эти системы занимают особое место, так как во многом организуют построение других КС, в частности, для всех КС с метрической системой мер обязательны регламентирующие УТК-20 положения ГОСТ 20504–81: терминология, основные размеры модулей, структура КС и состав изделий разных уровней разукрупнения. Более того, система УТК-20 представляет собой одну из первых наиболее удачных и полно разработанных КС и получила широкое распространение при конструировании средств автоматизации и приборостроения для различных областей науки и техники. Для расширения возможностей разработана модификация УТК-19, выполненная в международной «19-дюймовой» системе мер. Опыт применения КС УТК подтвердил правильность и эффективность основных конструкторских решений, так что многие из них могут быть учтены при разработке новых КС.

*МЭК 297–1, 1982.* Размещение на первом месте передней панели характеризует не её входимость, а лишь выбор в качестве первообразующего размера ширины передней панели, равной 19 дюймам (482,6 мм), однако это не мешает выделить обычные для РЭС в модульном исполнении четыре уровня разукрупнения.

В ЕССП входит ряд конструкционных систем, из которых при конструировании РЭС чаще других могут быть использованы система КАМАК, получившая широкое распространение в научном приборостроении, и система унифицированных конструкций УК СМ ЭВМ, разработанная для серии малых ЭВМ. Для этих систем характерен очень высокий уровень показателей унификации изделий и технологичности.

*Система УБНК.* При конструировании сложных РЭС различного назначения широкое распространение получила отраслевая КС унифицированных базовых конструкций, структура построения которой при-



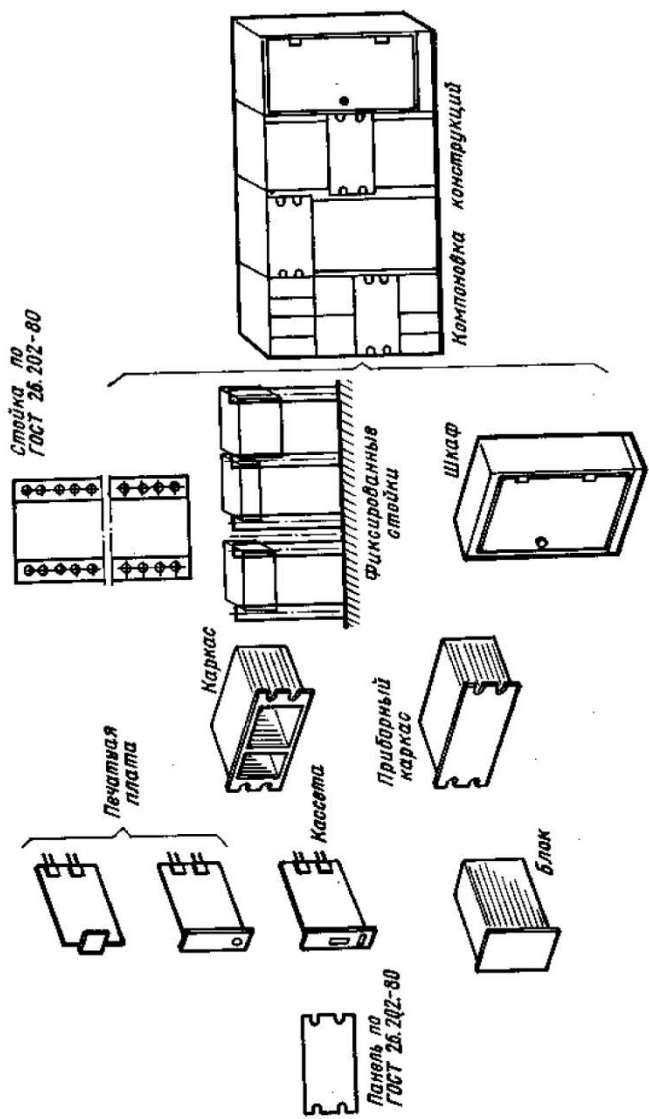


Рис. 2.3. Схема построения конструкционной системы

ведена на рис. 2.3. В систему входят РЭМ четырёх уровней разукрупнения. Но, строго говоря, отнесённые ко второму уровню УБНК-II фактически соответствуют частичным каркасам УТК.

Некоторые размеры РЭМ в системе УБНК не соответствуют ГОСТ 20504–81, так как УБНК применяют для построения не только стационарных, но и возимых, наземных, морских и самолётных РЭС, на которые действие стандарта не распространяется. Кроме того, унифицированные ячейки УБНК-I устанавливают в УБНК-II и БНКЗ, хотя и вертикально, но в большинстве случаев не перпендикулярно, как предусматривает ГОСТ 20504–81, а параллельно лицевой панели унифицированных блоков. Такой способ установки ячеек удобен в транспортируемых РЭС при ограниченных размерах аппаратных отсеков, а на стационарные РЭС распространён с целью межвидовой унификации конструкций на первом и втором уровнях разукрупнения. Действительно, УБНК-I и УБНК-II, которые могут быть использованы в РЭС для различных объектов установки, представляют собой модификации, полученные за счёт установки на универсальные шасси разных передних и задних панелей, узлов присоединения и фиксации.

В то же время условные размеры унифицированных УБНК-I различных типоразмеров и модификаций соответствуют ГОСТ 20504–81, а некоторые отличия наружных и внутренних размеров обусловлены разницей в принятых значениях допусков на входимость. Базовые каркасы, по размерам соответствующие блочным каркасам УТК, позволяют размещать УБНК-I в БНКЗ рядами с шагом по высоте 200 мм.

Специфику объектов установки учитывают главным образом конструкции третьего уровня разукрупнения БНКЗ, хотя для некоторых видов РЭС, например для автомобильных, разработаны также и универсальные шасси специальной конструкции. Напомним, что ГОСТ 20504–81 не распространён на размеры конструкций третьего уровня разукрупнения в пыле-, водо- и виброзащищённом исполнении, применяемых в транспортируемых РЭС, но наружные и внутренние размеры БНКЗ стационарных РЭС полностью соответствуют его требованиям, что обеспечивает их совместимость с другими КС.

По построению и размерам к УБНК РЭС близка распространённая отраслевая система «База-3» (ОСТ 4.410.017–82 и др.).

Рассмотренные КС содержат все характерные элементы других систем, а система УБНК принята в качестве основы для рассмотрения особенностей конструирования РЭС при дальнейшем изложении материала.

**Выбор модулей конструкционных систем.** При компоновке модулей всех уровней необходимо придерживаться принципа функциональной и конструктивной законченности.

Представим такой случай, когда ячейка предназначена для установки в блок, в свою очередь блок устанавливается в шкаф, причём число ячеек в блоке может достигать нескольких десятков. В блоке

стараятся сформировать функционально законченные схемы, но при конструктивной реализации блока не всегда могут быть заняты все установочные места под ячейки. Поэтому объёмы блоков часто недоиспользуются (для стационарной аппаратуры – порой на 25% от полного объёма). Чтобы устранить этот недостаток, разрабатывают частичные каркасы, составляющие как бы часть целого и входящие составной частью в комплектный блок. Подобные частичные блоки разрабатывают на разное число ячеек, причём с точки зрения потребителя КС чем шире номенклатура частичных блоков, тем лучше, но с точки зрения конструктора и производителя – тем хуже, поскольку удлиняются сроки разработок и освоения производства, возрастают затраты.

Нужно помнить, что, используя КС, потребитель будет в чём-то терять. Эти потери называют потерями на адаптацию – приспособление модулей КС к нуждам потребителя. Но с государственных позиций внедрение КС почти всегда даст экономический выигрыш. Потери на адаптацию КС для решения конкретной задачи почти всегда характеризуются увеличением габаритов, массы, эксплуатационных затрат. Например, для установки четырёх ячеек можно использовать один пятиплатный или четыре одноплатных блока. В том и другом случае имеют место потери. В первом случае потери определяются лишним установочным местом, во втором – увеличением объёма, массы, стоимости аппаратурной реализации за счёт введения четырёх несущих конструкций блока вместо одной.

Выбор наилучшего варианта набора различных модификаций КС параметрического ряда осуществляют решением задачи оптимизации, за критерий которой принимают затраты на разработку и производство КС при удовлетворении спроса на продукцию с учётом потерь на адаптацию.

## **3. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЁТЫ**

---

---

### **3.1. КОМПОНОВОЧНЫЕ РАСЧЁТЫ БЛОКА ЭС**

В комплексе работ по конструированию блока компонование является центральным процессом. Ему должен предшествовать этап анализа и упорядочения исходных данных. Под этим подразумеваются нижеследующие операции:

- раскрытие исходных данных (задания) по условиям эксплуатации на основании нормативных документов. От номера группы, класса и т.п. нужно перейти до: конкретных температур, давлений, усилий, вибраций и т.д.;

- изучение и рассмотрение стандартов, общих технических требований и норм на заданный вид аппаратуры. Следует учесть их в общем комплексе исходных данных, т.е. полностью собрать все критерии и граничные условия, убедиться в полноте состава критериев и граничных условий (технических требований), устранить неточности их формулировок, а затем желательнее и упорядочить их: критерии по весомости, граничные условия по времени их использования в процессе проектирования;

- рассмотрение и изучение работы заданной электрической принципиальной схемы на проектируемый блок;

- уяснение места проектируемого блока в комплексе радиоэлектронной системы, куда он входит составной частью. Нужно понять как его функциональную роль, так и геометрическое место, где он будет установлен, как закреплён, как и кем будет использоваться, эксплуатироваться, какие могут быть у обслуживающего персонала пожелания к удобству обслуживания блока. При проектировании блока для установки в стойку, шкаф уяснить размеры предназначенного для блока гнезда, способ выемки, фиксации, подключения;

- разбивка принципиальной схемы на части (узлы) с законченным функциональным циклом и составление функциональной схемы;

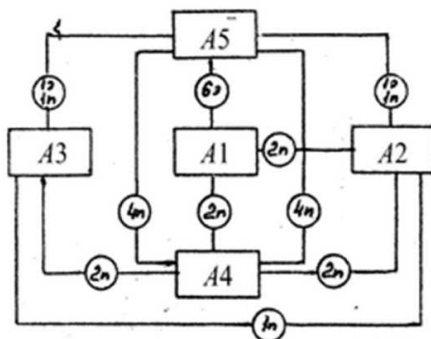
- выделение среди элементов принципиальной схемы и её функциональных узлов мест, опасных с точки зрения взаимных влияний по тепловым, магнитным, электрическим связям, а может быть, и по механическим воздействиям;

- обзор и рассмотрение аналогов, т.е. изучение вариантов компонования в конструкциях, выполняющих аналогичные задачи и созданных другими разработчиками. Источником информации на этом этапе могут служить технические журналы, книги, нормативные документы,

авторские свидетельства, патенты и т.д. Особое внимание следует уделить анализу компоновочных схем аналогов (в пояснительной записке их следует привести), отметить их положительные стороны, недостатки, сделать выводы и рекомендации применительно к своей задаче.

На основании вышеупомянутых материалов необходимо [1, 3]:

1. Решить вопрос, из каких конструктивов будет состоять блок. Конструктивом будем называть все крупные пространственно-ограниченные составные части блока. В качестве конструктивов могут выступать модули (конструкции 1-го уровня), а также крупные ЭРЭ (трансформаторы, конденсаторы, вариометры), различные механизмы. Специфическим конструктивом можно считать лицевую панель. Её минимально необходимые габариты будут обуславливаться суммарной площадью, необходимой для удобного размещения всех выносимых на неё элементов схемы. Глубина такого конструктива определяется по наибольшему его элементу, например, переключателю, кнопке и т.д. Состав конструктивов блока определяется на основании его функциональной схемы. При этом принимается решение, какие функциональные узлы будут представлять собой отдельные конструктивы в виде печатных плат, печатных узлов, крупных деталей, модулей, а какие будут объединены. В результате функциональная схема образуется в структурную. В ней фигурируют уже конструктивы, их связи и число соединяющих их проводов. На рисунке 3.1 даётся пример структурной схемы.



**Рис. 3.1. Структурная схема осциллографа:**

A1 – модуль ЭЛТ, включающий в себя электронно-лучевую трубку;  
A2 – модуль, включающий в себя усилитель синхронизации, триггер синхронизации, триггер развёртки, схему блокировки, генератор развёртки, усилитель подсвета; A3 – модуль Y, который состоит из аттенюатора, калибратора, входного каскада, предварительного усилителя канала, трёх линий задержки; A4 – модуль питания, состоящий из стабилизатора, высоковольтного блока питания, низковольтного блока питания; A5 – модуль выходных усилителей; п – простые провода; э – экранированные провода

### 3.1. Таблица габаритов

Конструктив	Габариты, мм	Масса, кг	Конструктив	Габариты, мм	Масса, кг
A1	50×240×70		A4	200×250×50	
A2	65×220×40		A5	200×20×60	
A3	65×220×40				

Все конструктивы имеют свои габариты и массу, определённый способ крепления и подсоединения к схеме, характеризуются определёнными тепловыделениями, которые желательно перед компоновочными работами рассчитать хотя бы ориентировочно. За габариты конструктивов берутся фактические (уже имеющиеся в производстве или продаже функциональные узлы) или предполагаемые (на основании опыта конструктора, предварительных прикидок и расчётов, учёта требований стандартизации). Ориентировочный вес конструктивов принимается исходя из паспортной массы элементов и справочных характеристик материалов. Полученные данные рекомендуется сводить в таблицу (пример в соответствии с рис. 3.1 дан в табл. 3.1).

2. Установить цели, которые должны быть достигнуты в ходе компонования. Они могут быть общими и специальными. К общим можно, например, отнести наиболее жёсткие (короткие) функциональные связи, отсутствие взаимных магнитных и электрических наводок, отсутствие тепловых влияний, нарушающих надёжную работу схемы. Специальными требованиями являются, например, минимальные габариты, наименьшая масса или наименьший объём, специальная форма, особые условия доступа, особые требования по внешним воздействиям, скорость «разборки-сборки» при ремонте, удобство обслуживания, иногда высокая технологичность, дешевизна изготовления и т.д. Наиболее частым подходом является требование наименьшего объёма (габаритов) при обеспечении удобства эксплуатации (ремонте). Одна из целей может быть выделена как основная.

3. Установить и отобрать критерии, по которым можно оценить степень достижения при компоновке поставленных целей. В качестве критериев следует выбирать такие, которые определяются именно процессом компонования – варьированием взаимного расположения конструктивов. Выбор критериев зависит от объекта проектирования и его назначения. Выбор является обязанностью и правом проектировщика (студента). Однако наиболее часто это:

- критерий функциональных связей  $q_{\phi}$ ;
- критерий использования объёма  $q_v$ ;
- критерий тепловых связей  $q_T$ ;
- критерий центра тяжести (ЦТ) полученной конструкции  $q_{\text{ЦТ}}$ .

Остальные критерии добавляются по необходимости. Ими может быть ремонтпригодность, раскрываемость, технологичность и т.д. Не следует в качестве критериев брать независимые от компоновки величины, например вес (массу), который не меняется от перестановки конструктивов, или экономичность, которые мы пока не знаем, или надёжность, которая нечетко определяется взаимным расположением конструктивов. В качестве оценок критериев можно брать или реальные физические величины, или обобщённые по физическим величинам коэффициенты, или даже баллы, полученные на основе работы конструкторских подразделений и организаций. Примерные, часто используемые оценки КВ (связей) в баллах даны в табл. 3.2. Другие возможные способы оценок будут приводиться ниже по ходу изложения на примерах. В таблице 3.2 п. 1 – 6 относятся к функциональным связям, им присваивается общее обозначение  $q_{\phi}$ ; п. 7 – 9 относятся к тепловым связям  $q_T$ ; п. 10 – 12 – к электрическим  $q_e$ ; п. 13 – к магнитным связям  $q_M$ .

Из таблицы 3.2 видно, что оценки в баллах для  $q_{\phi}$  могут на порядок превосходить остальные. Поэтому оценивание величин должно быть весьма взвешенным.

Оценками в баллах для указанных в таблице КВ можно пользоваться при всех видах компоновочных работ, если нет других более точных оценок. Таблицу можно расширить и дополнить применительно к особенностям конструируемой аппаратуры.

В качестве критерия функциональных связей, кроме оценок в баллах, может быть использован также обобщённый коэффициент, учитывающий не только характер связей, но также их число и длину проводов. Например:

$$q_{\phi} = \sum_{i=1}^n (l_i K_i),$$

где  $n$  – число функциональных связей;  $l$  – длина каждой из функциональных связей;  $K$  – коэффициент, оценивающий характер связи и вид соединительного провода (при функциональной связи в сигнальной цепи простым проводом  $K = 1$ ; экранированный провод по сравнению с неэкранированным получает  $K = 0,5$ ; вспомогательные связи могут быть допущены более протяжёнными по сравнению с сигнальными, что отражается также коэффициентом 0,5).

### 3.2. Система оценок КВ (связей) в баллах

№	Описание КВ	Баллы
1	Связь неэкранированным проводом, неограниченная по длине	10
2	Связь экранированным проводом, но неограниченная по длине	20
3	Связь экранированным или неэкранированным проводом, ограниченная по длине из-за возможных паразитных наводок или искажений сигнала	30
4	Связь экранированным проводом, ограниченная по длине из-за возможных искажений сигнала	40
5	Связь экранированным проводом, ограниченная по длине из-за: 1) возможного искажения сигнала; 2) уменьшения отношения сигнал/шум; 3) наводок	60 – 70
6	Связь по месту	10
7	Тепловая совместимость, требующая учёта тепловыделения при размещении ЭРЭ	1
8	Тепловая совместимость, требующая естественного массообмена в изделии или экранировании	2
9	Тепловая совместимость, требующая принудительной вентиляции или других сложных средств	3
10	Электрическая совместимость, учитываемая при размещении ЭРЭ	1
11	Электрическая совместимость, требующая экранирования электрического поля	2
12	Электрическая совместимость, требующая экранирования электрического поля	4
13	Магнитная совместимость, требующая магнитного экранирования	3



Использование объёма следует оценить коэффициентом заполнения объёма

$$q_V = \frac{\sum V_{\text{ЭРИ}} + \sum V_{\text{нк}}}{V_{\text{бл}}},$$

где  $V_{\text{ЭРИ}}$  – объём ЭРИ в блоке;  $V_{\text{нк}}$  – объём несущей конструкции;  $V_{\text{бл}}$  – объём блока.

Критерием положения центра тяжести можно считать удаление последнего от геометрического центра симметрии блока в линейном измерении. Всякие другие дополнительные критерии на этапе компонования проще всего можно оценивать в баллах, для чего разработчику (студенту) надо составлять примерную таблицу оценок, обосновать её и привести в пояснительной записке.

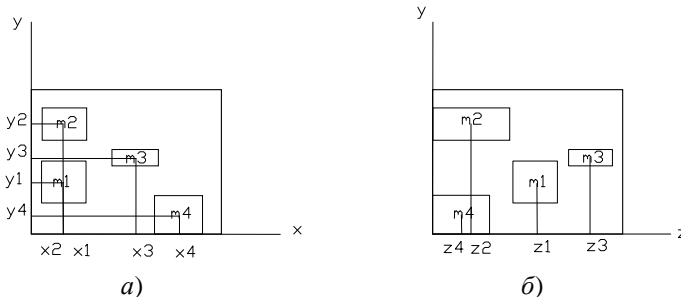
**Нахождение центра тяжести ЭС.** Для оценки величины критерия положения центра тяжести следует предварительно определить координаты центра тяжести (ЦТ) блока в общем случае ЭС. ЭС – пространственная фигура. Введём пространственную декартову систему координат  $XYZ$ , например, так, чтобы плоскость  $XU$  была параллельна лицевой панели, а ось  $Z$ , перпендикулярная плоскости  $XU$ , была направлена вдоль корпуса по одному из его рёбер.

Для примера на рис. 3.2, *a* представлены проекции четырёх конструктивов на плоскость  $XU$  с соответствующими массами  $m_1 \dots m_4$ . Примем, что центр масс каждого конструктива совпадает с его геометрическим центром, как показано на рисунке.

Тогда координаты ЦТ:

$$X_{\text{цт}} = \frac{m_1 X_1 + m_2 X_2 + m_3 X_3 + m_4 X_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_i X_i}{m_i};$$

$$Y_{\text{цт}} = \frac{m_1 Y_1 + m_2 Y_2 + m_3 Y_3 + m_4 Y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_i Y_i}{m_i}.$$



**Рис. 3.2. Проекция четырёх конструктивов на плоскость:**  
*a* –  $XU$ ; *б* –  $YZ$

Для нахождения координаты  $Z_{\text{ЦТ}}$  необходимо изобразить проекции тех же четырёх конструктивов на плоскость  $YZ$  (рис. 3.2, б), перпендикулярную ранее рассмотренной плоскости  $XY$ . Тогда

$$Z_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1 Z_1 + m_2 Z_2 + m_3 Z_3 + m_4 Z_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_i Z_i}{m_i}.$$

Таким образом, определили искомые три координаты ЦТ. Теперь можно определить расстояние  $\Delta l$ , на которое отстоит найденный ЦТ от геометрического центра РЭС

$$\Delta l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2},$$

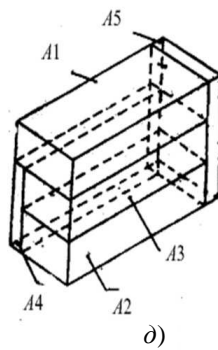
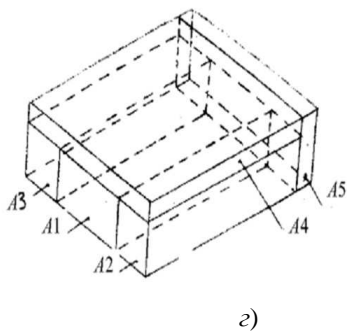
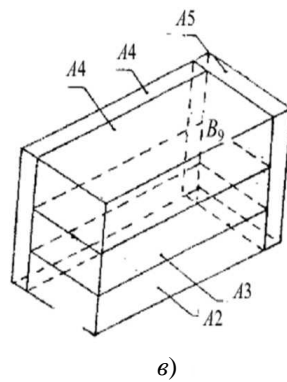
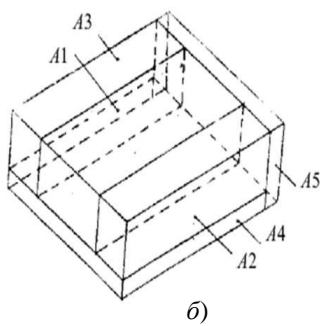
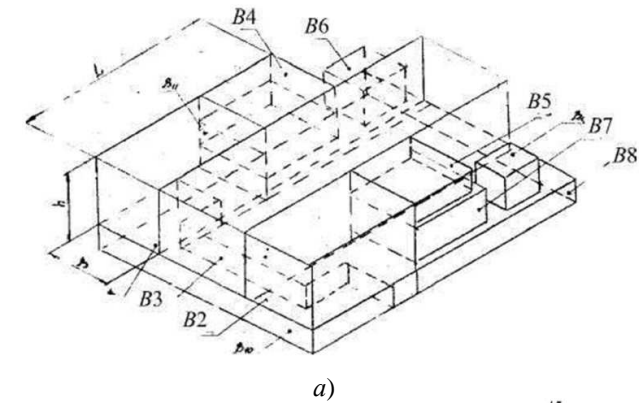
где  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  – разность между соответствующими координатами геометрического центра и ЦТ РЭС. Чем больше расстояние  $\Delta l$ , тем меньше (в баллах) величина критерия смещения центра тяжести.

Стратегию компонования выбираем от «содержания к форме». Сформируем пять вариантов. Вариант 1 выполним по компоновочной схеме аналога (выпускавшегося ранее отечественной промышленностью осциллографа С1-73). Для вариантов 2, 3, 4, 5 главной целью поставим модульность конструкции в разном исполнении. Соответствующие вариантам компоновочные эскизы представлены на рис. 3.3, а – д. Их числовые характеристики сведены в табл. 3.3.

**Выбор предпочтительного варианта.** Выбор предпочтительного варианта следует производить на основе многокритериального сравнения. Здесь, как уже говорилось, требуется осуществить поиск некоторого разумного компромисса между большим набором весьма противоречивых критериев.

Для сравнения вариантов в полученном множестве полных пространственных кортежей студентам рекомендуется опираться на принцип Парето-оптимальности. Преимуществом данного метода является возможность попарного сравнения вариантов по строчкам критериев, т.е. возможность сравнивать оценку какого-то критерия одного варианта с оценкой точно такого же критерия другого варианта. В сравнении на данном этапе не участвуют пересчёты оценок критериев в различные обобщённые показатели с помощью малодостоверных весовых коэффициентов. В результате сравнения формируется подмножество Парето-оптимальных вариантов. Если подмножество содержит один вариант, то он и будет наиболее предпочтительным. В противном случае из данного подмножества выбирается вариант одним из следующих способов.

1. Один из частных критериев берётся за основной, а на остальные накладываются ограничения. Наиболее предпочтительным будет вариант с лучшим значением основного критерия.



**Рис. 3.3. Компоночный эскиз:**

*a* – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – вариант 3; *з* – вариант 4; *д* – вариант 5

### 3.3. Данные о конструктивах вариантов 2, 3, 4, 5

№	Наименование	Количество	мм		
A1	ЭЛТ	1	50	240	70
A2	Модуль X	1	65	220	40
A3	Модуль Y	1	65	220	40
A4	Модуль питания	1	200	250	20
A5	Модуль выходных усилителей X и Y	1	200	20	60

2. Формируется обобщённый показатель качества на основе какой-либо комбинации частных критериев, выбор варианта производится по обобщённому показателю.

Напомним методику сравнения в самом общем виде с помощью примера.

Пусть имеем восемь вариантов выполнения изделия ( $n = 8$ ). Каждый вариант будем характеризовать пятью критериями ( $m = 5$ ). Оценки критериев выполняем по 10-балльной системе (условно!), причём чем выше балл, тем вариант по данному критерию лучше. Оценки вариантов сводим в табл. 3.4.

Идея алгоритма формирования множества  $P(x)$  состоит в том, что сначала первый вариант  $x_1$  сравнивается с  $x_2$  и далее со всеми остальными. На основании этих сравнений первый вариант либо включается в  $P(x)$ , либо исключается. При сравнении  $x_1$  и  $x_2$  возможны три случая:

### 3.4. Пример сравнения вариантов

Критерии	Варианты							
	Оценки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_1$	10	4	6	9	5	3	3	3
$q_2$	3	3	3	3	0	0	4	3
$q_3$	2	4	5	2	5	2	2	4
$q_4$	2	3	4	1	2	4	7	4
$q_5$	4	1	2	3	2	1	7	1

1)  $y_i^{(1)} \geq y_i^{(2)}$ , т.е.  $x_1 > x_2$ , в этом случае вариант  $x_2$  из дальнейшего рассмотрения исключается, а  $x_1$  сравнивается с  $x_3$ ;

2)  $y_i^{(1)} \leq y_i^{(2)}$ , т.е.  $x_1 < x_2$ , в этом случае для  $x_1$  есть более предпочтительный вариант  $x_2$ , поэтому  $x_1$  из рассмотрения исключается;

3)  $y_i^{(1)} < y_i^{(2)}$ , здесь ни один из двух вариантов не имеет предпочтения перед другим, т.е. они эквивалентны или безразличны в смысле Парето ( $x_1 \approx x_2$ ), в этом случае переходим к сравнению  $x_1$  и  $x_3$ . Если для варианта  $x_1$  не найдётся другого, более предпочтительного, то он включается в множество  $P(x)$ . На этом заканчивается первая итерация. Затем во второй итерации вариант  $x_2$  сравнивается с оставшимися и т.д., т.е. мы имеем дело с итерационным процессом.

При отборе каждый раз сравниваются только два варианта. Рассмотрим процедуру формирования  $P(x)$  для условий  $T_i$ : 1-я итерация  $X = x = \{x_1, \dots, x_8\}$ . Поочередно сравниваем оценки первого варианта с остальными, сначала сравниваем  $x_1$  и  $x_2$ . Здесь  $y_i^{(0)} < y_i^{(2)}$ , так как  $10 > 4$ ,  $3 = 3$ ,  $2 < 4$ ,  $2 < 3$ ,  $4 > 1$ . В результате между вариантами можно поставить знак безразличия, т.е.  $x_1 \approx x_2$ . Сравнивая  $x_1$  с другими вариантами, получаем  $x_1 \approx x_3$ ,  $x_1 \approx x_4$ ,  $x_1 \approx x_5$ ,  $x_1 \approx x_6$ ,  $x_1 \approx x_7$ ,  $x_1 \approx x_8$ .

В результате 1-й итерации вариант  $x_1$  включаем в множество  $P(x)$ , т.е.  $P(x) = \{x_1\}$ , а вариант  $x_4$  исключаем из дальнейшего рассмотрения, так как  $x_1 > x_4$ .

2-я итерация.  $X_2 = \{x_2, x_3, x_5, \dots, x_8\}$ . Здесь вариант  $x_2$  сравниваем с  $x_3$  и т.д. Так как  $x_2 < x_3$ , то  $x_2$  из дальнейшего рассмотрения исключаем. В результате 2-й итерации множество  $P(x)$  остаётся прежним.

3-я итерация.  $X_3 = \{x_3, x_5, \dots, x_8\}$ . Парное сравнение с другими вариантами показывает:  $x_3 > x_5$ ,  $x_3 > x_6$ ,  $x_3 \approx x_7$ ,  $x_3 > x_8$ . Таким образом, включаем  $x_3$  в множество  $P\{x\}$ , а варианты  $x_5, x_6, x_8$  исключаем, так как они уступают  $x_3$ , т.е.

$$P(x) = \{x_1, x_3\}.$$

На 4-й итерации для исследования остаётся один вариант  $x_7$ , т.е.  $X_4 = \{x_7\}$ . Данный вариант заносим в множество  $P(x)$ , так как для него нет более предпочтительного. Таким образом, в результате применения итерационной процедуры получаем множество

$$P(x) = \{x_1, x_3, x_7\}$$

из трёх вариантов. Оптимальным может быть один из этих вариантов для выбранных пяти критериев.

Обычно в множестве  $P(x)$  остаётся значительно меньше вариантов, чем было вначале. Поэтому задача конструктора по определению одного оптимального варианта значительно упрощается. Теоретически возможны два крайних случая. Первый – все исходные варианты оста-

нутя в множестве  $P(x)$ . Второй – в множестве  $P(x)$  остаётся один вариант. Пустым множество Парето быть не может. Для выбора одного варианта из множества Парето большую роль играют интуиция и опыт конструктора, позволяющие ему на основе дополнительно вводимых критериев и соображений принять обоснованное решение.

Возвратимся к рассматриваемому примеру. Мы имеем пять вариантов и пять критериев:  $q_1$  – функциональные связи;  $q_2$  – тепловые связи;  $q_3$  – магнитные связи;  $q_4$  – электрические связи;  $q_5$  – использование объёма. Критериям следует дать численное значение расчётом по формулам или оценить в баллах. Результаты сводятся в табл. 3.5.

Для критериев  $q_1$  и  $q_2$  предпочтительными являются наименьшие значения, а для  $q_3, q_4, q_5$  – наибольшие. Пользуясь вышеприведённой методикой, устанавливаем, что предпочтительным будет вариант 2.

### 3.5. Оценка критериев

Критерии	Варианты				
	1	2	3	4	5
$q_1$	0,66	0,36	0,36	0,38	0,38
$q_2$	2,5	2,1	2,15	2,3	2,9
$q_3$	0,02	0,05	0,03	0,035	0,02
$q_4$	0,15	0,25	0,2	0,2	0,23
$q_5$	0,73	0,87	0,61	0,87	0,77

### 3.2. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЁТЫ БЛОКА РЭС

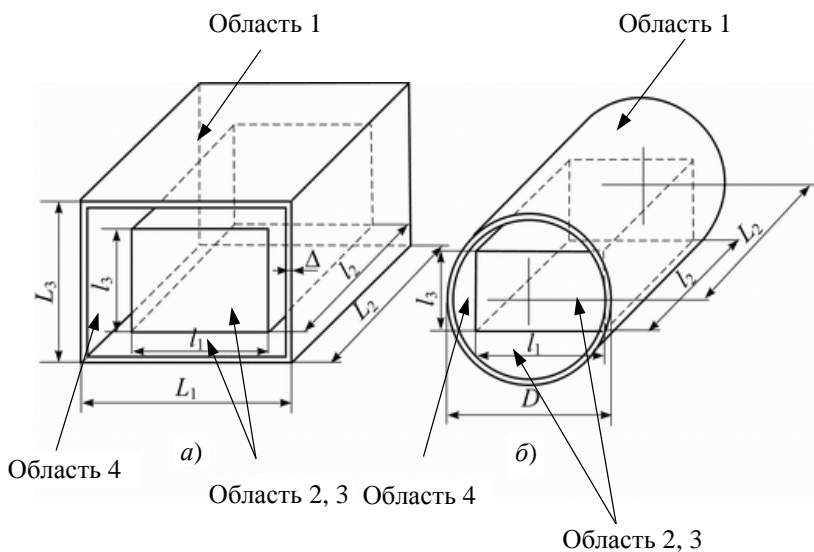
Приведённая ниже методика расчёта справедлива для одиночных блоков в ЭС, имеющих геометрические размеры в пределах 600 мм по трём измерениям. Предполагается, что блок имеет форму прямоугольного параллелепипеда или цилиндра, ось которого может быть расположена горизонтально или вертикально. Внутренняя архитектура блока может представлять собой различные конструктивные варианты: шасси с расположенными на нём крупными электрорадиоэлементами, кассеты или ячейки с микросхемами и отдельными дискретными элементами, имеющими геометрические размеры, соизмеримые с размерами микросхем. Кассеты или ячейки могут располагаться горизонтально или вертикально. При вертикальном расположении кассет или ячеек расчёт будет справедлив при условии, что расстояние между кассетами не превышает 3 мм, для горизонтального расположения кассет или ячеек такого ограничения нет [3, 4].

### 3.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕТОЙ ЗОНЫ ОДИНОЧНОГО БЛОКА

**Исходные данные.**  $P$  – суммарная мощность тепловыделения в блоке (потребляемая мощность блока или определяемая из анализа схемы электрической принципиальной), Вт;  $L_1, L_2, L_3, (D, H)$  – геометрические размеры блока прямоугольной формы (или цилиндрической), м;  $l_1, l_2, l_3$  – размеры нагретой зоны, м;  $t_c$  – температура окружающей среды, °С.

#### Последовательность расчёта.

1. Определение размеров  $l_1, l_2, l_3$  нагретой зоны. Для кассет или ячеек, объединённых в единый блок, размеры нагретой зоны определяются максимальными размерами этого блока. Если в качестве несущего элемента используется шасси с расположенными на нём крупногабаритными элементами, то размеры нагретой зоны будут следующими: два измерения совпадают с размерами шасси  $l_1 \approx L_1, l_2 \approx L_2$ , а третьё  $l_3$  определяется суммой высот шасси  $h_{ш}$  и высотой средних размеров элементов, расположенных с одной и другой сторон шасси  $h_1$  и  $h_2$  (рис. 3.4).



**Рис. 3.4. Типы блоков:**  
а – прямоугольный; б – цилиндрический

Средняя высота элементов определяется по формуле

$$h_{1(2)} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{L_1 L_2}, \quad (3.1)$$

где  $V_i$  – объём  $i$ -го элемента на поверхности шасси;  $L_1, L_2$  – размеры шасси;  $n$  – количество элементов с одной стороны шасси.

Высота нагретой зоны в этом случае

$$l_3 = h_{\text{ш}} + h_1 + h_2, \quad (3.2)$$

где  $h_{\text{ш}}$  – толщина шасси.

2. Расчёт площадей боковой  $S_{\text{б}}$ , верхней  $S_{\text{в}}$  и нижней  $S_{\text{н}}$  стенок блока

$$S_{\text{б}} = 2L_3(L_1 + L_2), \quad S_{\text{в}} = S_{\text{н}} = L_1 L_2. \quad (3.3)$$

3. Определение площадей нагретой зоны, обращённых в области 1, 2 и 4, здесь область 1 – расположена над нагретой зоной, область 2 – под нагретой зоной, а область 4 – между боковой поверхностью нагретой зоны и кожухом

$$S_{31} = S_{32} = l_1 l_2, \quad S_{34} = 2l_3(l_1 + l_2). \quad (3.4)$$

4. Приведённая степень черноты  $\varepsilon_{\text{п}}$  нагретой зоны в областях 1 и 2 рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{\text{п}} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_3} + \left( \frac{1}{\varepsilon_{\text{к}}} - 1 \right) \frac{S_3}{S_{\text{к}}} \right]^{-1}, \quad (3.5)$$

$$S_{\text{к}} = S_{\text{б}} + S_{\text{в}} + S_{\text{н}},$$

где  $\varepsilon_3, \varepsilon_{\text{к}}$  – степени черноты зоны и кожуха выбираются из табл. 3.6.

Приведённая степень черноты нагретой зоны в области 4 равна

$$\varepsilon_{\text{п4}} = \varepsilon_3 \varepsilon_{\text{к}}, \quad (3.6)$$

так как размеры нагретой зоны, обращённой в область 4, могут значительно отличаться от размеров шасси. Для блоков с заполнением в виде кассет или ячеек рекомендуется степень черноты боковой поверхности нагретой зоны определять по выражению для  $\varepsilon_{\text{п}}$ .

5. Ориентировочное значение тепловой проводимости участка от нагретой зоны к кожуху рассчитывается по формуле

$$\sigma_3^1 = 23(L_1 - 2\Delta_4)(L_2 - 2\Delta_4), \quad (3.7)$$

где  $\Delta_4$  – толщина корпуса блока (если блок имеет тонкостенный кожух, то толщину  $\Delta_4$  можно не учитывать).



### 3.6. Степень черноты различных поверхностей

Материал	$\varepsilon$
Алюминий полированный	0,05
Алюминий окислённый	0,25
Алюминий грубополированный	0,18
Алюминиевая фольга	0,09
Асбестовый картон	0,96
Бронза полированная	0,16
Бумага	0,92
Вольфрам	0,05
Графит	0,75
Дюралюминий (Д16)	0,39
Железо полированное	0,26
Золото	0,10
Ковар	0,82
Краски эмалевые	0,92
Лак	0,88
Латунь полированная	0,03
Латунь прокатная	0,20
Медь полированная	0,02
Медь окислённая	0,65
Муар	0,9
Масляные краски	0,92
Никель полированный	0,08
Олово (луженое кровельное железо)	0,08
Платина	0,1
Резина твёрдая	0,95
Резина мягкая	0,86
Серебро полированное	0,05
Сталь никелированная	0,11
Сталь окислённая	0,8
Стальное литьё	0,54
Саиса	0,96
Стекло	0,92
Силумин	0,25
Титан	0,63
Фарфор	0,92
Хром полированный	0,10
Цинк	0,25
Щёллак чёрный матовый	0,91

6. Необходимо задать температуру перегрева кожуха  $\Delta t_k$ . Для блоков, имеющих мощность тепловыделения 100...200 Вт при размерах 300...400 мм, температура перегрева кожуха  $\Delta t_k = 10...15$  °С. В этом случае температура кожуха равна  $t_k = t_c + \Delta t_k$ . Определяющая (средняя) температура  $t_m = (t_k + t_c) / 2$ .

7. Для большинства одиночных блоков ЭС, имеющих небольшую мощность тепловыделения, конвективный теплообмен подчиняется закону степени  $1/4$  [3, 4], исходя из этого предположения рассчитывается коэффициент теплоотдачи  $\alpha_k$  для всех наружных поверхностей кожуха выполняется по формуле

$$\alpha_k = 0,54 (\text{Pr}g\beta)^{1/4} \frac{\lambda_m}{v_m^{1/2}} \left( \frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4} N, \quad (3.8)$$

где  $\beta$  – коэффициент объёмного расширения,  $\text{K}^{-1}$ ;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;  $\text{Pr} = \frac{\nu}{a}$  – критерий Прандтля, определяется из табл. 3.7;  $\nu_m$  – кинематическая вязкость,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda_m$  – теплопроводность,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $t_i$  – температура  $i$ -й грани кожуха;  $L$  – определяющий размер, м (для вертикально ориентированной поверхности это высота, для горизонтально ориентированной поверхности – меньшая сторона);  $N$  – коэффициент ориентации

### 3.7. Теплофизические параметры сухого воздуха при давлении $101,3 \cdot 10^5$ Па

$t_m, \text{°C}$	$\lambda_m \cdot 10^2, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$\nu_m \cdot 10^3, \text{м}^2/\text{с}$	Pr	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$
-50	2,04	9,23	0,728	1,584
-20	2,28	12,79	0,716	1,39
0	2,44	13,28	0,707	1,295
10	2,51	14,16	0,705	1,247
20	2,60	15,06	0,703	1,205
30	2,68	16,00	0,701	1,165
40	2,76	16,96	0,699	1,128
50	2,83	17,95	0,698	1,093
60	2,90	18,97	0,696	1,09
70	2,97	20,02	0,694	1,029
80	3,05	21,09	0,692	1,00
90	3,13	22,10	0,690	0,972
100	3,21	23,13	0,688	0,946
120	3,34	25,45	0,686	0,898

нагретой поверхности: для вертикальной стенки  $N = 1$ , для нагретой поверхности, обращённой вниз,  $N = 0,7$  и вверх  $N = 1,3$ .

Для воздуха значение  $\alpha_k$  равно

$$\alpha_k = A_1 \left( \frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4}. \quad (3.9)$$

Здесь коэффициент  $A_1$  находится по табл. 3.8 в зависимости от температуры  $t_m$ , °С.

Для большинства блоков ЭС кожух выполнен из материала с хорошей теплопроводностью, поэтому его можно считать изотермической поверхностью и, следовательно, температура кожуха в любой точке одинакова.

8. Расчёт коэффициента лучеиспускания выполняется следующим образом:

$$\alpha_{л} = \varepsilon_n \varphi_{12} f(t_1, t_2), \quad (3.10)$$

$$f(t_1, t_2) = 5,67 \frac{\left( \frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_2 + 273}{100} \right)^4}{t_1 - t_2}, \quad (3.11)$$

где  $t_1$  – температура кожуха;  $t_2$  – температура среды;  $\varphi_{12}$  – коэффициент взаимного облучения (для одиночного блока  $\varphi_{12} = 1$ ).

9. Далее рассчитываются полные коэффициенты теплоотдачи с поверхности кожуха:

$$\alpha_{в} = \alpha_{кв} + \alpha_{л}; \quad \alpha_{н} = \alpha_{кн} + \alpha_{л}; \quad \alpha_{б} = \alpha_{кб} + \alpha_{л}, \quad (3.12)$$

где  $\alpha_{кв}$ ,  $\alpha_{кн}$ ,  $\alpha_{кб}$  – коэффициенты теплоотдачи верхней, нижней и боковой поверхностей.

10. Тепловая проводимость кожуха в окружающую среду

$$\sigma_k = \alpha_{в} S_{в} + \alpha_{н} S_{н} + \alpha_{б} S_{б}. \quad (3.13)$$

11. Температура нагретой зоны  $t_3^I$  в первом приближении

$$t_3^I = t_c + (t_k - t_c) \left( 1 + \frac{\sigma_k}{\sigma_3} \right). \quad (3.14)$$

### 3.8. Значения $A_1$ для воздуха

$t_m, \text{°C}$	10	20	30	40	60	80	100
$A_1$	1,4	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27

12. Расчётная мощность  $P^I$  нагретой зоны в предположении, что кожух имеет перегрев  $\Delta t_K$  (заданный в п. б), равна

$$P^I = \sigma_K (t_K - t_c). \quad (3.15)$$

На этом начальный этап заканчивается.

Второй этап предполагает более точное определение тепловой проводимости от нагретой зоны к кожуху.

13. Поскольку область 1 (см. рис. 3.4) замкнутая, то используют конвективно-кондуктивные коэффициенты верхней  $K_v$  и боковой  $K_6$  воздушной прослойки между нагретой зоной и внутренней поверхностью кожуха:

$$k_i = Nf \left( \frac{h_i}{l} \right) A_2 \sqrt[4]{\frac{t_3^I - t_K}{h_i}}, \quad i \in \{v, 6\}, \quad (3.16)$$

где  $h_i$  – толщина воздушной прослойки между нагретой зоной и кожухом в соответствующей области;  $l$  – конвективная составляющая теплопередачи, при этом  $l = \sqrt{l_1 l_2}$  – для верхней области;  $l = \sqrt{l_3 l_2}$  и  $l = \sqrt{l_3 l_1}$  – для боковых областей нагретой зоны и кожуха. Значение  $A_2$  находится из табл. 3.9, а величину  $f(h_i/l)$  находят из графика (рис. 3.5).

### 3.9. Значения $A_2$ для воздуха

$t_m, ^\circ\text{C}$	0	50	100	200
$A_2$	0,63	0,58	0,56	0,44

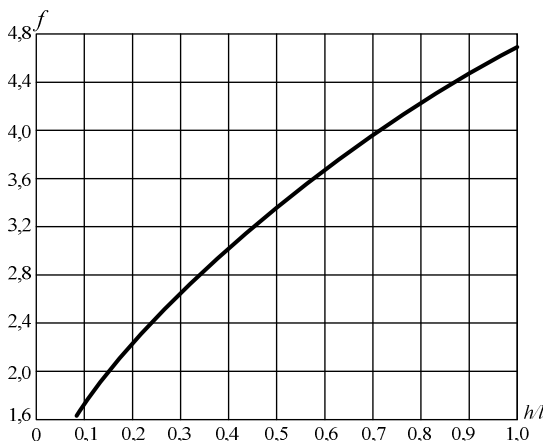


Рис. 3.5. Значение функции  $f(h_i/l)$

В области, расположенной под нагретой зоной и кожухом, конвекция всегда отсутствует, и теплопередача определяется теплопроводностью воздуха (среды).

14. Определяют лучистую составляющую коэффициента теплопередачи областей 1, 2 и 4 (см. рис. 3.4) для воздушного зазора между боковой поверхностью нагретой зоны и кожухом. При этом величина приведённой степени черноты, полученная при расчёте в первом приближении, сохраняется, а коэффициент взаимной облучённости принимается равным единице; температура нагретой зоны берётся равной температуре, полученной при расчёте в первом приближении. В результате получают величины  $\alpha_{л1}$ ,  $\alpha_{л2}$ ,  $\alpha_{л4}$ .

15. Полные коэффициенты теплопередачи всех областей для нагретой зоны, расположенной горизонтально, рассчитываются следующим образом:

$$K_1 = k_1 + \alpha_{л1}; \quad K_4 = k_4 + \alpha_{л4}; \quad K_2 = \lambda_2 / h_n + \alpha_{л2}. \quad (3.17)$$

Для нагретой зоны, ориентированной вертикально, коэффициенты теплопередачи равны

$$K_1 = k_1 + \alpha_{л1}; \quad K_2 = k_2 + \alpha_{л2}; \quad K_4 = (k_1 + k_2) / 2 + \alpha_{л4}. \quad (3.18)$$

16. Температура нагретой зоны  $t_3^{\text{II}}$  во втором приближении определяется выражением

$$t_3^{\text{II}} = t_c + P^{\text{I}} \left( \frac{1}{\sigma_{\text{к}}^{\text{I}}} + \frac{1}{\sigma_{\text{к}}^{\text{II}}} \right), \quad (3.19)$$

где  $\sigma_{\text{к}}^{\text{I}}$  – тепловая проводимость от кожуха в окружающую среду, полученная при расчёте в первом приближении;  $\sigma_{\text{к}}^{\text{II}}$  – тепловая проводимость от нагретой зоны к кожуху, рассчитанная во втором приближении по формуле  $\sigma_{\text{к}}^{\text{II}} = K_1 S_{31} + K_2 S_{32} + K_4 S_{34}$ .

17. Сравнивают температуры нагретой зоны, полученные при расчётах в первом и во втором приближениях. Если разница составляет более 10%, то проводят расчёт в третьем приближении, при этом

$$t_p^{\text{III}} = (t_3^{\text{I}} + t_3^{\text{II}}) / 2. \quad (3.20)$$

Получают одну точку тепловой характеристики блока  $\Delta t_3 = f(P)$  и  $\Delta t_{\text{к}} = f(P)$  (рис. 3.6). Второй точкой будет начало координат. Для получения третьей точки задаются другим значением температуры перегрева кожуха и проводят расчёт заново. По трём полученным точкам строят характеристики  $\Delta t_3 = f(P)$  и  $\Delta t_{\text{к}} = f(P)$ . Искомые температуры

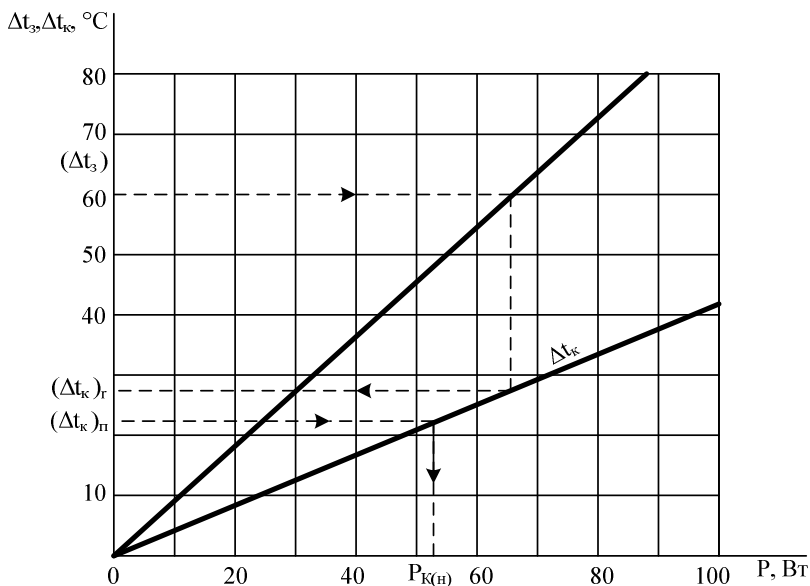


Рис. 3.6. Тепловые характеристики

кожуха и зоны находят по этим характеристикам при мощности фактически рассеиваемой в блоке  $P_n$ .

Если температура перегрева для элементов блока оказывается выше допустимой, то решают вопрос о применении другого вида охлаждения блока, например, использование жалюзи или перфорации в корпусе.

### 3.2.2. ТЕМПЕРАТУРА ПЕРФОРИРОВАННОГО БЛОКА

Для увеличения интенсивности теплоотвода кожух блока перфорируют либо в нём делают жалюзи. При равной площади перфорационных отверстий и жалюзи последние пропускают несколько меньший поток воздуха. Необходимо иметь в виду, что при перфорированном кожухе внутренний объём блока скорее запыляется по сравнению с блоком, имеющим жалюзи. В зависимости от конструктивных особенностей внутреннего строения блока нагретую зону можно представить в нескольких вариантах [3, 4]:

- основной конструктив блока – горизонтальное шасси с расположенными на нём крупногабаритными теплоизлучающими элементами. Предполагается, что шасси имеет отверстия для прохода воздуха;

– блок состоит из ряда кассет или ячеек, расположенных горизонтально или вертикально;

– для шасси с крупногабаритными элементами и кассет, расположенных вертикально или горизонтально, размеры нагретой зоны определяются как и в случае «герметичного» блока.

Тепловые модели блока, используемые при расчётах, приведены на рис. 3.7.

**Исходные данные:**  $P$  – суммарная мощность тепловыделения в блоке (потребляемая мощность блока или выбирается из анализа схемы электрической принципиальной), Вт;  $L_1, L_2, L_3$  – геометрические размеры блока, м;  $S_1, S_2, S_{ш}$  – площади отверстий кожуха в областях 1 и 2 (рис. 3.7, а) и шасси, м<sup>2</sup>;  $t_c$  – температура окружающей среды.

### Последовательность расчёта

1. Расчёт начинают с предположения, что кожух не имеет вентиляционных отверстий, т.е. блок «герметичный». Строят тепловые характеристики по методике расчёта температуры нагретой зоны одиночного блока (рис. 3.6).

2. Задаются перегревом нагретой зоны  $\Delta t_3$  и находят перегрев кожуха герметичного блока для этой температуры. Перегрев кожуха перфорированного блока определяется по формуле

$$(\Delta t_{кп}) = 0,75(\Delta t_{кг}), \quad (3.21)$$

где подстрочные индексы п, г означают соответственно перфорированный и герметичный корпусы.

Затем по графику рис. 3.6 находят мощность  $P_k$ , соответствующую этому перегреву.

3. Задаются коэффициентом теплоотдачи  $\alpha_{зк}^I$  от зоны к кожуху (рекомендуется величину  $\alpha_{зк}^I$  в первом приближении выбирать равной 4...6 Вт/(м<sup>2</sup>·К) [3, 4].

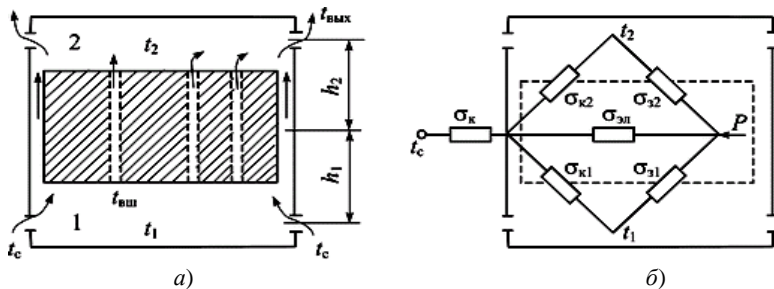


Рис. 3.7. Тепловые модели блока:

а – расчётная модель блока; б – эквивалентная схема тепловых проводимостей

4. Мощность теплоотода от зоны к кожуху за счёт лучеиспускания

$$P_{3л} = \varepsilon_{п} f(t_3, t_k) (t_3 - t_k) \varphi_{3к} S_3, \quad (3.22)$$

где  $\varepsilon_{п}$  – приведённая степень черноты нагретой зоны и внутренней поверхности кожуха (если  $\varepsilon_3$  и  $\varepsilon_k$  имеют значения больше 0,75, то  $\varepsilon_{п} = \varepsilon_3 \varepsilon_k$ , величину  $\varepsilon_{п}$  можно взять из расчёта блока при условии герметичности кожуха);  $\varphi_{3к} = 1$  – кожух «обтягивает» нагретую зону;  $S_3$  – площадь поверхности нагретой зоны (определена ранее при расчёте «герметичного» блока).

5. Температура  $t_1^I$  воздуха в первой (нижней) области определяется решением уравнения

$$at_1^2 + bt_1 + c = 0. \quad (3.23)$$

Здесь

$$a = 2(S_{31} + S_{к1}) - \frac{S_{к1}}{S_{к2}}(S_{32} + S_{к2} - S_{31} - S_{к1}); \quad (3.24)$$

$$b = \left(2 + \frac{S_{к1}}{S_{к2}}\right) A_1 + A_2 - D(S_{32} + S_{к2} - S_{31} - S_{к1}) + \left(S_{31} - S_{к1} \frac{S_{32}}{S_{к2}}\right) t_c; \quad (3.25)$$

$$A_1 = S_{31} t_3 + S_{к1} t_k; \quad A_2 = S_{32} t_3 + S_{к2} t_k; \quad A = A_1 + A_2; \quad (3.26)$$

$$D = S_k \frac{t_k}{S_{к2}} - \frac{P_{3л} - P_k}{\alpha_{3к}^I S_{к2}}; \quad (3.27)$$

$$c = DA_1 + [A - (S_{32} + S_{к2})D] t_c, \quad (3.28)$$

где  $S_{31}$ ,  $S_{32}$ ,  $S_{к1}$ ,  $S_{к2}$  – поверхности нагретой зоны и кожуха в соответствующих областях.

Из двух значений температур выбирают такое, чтобы выполнялось условие  $t_1^I < t_2^I$ , так как температура воздуха в первой области (нижней) всегда ниже, чем во второй (верхней).

6. Температура воздуха во второй области в первом приближении равна

$$t_2^I = D - \frac{S_{к1} t_1^I}{S_{к2}}. \quad (3.29)$$

7. Температура воздуха вблизи отверстий шасси или каналов между вертикальными кассетами  $t_{вш}^I$  рассчитывается по формуле

$$t_{вш}^I = 2t_1^I - t_c. \quad (3.30)$$



8. Температура воздуха на выходе из кожуха  $t_{\text{ВЫХ}}^I$  (из области 2) равна

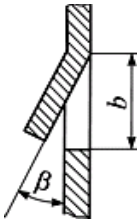
$$t_{\text{ВЫХ}}^I = 2t_2^I - t_{\text{ВШ}}^I. \quad (3.31)$$

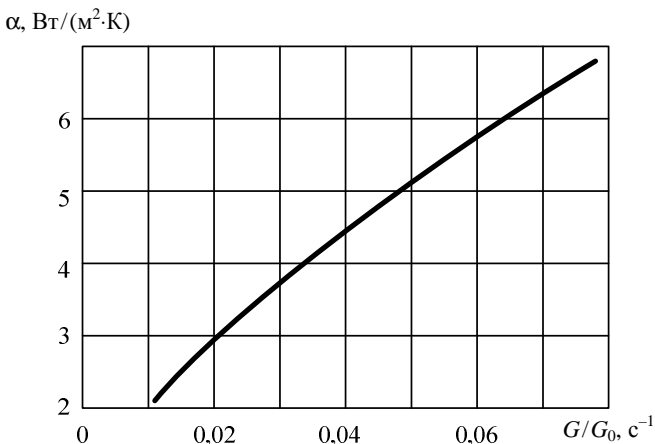
9. Количество протекающего воздуха через блок определяется выражением

$$G^I = S_1 \mu_1 T_c \rho_c \sqrt{2g} \sqrt{\frac{\frac{h_1 + h_2}{T_c} - \frac{h_1}{T_1} - \frac{h_2}{T_2}}{T_c + \left(\frac{S_1 \mu_1}{S_2 \mu_2}\right)^2 T_2 + \left(\frac{S_1 \mu_1}{S_{\text{ш}} \mu_{\text{ш}}}\right)^2 T_1}}, \quad (3.32)$$

где  $S_1, S_2, S_{\text{ш}}$  – площади перфораций в областях 1, 2 и шасси (нагретой зоне);  $h_1$  и  $h_2$  – средневзвешенные расстояния от середины нагретой зоны в областях 1 и 2 до центра группирования отверстий;  $\mu_1, \mu_2, \mu_{\text{ш}}$  – коэффициенты расхода воздуха через жалюзи в соответствующих областях (если имеются перфорации, то  $\mu = 0,65$ ). Величина  $\mu$  для жалюзи зависит от их формы и угла раскрыва (табл. 3.10);  $T_1, T_2, T_c$  – абсолютные температуры соответствующих областей.

### 3.10. Величина $\mu$ для жалюзи при разных углах раскрыва

$\beta$ , град.	Значение $\mu$ при $b/l$			Эскиз жалюзи
	1:4	1:3	1:2	
15	0,30	0,27	0,23	
30	0,45	0,43	0,39	
45	0,56	0,54	0,50	
60	0,62	0,60	0,56	
90	0,65	0,64	0,62	



**Рис. 3.8. Зависимость коэффициента теплопередачи от количества протекающего воздуха и массы заполняющего блок воздуха**

10. По графику (рис. 3.8) уточняют коэффициент теплоотдачи  $\alpha^{\text{II}}$ . Масса воздуха, заполняющего блок, при температуре 20 °С равна

$$G_0 = V_{\text{бл}} K_3 \rho_{\text{в}}, \quad (3.33)$$

где  $V_{\text{бл}}$  – внутренний объём блока;  $K_3$  – коэффициент заполнения блока ( $K_3 = V_{\text{дет}} / V_{\text{бл}}$ );  $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  – плотность воздуха при температуре 20 °С.

11. По уточнённому значению  $\alpha^{\text{II}}$  повторяют расчёт во втором приближении, при этом температуру зоны  $t_3$ , температуру кожуха  $t_{\text{к}}$ , мощности  $P_{\text{эл}}$  (получена по п. 4) и  $P_{\text{к}}$  (получена из графика на рис. 3.6 при перегреве кожуха на  $\Delta t_{\text{к}}$ ) оставляют неизменными.

12. В результате расчёта во втором приближении находят температуры  $t_1^{\text{II}}, t_2^{\text{II}}, t_{\text{вых}}^{\text{II}}$  и  $G^{\text{II}}$ . Затем находят величину отношения  $G^{\text{II}} / G_0$  и по графику (рис. 3.8) уточняют значение  $\alpha^{\text{III}}$ .

13. Мощность, рассеиваемая блоком, во втором приближении равна

$$P^{\text{II}} = P_{\text{к}} + 2G^{\text{II}} c_p (t_2^{\text{II}} - t_1^{\text{II}}), \quad (3.34)$$

где  $c_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоёмкость воздуха при температуре 20 °С.

14. Температура  $t_k^{\text{II}*}$  во втором приближении рассчитывается по формуле

$$t_k^{\text{II}*} = \frac{1}{S_{\text{к1}}} \left[ \frac{2c_p G^{\text{II}}}{\alpha^{\text{II}}} (t_1 - t_c) + (S_{31} + S_{\text{к1}}) t_1^{\text{II}} - S_{31} t_3^{\text{II}} \right]. \quad (3.35)$$

15. Если величина разности температур  $t_k$  и  $t_k^{\text{II}}$  составляет более 5%, то проводят расчёт в третьем приближении:

$$t_k^{\text{III}} = t_k^{\text{II}} - 0,1(t_k - t_k^{\text{II}}). \quad (3.36)$$

Для найденной температуры  $t_k^{\text{III}}$  по графику (рис. 3.6) находят мощность, рассеиваемую кожухом блока, в третьем приближении  $P_k^{\text{III}}$ .

16. Находят значение функции температур  $f(t_3, t_k^{\text{III}})$  по формуле (3.11) и определяют  $P_{31}^{\text{III}}$ . Далее уточняют величину  $D^{\text{III}}$  с учётом  $(P_{31}^{\text{II}} - P_k^{\text{III}})$ ; здесь  $P_k^{\text{III}}$  получена из графика при температуре  $t_k^{\text{III}}$ . Рассчитывают  $t_1^{\text{III}}, t_2^{\text{III}}, t_3^{\text{III}}$  и находят  $G^{\text{III}}$ .

17. По полученным данным из графика (рис. 3.8) находят  $\alpha^{\text{III}}$ . Мощность, рассеиваемая блоком, в третьем приближении равна

$$P^{\text{III}} = P_k^{\text{III}} + 2G^{\text{III}} c_p (t_2^{\text{III}} - t_1^{\text{III}}). \quad (3.37)$$

18. Температура кожуха в третьем приближении определяется выражением

$$t_k^{\text{III}*} = \frac{1}{S_{\text{к1}}} \left[ \frac{2G^{\text{III}} c_p}{\alpha^{\text{III}}} (t_1^{\text{III}} - t_2) + (S_{31} + S_{\text{к1}}) t_1^{\text{III}} - S_{31} t_3 \right]. \quad (3.38)$$

19. Окончательные значения температуры кожуха  $t_k$  и рассеиваемой мощности  $P$  в блоке находятся из соотношений

$$\frac{t_k - t_k^{\text{III}}}{t_k - t_k^{\text{III}*}} = \frac{t_k^{\text{II}} - t_k^{\text{III}}}{t_k^{\text{II}*} - t_k^{\text{III}*}}; \quad P = P^{\text{III}} + \frac{t_k - t_k^{\text{III}}}{t_k^{\text{II}} - t_k^{\text{III}}} (P^{\text{II}} - P^{\text{III}}). \quad (3.39)$$

Полученные в результате расчёта мощность  $P$  и соответствующая ей температура  $t_k$  наносятся на график рис. 3.6. По двум точкам строят характеристику  $\Delta t_k = f(P)$  (начало координат и  $t_k$ ). Зная фактическую мощность, рассеиваемую в блоке, по этим двум характеристикам окончательно находят температуры перегрева зоны и кожуха. В случае если они оказываются больше допустимых, необходимо увеличить площадь перфорационных отверстий либо перейти на принудительное охлаждение (вентиляцию) блока.

### 3.2.3. ТЕМПЕРАТУРА ЭЛЕМЕНТОВ БЛОКА С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

В блоках аппаратуры, построенных по кассетному принципу, удельная мощность тепловыделения оказывается весьма большой, что заставляет разработчиков использовать воздушное принудительное охлаждение (рис. 3.9). Воздух под напором вентилятора нагнетается в блок через входное отверстие, омывает тепловыделяющие элементы и через выходное отверстие выбрасывается наружу. Предполагается, что тепловыделение всех микросхем одинаково. Микросхемы располагаются на печатных платах, входящих в кассеты. Кассеты расположены вдоль воздушного потока и расстояние между ними не менее 3 мм. Для обеспечения равенства сечений воздушных каналов в блоке имеются выравнивающие заслонки [3, 4].

**Исходные данные:**  $P_3$  – мощность, выделяемая всеми элементами блока, Вт (потребляемая мощность блока или выбирается из анализа схемы электрической принципиальной);  $N_{\Pi}$  – число печатных плат (кассет) в блоке;  $L_y$  и  $L_z$  – внутренние размеры кожуха по координатам  $Y$  и  $Z$ ;  $h_{\Pi}$  – толщина печатной платы;  $l_y$  – ширина печатной платы;  $l_{zy}$  и  $l_{zx}$  – размеры элемента (микросхемы).

#### Последовательность расчёта

1. Задаются объёмным расходом воздуха  $G$  (берётся из справочных данных на применяемые типы вентиляторов).
2. Площадь среднего поперечного сечения воздушного канала на расстоянии  $x$  от входного отверстия определяется по формуле

$$S_x = L_y L_z - h_{\Pi} l_{\Pi} N_{\Pi} - \sum_{i=1}^{2N_{\Pi}} l_{zyi} l_{zxi} n_{yi}. \quad (3.40)$$

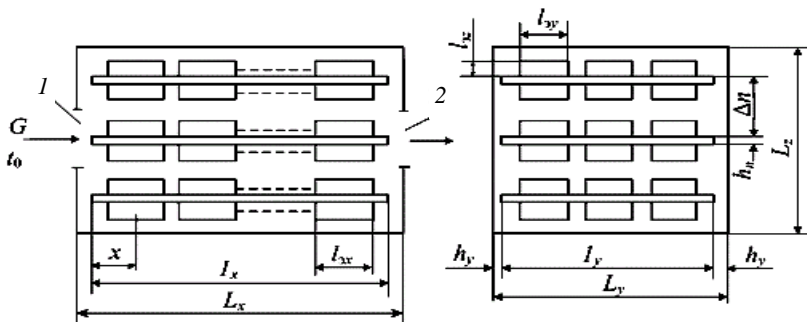


Рис. 3.9. Схема блока кассетной конструкции с принудительным воздушным охлаждением:

1 – входное отверстие; 2 – выходное отверстие

3. Число Рейнольдса равно

$$\text{Re}_3 = \frac{Gl'}{\nu S_x}, \quad (3.41)$$

где  $l'$  – определяющий размер микросхемы в направлении воздушного потока;  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха.

4. Коэффициент теплоотдачи  $i$ -й микросхемы рассчитывается по формуле

$$\alpha_3 = 0,8 \frac{\lambda_B}{l'} \sqrt{\text{Re}_3}. \quad (3.42)$$

5. Перегрев воздуха  $\vartheta_{в3}$ , протекающего вблизи микросхемы, расположенной на расстоянии  $x$  от начала платы:

$$\vartheta_{в3} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{3i}}{1000G\rho}, \quad (3.43)$$

где  $P_{3i}$  – мощность тепловыделения  $i$ -го элемента, расположенного до сечения  $x$ ;  $\rho$  – плотность воздуха;  $G$  – объёмный расход воздуха.

6. Перегрев воздуха  $\vartheta_3$  за счёт тепловыделения одного дискретного элемента

$$\vartheta_3 = \vartheta_{в3} + \frac{P_3}{\alpha_3 S_3}, \quad (3.44)$$

где  $S_3$  – площадь поверхности элемента, омываемая воздушным потоком.

Температура поверхности корпуса элемента равна

$$t_3 = t_0 + \vartheta_3, \quad (3.45)$$

где  $t_0$  – температура воздушного потока на входе блока.

7. Средний перегрев воздуха  $\vartheta_B$  на выходе блока определяется по формуле

$$\vartheta_B = \frac{\sum P_3}{1000G\rho}. \quad (3.46)$$

Приведённый расчёт справедлив для одиночного блока. Если в набегающем воздушном потоке располагается вентилятор, то к суммарной мощности тепловыделения микросхем необходимо добавить мощность тепловыделения вентилятора.

### 3.3. РАСЧЁТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК БЛОКА

*Статический расчёт амортизаторов.* Целью расчёта является определение статических нагрузок на амортизаторы и выбор их типоразмеров.

Расчёт начинают с нахождения положения центра масс блока. Обычно считают, что для таких изделий положение центра масс для каждого функционального узла и крупного узла или детали совпадает с центром симметрии (рис. 3.10).

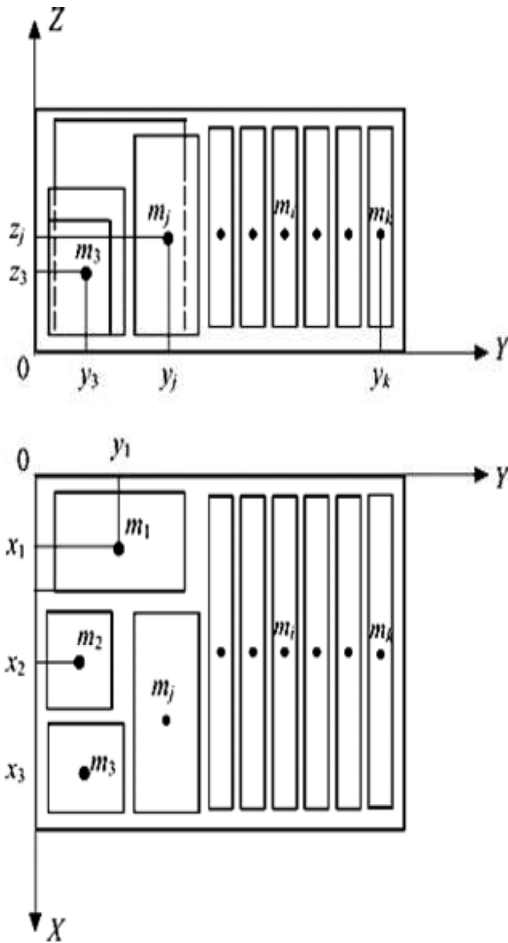


Рис. 3.10. К определению положения центра масс

Используя моменты первого рода, находят координаты центра масс блока [4]:

$$X_M = \frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i}; Y_M = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}; Z_M = \frac{\sum z_i m_i}{\sum m_i},$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты центров масс функциональных узлов и деталей, входящих в блок;  $m_i$  – массы этих изделий.

Наиболее часто используют вариант симметричного расположения амортизаторов на блоке РЭС (рис. 3.11). Амортизаторы располагают на блоке таким образом, чтобы проекции амортизаторов на плоскость  $XU$  не выходили за контур проекции блока.

Определяют координаты центра жёсткости амортизаторов, используя моменты первого рода:

$$X_c = \frac{\sum c_{xi} x_i}{\sum c_{xi}}; Y_c = \frac{\sum c_{yi} y_i}{\sum c_{yi}}; Z_c = \frac{\sum c_{zi} z_i}{\sum c_{zi}},$$

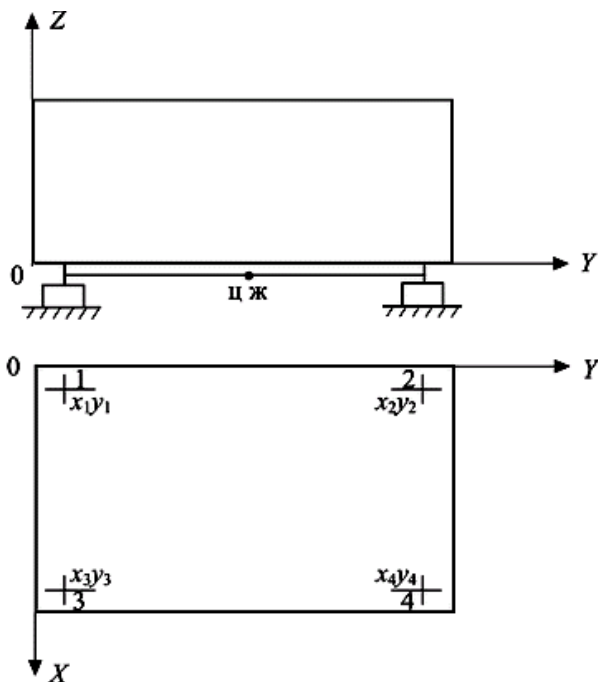


Рис. 3.11. Схема расположения амортизаторов на блоке РЭС

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты размещения амортизаторов;  $\sum c_{xi}, \sum c_{yi}, \sum c_{zi}$  – суммарная статическая жёсткость амортизаторов в направлении соответствующих координат;  $\sum c_{xi}x_i, \sum c_{yi}y_i, \sum c_{zi}z_i$  – статические моменты жёсткости амортизаторов относительно координатных плоскостей.

3. Условия статического равновесия системы амортизации:

$$\begin{aligned} \sum p_i &= G; \\ \sum p_i x_i &= 0; \quad \sum p_i y_i = 0; \quad \sum p_i z_i = 0; \\ \sum p_i x_i y_i &= 0; \quad \sum p_i x_i z_i = 0; \quad \sum p_i y_i z_i = 0, \end{aligned}$$

где  $p_i$  – весовая нагрузка, приходящаяся на  $i$ -й амортизатор;  $G$  – вес блока.

Блок устанавливается на носителе без перекосов (поэтому  $Z = 0$ ), тогда получаем

$$\sum P_i = G; \quad \sum p_i x_i = 0; \quad \sum p_i y_i = 0.$$

4. Задаваясь координатами размещения амортизаторов, получают систему из четырёх линейных уравнений [4]:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ x_1 y_1 & x_2 y_2 & x_3 y_3 & x_4 y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

5. Решая эту систему (например, с помощью программ MathCAD) относительно нагрузок на амортизаторы, находят статические нагрузки на амортизаторы:  $p_1, p_2, p_3, p_4$ .

6. По полученным статическим нагрузкам и условиям эксплуатации выбирают типоразмер амортизатора.

При несовпадении центра масс блока с центром симметрии статическая нагрузка на амортизаторы будет разная и, следовательно, осадка однотипных амортизаторов будет различна. Для устранения перекоса блока вводят выравнивающие прокладки между амортизатором и корпусом блока.

7. Осадка амортизаторов

$$\delta_{z1} = p_1 c_{z1}; \quad \delta_{z2} = p_2 c_{z2}; \quad \delta_{z3} = p_3 c_{z3}; \quad \delta_{z4} = p_4 c_{z4}.$$



Из полученных значений  $\delta_{zi}$  выбирают наименьшее и относительно  $\delta_{zi \min}$  определяют толщину выравнивающих прокладок под остальные три амортизатора:

$$\Delta_{\text{пр}} = \delta_{zi} - \delta_{zi \min},$$

где  $\Delta_{\text{пр}}$  – толщина выравнивающей прокладки под соответствующий амортизатор.

Таким образом, в результате расчёта получают координаты размещения амортизаторов, их типоразмеры и толщину выравнивающих прокладок.

**Резонансные частоты блока на амортизаторах.** Расчёт резонансных частот блока может быть произведён только после определения и выбора типоразмеров амортизаторов, т.е. после проведения статического расчёта амортизации. Из проведённого расчёта определяется положение (координаты) центров тяжести и жёсткости блока, при этом могут встретиться три варианта:

- центр масс и центр жёсткости разнесены;
- центр масс и центр жёсткости лежат на одной вертикали;
- центр масс и центр жёсткости совпадают.

При проведении этого расчёта пренебрегают силами трения, поэтому демпфирующие свойства амортизаторов не учитываются, что приводит к некоторой неточности в определении резонансных частот, но значительно упрощает процесс вычислений.

1. Расчёт начинают с определения координат расположения центра масс (нахождение координат центра масс). Исходя из условий эксплуатации и с учётом статической нагрузки на амортизаторы, выбирают типоразмеры амортизаторов.

2. Задаются расположением амортизаторов на блоке и находят координаты их расположения, при этом начало координат совмещают с центром масс.

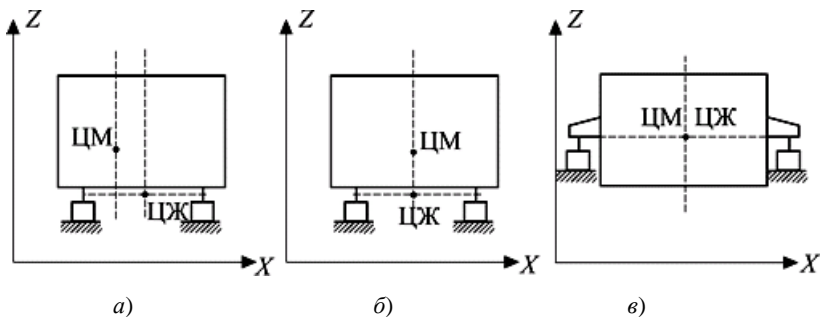
Первый случай расчётной модели (рис. 3.12, а) приводит к необходимости решения системы из шести линейных дифференциальных уравнений, из которой находят шесть резонансных частот; при этом частоты оказываются взаимосвязанными [4, 3].

Система исходных расчётных выражений первой модели:

$$m\ddot{x} + \sum c_x x + \sum c_x x \varphi_y - \sum c_x y \varphi_z = 0; \quad (3.47)$$

$$m\ddot{y} + \sum c_y y - \sum c_y z \varphi_x - \sum c_y x \varphi_z = 0; \quad (3.48)$$

$$m\ddot{z} + \sum c_z z + \sum c_z y \varphi_z - \sum c_z x \varphi_y = 0; \quad (3.49)$$



**Рис. 3.12. Взаимное расположение центров масс и жёсткости:**  
*a* – ЦМ и ЦЖ разнесены; *б* – ЦМ и ЦЖ лежат на оси *Z*;  
*в* – ЦМ и ЦЖ совпадают

$$J_x \ddot{\varphi}_x - J_{xy} \ddot{\varphi}_y - J_{xz} \ddot{\varphi}_z - \sum c_y z y + \sum c_z y + \sum (c_z y^2 + c_y z^2) \varphi_x - \sum c_z x y \varphi_y - \sum c_y x z = 0; \quad (3.50)$$

$$-J_{xy} \ddot{\varphi}_x - J_y \ddot{\varphi}_y - J_{yz} \ddot{\varphi}_z + \sum c_x z x - \sum c_z x + \sum (c_z z^2) \varphi_y - \sum c_z x y \varphi_x - \sum c_x y z \varphi_z = 0; \quad (3.51)$$

$$-J_{xz} \ddot{\varphi}_x - J_{yz} \ddot{\varphi}_y - J_z \ddot{\varphi}_z + \sum c_x z x - \sum c_y x + \sum (c_z y^2 + c_y x^2) \varphi_z - \sum c_y x z \varphi_x - \sum c_x y z \varphi_y = 0, \quad (3.52)$$

где  $c_x, c_y, c_z$  – упругая жёсткость амортизаторов в направлении  $X, Y, Z$ ;  $x, y, z$  – координаты амортизаторов относительно координатных осей (если начало координат совпадает с центром масс, то оси являются главными);  $J_x = \frac{1}{2} m(L_z^2 + L_y^2)$ ,  $J_y = \frac{1}{2} m(L_z^2 + L_x^2)$ ,  $J_z = \frac{1}{2} m(L_x^2 + L_y^2)$  – моменты инерции блока относительно координатных осей;  $J_{xy}, J_{yz}, J_{zx}$  – центробежные моменты инерции относительно координатных плоскостей;  $m$  – масса блока;  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$  – углы поворота относительно координатных осей.

Решая эту систему уравнений, находят шесть частот собственных колебаний: три линейных и три вращательных. Данная система допускает решения, отличные от нуля, если её определитель равен нулю.

Решение системы находят в виде

$$\delta_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi); \delta_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi); \delta_3 = A_3 \cos(\omega t + \varphi);$$

$$\delta_4 = A_4 \cos(\omega t + \varphi); \delta_5 = A_5 \cos(\omega t + \varphi); \delta_6 = A_6 \cos(\omega t + \varphi).$$

Подставляя эти выражения в исходные уравнения (3.47) – (3.52), записывая коэффициенты при соответствующих координатах в виде определителя и решая его, находят постоянные коэффициенты уравнения шестой степени относительно  $\omega^2$ :

$$A\omega^{12} + B\omega^{10} + C\omega^8 + D\omega^6 + E\omega^4 + F\omega^2 + G = 0.$$

Если блок установлен на амортизаторах без перекосов, а центры масс и жёсткости лежат на одной вертикали, кроме того, использованы амортизаторы одного типоразмера, у которых упругая жёсткость по  $X$  и  $Y$  одинакова, то при выполнении этих условий расчётная модель соответствует варианту 2.

Система дифференциальных уравнений распадается на два уравнения независимых и четыре попарно связанных:

$$m\ddot{z} + \sum c_z z = 0; \quad (3.53)$$

$$J_z \ddot{\phi}_z + \sum (c_x y^2 + c_y x^2) \phi_z = 0; \quad (3.54)$$

$$m\ddot{x} + \sum (c_x y^2 + c_y x^2) \phi_z = 0; \quad (3.55)$$

$$J_y \ddot{\phi}_y + \sum c_x z x + \sum (c_x z^2 + c_z x^2) \phi_y = 0; \quad (3.56)$$

$$m\ddot{y} + \sum c_y y - \sum c_y z \phi_x = 0; \quad (3.57)$$

$$J_x \ddot{\phi}_x + \sum c_y y + \sum (c_z y^2 + c_y z^2) \phi_x = 0. \quad (3.58)$$

Из уравнений (3.53) и (3.54) определяют частоты собственных колебаний вдоль оси  $Z$  и вращательных колебаний вокруг этой оси:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\sum c_z}{m}}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{\sum (c_x y^2 + c_y x^2)}{J_z}}.$$

Из уравнений (3.55) и (3.56) находят ещё две частоты  $\omega_3$  и  $\omega_4$ , решая биквадратное уравнение

$$\omega_{3,4}^4 - a_1 \omega_{3,4}^2 + b_1 = 0,$$

где

$$a_1 = \frac{\sum (c_x z^2 + c_z x^2)}{J_y} + \frac{\sum c_x}{m};$$

$$b_1 = \frac{\sum (c_x) \sum (c_x z^2 + c_z x^2) - (\sum c_x z)^2}{m J_y}.$$

Из уравнений (3.57) и (3.58) находят частоты  $\omega_5, \omega_6$ , решая биквадратное уравнение

$$\omega_{5,6}^4 - a_1 \omega_{5,6}^2 + b_2 = 0,$$

где

$$a_1 = \frac{\sum (c_z y^2 + c_y z^2)}{J_x} + \frac{\sum c_y}{m};$$

$$b_2 = \frac{\sum (c_y) \sum (c_z y^2 + c_y z^2) - (\sum c_y z)^2}{m J_x}.$$

Если расчётная схема удовлетворяет требованиям третьего варианта, т.е. к перечисленным условиям добавить, что амортизаторы расположены симметрично и центр жёсткости совпадает с центром масс, то система уравнений распадается на шесть независимых частот собственных колебаний:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\sum c_x}{m}}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{\sum c_y}{m}}; \quad \omega_3 = \sqrt{\frac{\sum c_z}{m}}; \quad \omega_4 = \sqrt{\frac{\sum (c_z y^2 + c_y z^2)}{J_x}};$$

$$\omega_5 = \sqrt{\frac{\sum (c_z z^2 + c_z z^2)}{J_y}}; \quad \omega_6 = \sqrt{\frac{\sum (c_x y^2 + c_y x^2)}{J_z}}.$$

Используя полученные выражения, находят собственные частоты колебаний блоков.

Абсолютно совместить центр жёсткости с центром масс практически невозможно, как и расположить на одной вертикали, поэтому в инженерных задачах всегда возникает вопрос о степени приближения этих точек.

Для практических задач при размерах блоков в пределах 600 мм можно считать, что центры масс и жёсткости совпадают, если разность между ними не превышает 10 мм, но при меньших размерах блоков эту величину пропорционально уменьшают.

## 4. НАДЁЖНОСТЬ РЭС

---

---

### 4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЁЖНОСТИ

Надёжность есть комплексное свойство РЭС сохранять во времени значения параметров, характеризующих выполнение требуемых функций, в установленных пределах при соблюдении оговорённых условий эксплуатации. В зависимости от назначения РЭС и условий применения надёжность может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность – свойство РЭС непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство РЭС сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния (ремонт нецелесообразен) при установившейся системе технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство РЭС, заключающееся в приспособлении к предупреждению, обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, а также к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём проведения ТО и ремонта.

Сохраняемость – свойство РЭС сохранять значения параметров, характеризующих выполнение требуемых функций в течение и после хранения или транспортирования.

РЭС находится в работоспособном состоянии, если оно способно выполнять все требуемые функции, сохраняя значения параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией (НТД). Исправным считается состояние, когда РЭС соответствует всем без исключения требованиям НТД. Таким образом, работоспособное состояние отличается от исправного тем, что в работоспособном состоянии допускаются некоторые отклонения от требований нормативно-технической и конструкторской документации, которые не влияют на качество функционирования РЭС (например, наличие царапин или вмятин на корпусе и т.п.).

РЭС находится в неработоспособном состоянии, если значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнения заданных функций, не соответствует требованиям ТД. Неисправным называется состояние, когда РЭС не соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической и конструкторской документации.

Предельным считается состояние РЭС, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо невозможно восстановление его работоспособного состояния.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности РЭС, называется отказом.

Повреждением называется событие, заключающееся в нарушении исправного состояния (корпус, кожух) при нарушении работоспособности.

При анализе надёжности РЭС рассматривается как система (сложный объект), логическую связь компонентов которой отображает структурная схема надёжности. В первую очередь при анализе определяются:

- 1) состояния, которые являются отказами системы, факт возникновения отказа устанавливается критериями отказа согласно нормативно-технической документации;

- 2) характер процессов возникновения отказов компонентов исследуемой системы, эти процессы описывают с помощью вероятностных законов и дифференциальных уравнений;

- 3) конфигурацию (структуру) системы, которая отражает характер соединения компонентов, правила работы, наличие резервирования, схему обслуживания и т.п.

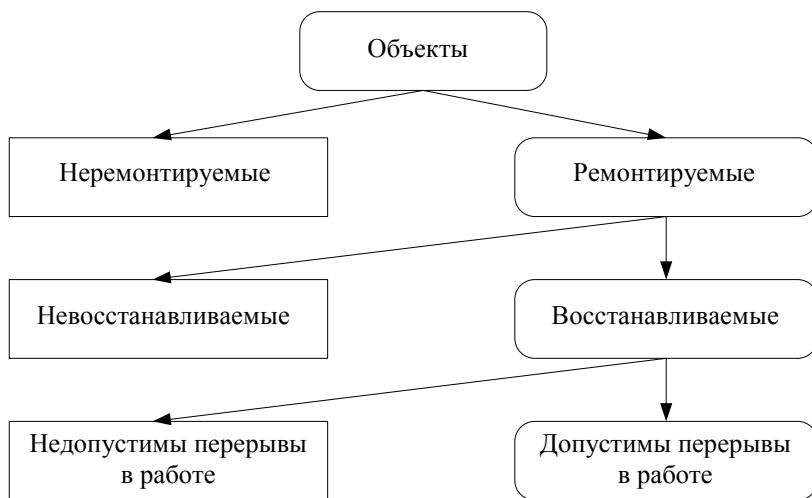
Важную роль при рассмотрении надёжности играет выделение класса системы по отношению к ремонту и восстановлению. Восстановление это процесс обнаружения и устранения отказа (повреждения) с целью восстановления его работоспособности. Объект (система) называется восстанавливаемым, если работоспособность его в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемых условиях, и невосстанавливаемым – если не подлежит. Один и тот же объект в зависимости от ситуации может быть восстанавливаемым или невосстанавливаемым. Например, аппаратура спутника на этапе хранения и подготовки к старту – восстанавливаемая, а во время полёта – невосстанавливаемая.

Ремонт представляет собой комплекс операций по восстановлению исправности и работоспособности объекта, а также восстановлению ресурса объекта или его составных частей. Заметим, что ресурс (технический ресурс) – наработка объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после среднего или капитального ремонта до наступления предельного состояния. Под наработкой понимается продолжительность или объём работы объекта.

Ремонт объекта может выполняться заменой или восстановлением отдельных элементов и сборочных единиц. Объект называется ремонтируемым, если исправность его в случае возникновения отказа

или повреждения подлежит восстановлению, проведение ремонта объекта предусматривается в НТД. Объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа (повреждения) не подлежит восстановлению, – неремонтируемый. Таким образом, понятие ремонт предусматривает возможность замены отказавших частей и не увязывается с рассматриваемыми условиями (ситуацией). Классификация объектов по отношению к ремонту и восстановлению приведена на рис. 4.1.

Основным компонентом модели надёжности объекта, т.е. технического изделия (элемента, системы) определённого целевого назначения, рассматриваемого в период проектирования, является закон распределения случайного времени  $T$  работы до отказа. Существует два основных пути определения распределения времени  $T$ . Первый состоит в утверждении некоторых исходных принципов, которые особенно полезны при недостаточности наших познаний а priori. При этом подходе нужно полагаться на физическое толкование для постулирования формы кривых интенсивностей отказов. Второй метод оперирует с эмпирическими данными, полученными в результате проведения и обработки результатов испытаний, а также при наблюдении за работой различных образцов оборудования в процессе эксплуатации систем, в которых применяются аналогичные элементы, работающие в подобных условиях. При таком подходе по полученным экспериментальным



**Рис. 4.1. Классификация объектов относительно ремонта и восстановления**

данным строят гистограмму для времени  $T$  и определяют соответствующую функцию распределения отказов. Наиболее предпочтительна комбинация указанных методов, когда для определения распределения времени  $T$  используются достаточные статистические данные и представление о механизме возникновения отказов на основе физико-химических и других соображений.

Знание законов распределения времени работы до отказа и времени ремонта необходимо при расчёте показателей надёжности (ПН) систем, т.е. технических характеристик, количественно определяющих одно или несколько свойств, составляющих надёжность объекта – безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость.

## 4.2. РАСЧЁТ НАДЕЖНОСТИ БЛОКА РЭС

В зависимости от класса разрабатываемого объекта, его назначения, исходных данных на проектирование последовательность проведения расчётов надёжности может быть различной. При расчёте надёжности необходимо выполнить следующие этапы:

- 1) дать характеристику объекта с точки зрения надёжности;
- 2) выбрать основные показатели надёжности и нормы, относительно которых будет оцениваться надёжность устройств;
- 3) выбрать, обосновать метод расчёта и рассчитать надёжность устройства с точки зрения различных влияющих факторов;
- 4) общие выводы.

1. Характеристика объекта с точки зрения надёжности является первоначальным этапом при расчёте устройства. При описании объекта необходимо оценить его функционирование с учётом всех возможных режимов работы: температурных режимов элементов схемы; необходимо знать токи, напряжения на них; учитывать качество соединений и паек. В соответствии с этим делаются выводы о ремонтпригодности устройства, выявляются наиболее опасные с точки зрения надёжности элементы схемы и при расчёте надёжности уделить им особое внимание.

2. На втором этапе необходимо обосновать группу показателей надёжности, которая в полной мере характеризует надёжностные свойства исследуемого объекта, их называют нормируемыми показателями надёжности (ПН). На последующих этапах ПН рассчитываются и сравниваются с допустимыми значениями и делается вывод – удовлетворяет ли данный разрабатываемый объект требованиям надёжности или нет.

Нормируемые ПН рекомендуется определять в следующей последовательности: в зависимости от ремонтпригодности, ограничений на



продолжительность эксплуатации, временного режима использования и определение фактора при оценке последствий отказа. По таблице 7 [8] выбирается шифр, соответствующий перечисленным критериям; полученный результат следует подставить в табл. 8 [8] и выбрать нормируемые ПН.

3. Основным этапом проектирования устройства является числовой расчёт надёжности электрической схемы, он включает в себя четыре этапа:

- 1) прикидочный расчёт;
- 2) расчёт схемы с учётом условий эксплуатации;
- 3) расчёт надёжности элементной базы;
- 4) расчёт надёжности с учётом других видов отказов.

Прикидочный расчёт производится с целью проверки возможности выполнения требований технического задания по надёжности, исходные данные и результаты расчёта рекомендуется представлять в форме табл. 4.1.

По данным табл. 4.1 рассчитываются граничные и средние значения интенсивностей отказов, а также другие показатели безотказности электрической схемы:

$$\lambda_{\min}^n = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{j \min}, \quad \lambda_{\max}^n = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{j \max}, \quad \lambda_{\text{cp}}^n = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{j \text{cp}};$$

$$P_{\min}^n(t) = \exp[-\lambda_{\max}^n t], \quad P_{\max}^n(t) = \exp[-\lambda_{\min}^n t], \quad P_{\text{cp}}^n(t) = \exp[-\lambda_{\text{cp}}^n t];$$

$$m_{t \min}^n = 1/\lambda_{\max}^n, \quad m_{t \max}^n = 1/\lambda_{\min}^n, \quad m_{t \text{cp}}^n = 1/\lambda_{\text{cp}}^n,$$

где  $m$  – число типов элементов схемы.

#### 4.1. Исходные данные и результаты расчёта

Порядковый номер и тип элемента	Число элементов каждого типа $n_j$	Границы и среднее значение интенсивности отказов $\lambda_j \cdot 10^6, 1/\text{ч}$ , $\lambda_{j \min}, \lambda_{j \text{cp}}, \lambda_{j \max}$	Суммарные значения интенсивности отказов элементов определённого типа $n_j \lambda_j \cdot 10^6, 1/\text{ч}$ , $n_j \lambda_{j \min}, n_j \lambda_{j \text{cp}}, n_j \lambda_{j \max}$
1. Резисторы			
2. Конденсаторы			
3. Диоды			
4. Пайки			
...			

Расчёт безотказности конструируемого объекта с учётом условий эксплуатации аппаратуры производится с целью установления зависимости безотказности работы устройства от внешних влияющих факторов производится с помощью поправочных коэффициентов для интенсивностей отказов по формуле

$$\lambda_j^3 = \lambda_{oj} K_{1,2j} K_{3j} K_{4j},$$

где  $\lambda_{oj}$  – интенсивность отказов  $j$ -го элемента в номинальном режиме;  $K_{1,2j}$  – коэффициент, учитывающий одновременное воздействие вибрации и ударных нагрузок;  $K_3, K_4$  – коэффициенты, учитывающие воздействие климатических факторов и высоты соответственно.

Если в объекте содержится  $n_j$  однотипных элементов, имеющих одинаковые значения  $\lambda_j$  и  $K_j^3$ , то для всей электрической схемы интенсивность  $\lambda_{cx}^3$  определяется по формуле

$$\lambda_{cx}^3 = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{oj} K_j^3.$$

Значения интенсивности и поправочных коэффициентов приведены в таблицах П.3.1 – П.3.3 [8].

Исходные данные интенсивности отказов  $\lambda_{cx}^3$  для расчёта электрической схемы с учётом условий эксплуатации заносятся в табл. 4.2.

#### 4.2. Исходные данные интенсивности отказов

Номер и наименование элемента	Обозначение на схеме	Тип элемента	Количество элементов $j$ -го типа $n_j$ , шт.	Интенсивность отказов в номинальном режиме $\lambda_{oj} \cdot 10^6, 1/ч$	Поправочные коэффициенты						Интенсивность отказов элемента $j$ -го типа с учётом условий эксплуатации, $n_j \lambda_{oj} K_j^3 \cdot 10^6, 1/ч$
					$K_{1j}$	$K_{2j}$	$K_{1,2j}$	$K_{3j}$	$K_{4j}$	$K_j^3$	

Уточнённый расчёт показателей безотказности производится, когда конструкция объекта в основном определена. Здесь прежде всего учитывается отклонение электрической нагрузки ЭЭС и окружающей их температуры от номинальных значений. Интенсивности отказов  $j$ -го типа и всей схемы рассчитывается по формулам:

$$\lambda_j^y = \lambda_j^3 a_j, \quad \lambda_{\text{сх}}^y = \lambda_{\text{сх}} = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_j^y,$$

где  $a_j$  – поправочный коэффициент, определяемый как функция коэффициента  $K_{nj}$ , учитывающего электрическую нагрузку, и температуры  $T_j$  для элемента  $j$ -го типа. Значения коэффициентов для некоторых элементов приведены в табл. П.4.1 – П.4.4 [8].

Коэффициенты нагрузки для резисторов и конденсаторов определяются соответственно по формулам:

$$K_n = W/W_d, \quad K_n = (U_{\text{п}} + U_{\text{имп}} + U_{\text{пер}}) / U_{\text{ном}},$$

где  $W_d, W$  – допустимая и средняя мощность, рассеиваемая на резисторе;  $U_{\text{ном}}, U_{\text{п}}$  – номинальное и постоянное напряжение на конденсаторе;  $U_{\text{имп}}$  – амплитуда импульсного напряжения;  $U_{\text{пер}}$  – амплитуда переменной составляющей напряжения.

### 4.3. Коэффициенты нагрузки для резисторов и конденсаторов

Номер и наименование элемента	Обозначение на схеме	Тип элемента	Количество элементов $j$ -го типа $n_j$ , шт.	Интенсивность отказов в номинальном режиме $\lambda_{oj} \cdot 10^6, 1/ч$	Поправочные коэффициенты			Уточнённая интенсивность отказов элемента $j$ -го типа с учётом условий эксплуатации $\lambda_j^3 a_j \cdot 10^6, 1/ч$	Уточнённая интенсивность отказов элементов $j$ -го типа $n_j \lambda_j a_j \cdot 10^6, 1/ч$
					$K_{nj}$	$T_j, ^\circ\text{C}$	$a_j$		

Для удобства расчёта  $\lambda_{cx}^y$  заполняется табл. 4.3.

Для транзисторов в качестве  $K_n$  берётся максимальный из следующих коэффициентов:

$$U_{кэ}/U_{кэ.д}, U_{кб}/U_{кб.д}, U_{эб}/U_{эб.д}, W/W_d,$$

где  $U_{кэ}$ ,  $U_{кб}$ ,  $U_{эб}$  – прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой;  $U_{кэ.д}$ ,  $U_{кб.д}$ ,  $U_{эб.д}$  – допустимое прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой;  $W_d$ ,  $W$  – допустимая и рассеиваемая на транзисторе мощности.

Для диодов коэффициент нагрузки берётся с учётом коэффициентов по прямому току  $I_{пр}$ , обратному току  $I_{обр}$  и напряжению  $U$ , тогда

$$K_n = \left\{ (I_{обр.раб}/I_{обр.ном}); (I_{обр.раб}/I_{обр.ном}); (U_{раб}/U_{ном}) \right\}.$$

Коэффициент нагрузки для контактов реле, выключателей, коммутационных устройств и монтажных проводов определяется отношением рабочего и номинального токов:  $K_n = I_{раб}/I_{ном}$ , а для обмоток реле и электромагнитов – относительным временем нахождения их под нагрузкой или относительной наработкой.

В заключение анализа надёжности разрабатываемого объекта рассчитываются окончательные значения нормируемых ПН, которые учитывают все возможные виды отказов – отказы элементов электрической схемы, конструкционные, технологические, эксплуатационные и др.

Например, анализ данных по отказам РЭС показывает, что 60% всех отказов вызвано нарушениями ЭРЭ принципиальной схемы, 30% – ошибками конструкции и 10% – нарушениями технологии изготовления и сборки. Тогда для всего объекта общая интенсивность отказов определяется по формуле

$$\lambda_{об} = \lambda_{cx} K_k K_T,$$

где  $K_k$ ,  $K_T$  – поправочные коэффициенты, учитывающие увеличение интенсивности отказов за счёт ошибок в конструкции и нарушений в технологии соответственно.

Эти коэффициенты приближённо определяются по формулам:

$$K_k = (\delta_{cx} + \delta_k)/\delta_{cx} = 1,5; \quad K_T = (\delta_{cx} + \delta_k + \delta_T)/(\delta_{cx} + \delta_k) = 1,1,$$

где  $\delta_{cx}$ ,  $\delta_k$ ,  $\delta_T$  – доли в процентах трёх видов отказов соответственно.

4. Общие выводы. Провести сравнительную оценку основных показателей надёжности базового и проектируемого вариантов. Сравнительную оценку рекомендуется выполнить в виде табл. 4.4.

В выводе указать в процентном содержании, насколько наработка на отказ проектируемого варианта выше базового, а также дать предложение по дальнейшему улучшению надёжности РЭС.

#### 4.4. Сравнительная оценка основных показателей надёжности

Этапы расчёта	$\lambda \cdot 10^6$ , 1/ч	$m_t$ , ч	$m_{t \text{ доп}}$ , ч	$\lambda_{\text{доп}} \cdot 10^6$ , 1/ч
Прикидочный расчёт				
Расчёт с учётом условий эксплуатации				
Уточнённый расчёт				
Расчёт с учётом всех видов отказов				

## **5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ РЭС**

---

---

### **5.1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РЭС В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА**

В общем случае под контролем качества изделия понимается проверка количественных и качественных характеристик (показателей) его свойств на соответствие установленным требованиям.

Качество – это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности. Качество продукта закладывается в процессе его разработки и производства, а оценивается при эксплуатации потребителем с помощью показателей.

Объектом качества могут быть:

- 1) деятельность или процесс;
- 2) продукция как материальная, например, в виде технических изделий, так и нематериальная, например информация, а также комбинация из них;
- 3) организация, система или отдельное лицо;
- 4) любая комбинация из первых трёх.

Показатели качества – это параметры качества, имеющие количественные характеристики (например, масса, размеры и т.п.) или качественные характеристики в баллах, которые могут оцениваться органолептически, например цвет и т.д.

Для достижения требуемого качества РЭС большую роль играет организация контроля качества (рис. 5.1).

При контроле материала, полуфабриката, заготовки и детали обязательной проверке подлежат: марка материала (кроме детали), геометрические и физико-химические параметры, внешние и внутренние дефекты. Для сборочной единицы, комплекса, комплекта предусмотрен контроль геометрических и функциональных параметров, внешних и внутренних дефектов.

На всех стадиях (операциях) технологического процесса предусматривается контроль качественных и количественных характеристик изделий, средств технологического оснащения и контроля. Процессы контроля должны обеспечивать решение задач, установленных для входного, операционного и приёмочного контроля, и охватывать весь технологический процесс и его результаты, предотвращать попадание дефектных заготовок и изделий на последующие этапы изготовления.



**Рис. 5.1. Контроль качества РЭС**

При входном контроле контролируется качество материалов, полуфабрикатов, заготовок, комплектующих деталей, сборочных единиц (в соответствии с ТУ и договорами контроль осуществляют специальные подразделения).

При операционном контроле контролируются параметры деталей и сборочных единиц в процессе изготовления (контроль осуществляют исполнитель, мастер, контролёр). Операционный контроль осуществляет исполнитель операции, руководитель участка, контролёр ОТК.

При приёмочном контроле контролируется качество готовой продукции в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (ОТК, при необходимости представитель заказчика).

Процессы контроля подразделяют на четыре категории, применяемые по усмотрению предприятия (см. рис. 5.1). По полноте охвата контролёром любая категория контроля подразделяется на сплошной контроль и выборочный контроль, а по связи с объектом контроля – на непрерывный и периодический.

Сплошной контроль применяют в условиях высоких требований к уровню качества продукции, у которых недопустим пропуск дефектов в дальнейшее производство и эксплуатацию. Выборочный контроль применяют для изделий, когда их количество достаточно для обеспечения качественного статистического метода контроля.

Непрерывный контроль применяют для обеспечения постоянного контроля количественных и качественных характеристик изделия с помощью средств автоматического или полуавтоматического контроля. Периодический контроль применяют при установившемся производстве и стабильности технологического процесса.

## **5.2. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РЭС**

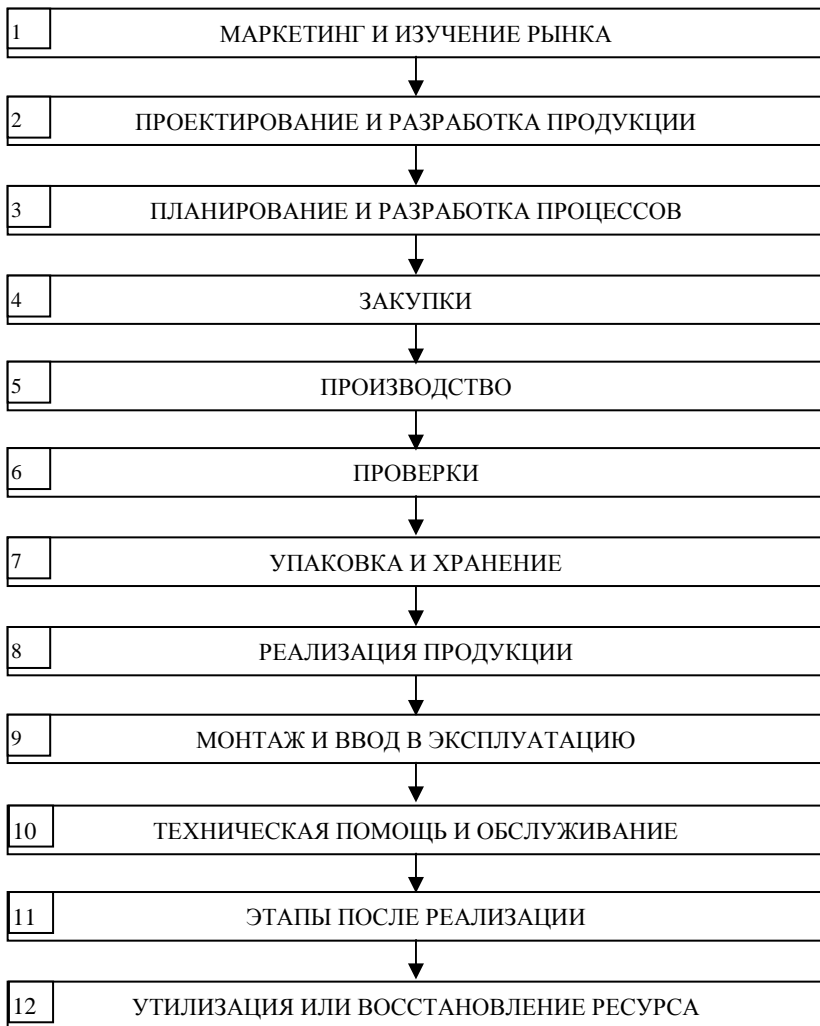
В соответствии со стандартом ISO 8420 следует различать:

- 1) управление качеством (quality control), которое касается средств оперативного характера для выполнения требований к качеству;
- 2) обеспечение качества (quality assurance), направленное на достижение уверенности в выполнении требований к качеству как внутри организации, так и у потребителей;
- 3) общее руководство качеством (quality management), включающее управление качеством и обеспечение качества, а также дополнительные понятия, в том числе политику в области качества, планирование и улучшение качества.

Широко используемое понятие Всеобщее Управление Качеством (ВУК) следует рассматривать как принципиально новый подход к управлению любой организацией, нацеленный на качество, он основан на участии всех её членов и направлен на достижение долгосрочного успеха через удовлетворение требований потребителя и выгоды как для членов организации, так и общества. Таким образом, основными чертами ВУК являются долговременная стратегия глобального руководства организацией и участие всех её членов в интересах самой организации, потребителей и общества в целом.

Система управления качеством, как правило, применяется ко всем видам деятельности, влияющим на качество продукции РЭС и взаимодействует с ними. Это воздействие распространяется на все стадии жизненного цикла продукции и процессов – от первоначального определения и до конечного удовлетворения требований заказчика. Вид деятельности системы управления качеством РЭС представлен на рис. 5.2.





**Рис. 5.2. Деятельность системы управления качеством**

1. Маркетинг и изучение рынка предполагают выявление требований к продукции (изделие). Результатом выполнения этого этапа является выдача задания отделу проектирования технических условий на продукцию, которую предлагается модернизировать или спроектировать заново.

2. Проектирование и разработка продукции – это перевод требований технических условий на разработку конструкторской документации для изготовления изделий.

3. Планирование и разработка процессов предусматривает разработку технологических процессов производства, процессов измерения и средств как для контроля в процессе изготовления деталей и сборочных единиц, так и готовой продукции РЭС.

4. Этап «закупки» предполагает, что для производства новой продукции необходимо приобрести сырьё, материалы, комплектующие изделия, средства измерения и контроля, расходные материалы и т.п.

5. Производство РЭС начинается после того, когда разработаны технологические процессы и закуплены необходимые материалы и комплектующие части. Результатом этого этапа являются изделия РЭС.

6. Проверки осуществляют контроль качества как выполнения технологического процесса в процессе производства, так и готовой продукции.

7. Этап упаковки и хранения предусматривает организацию процесса консервации, упаковки и хранения готовых изделий.

8. Реализация продукции требует высокой организации в ходе погрузочно-разгрузочных работ и при её транспортировке.

9. Монтаж и ввод в эксплуатацию изделий предусматривает организацию помощи в монтажных работах или снабжение соответствующими инструкциями потребителя.

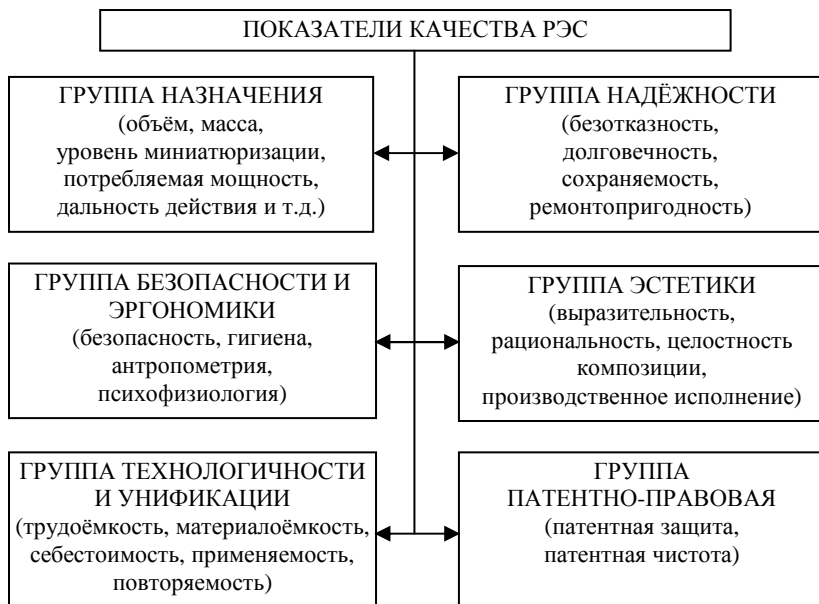
10. Техническая помощь и обслуживание предусматривает получение от изготовителя технической помощи в период эксплуатации в период гарантийного срока эксплуатации.

11. Этапы после реализации продукции должны предусматривать необходимую помощь после окончания гарантийного срока (техническая документация по техническому обслуживанию и ремонту) и получение информации о работоспособности в процессе эксплуатации, чтобы вносить изменения по улучшению качества продукции.

12. Утилизация или восстановление ресурса является важным этапом жизненного цикла продукции. В настоящее время утилизация РЭС занимает много времени, так как на старые изделия при проектировании не в полной мере разработаны нормативно-технические документы.

### **5.3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЭС**

Качество РЭС оценивается совокупностью характеристик, в том числе целевое назначение, надёжность, безопасность и др. Группы основных показателей качества представлены на рис. 5.3.



**Рис. 5.3. Показатели качества**

#### **5.4. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ КАЧЕСТВА РЭС**

В задачах выбора оптимального варианта проектируемого изделия обычно для сравнения вариантов используют комплексный (обобщённый) показатель качества.

Комплексный показатель  $Q$  уровня качества изделия можно представить в виде суммы «взвешенных» значений частных показателей  $q_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ , т.е.

$$Q = \sum_{i=1}^N q_i a_i,$$

где  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го частного показателя;  $N$  – количество частных показателей качества.

В практике определения значений весовых коэффициентов  $a_i$  наиболее широко используются стоимостной, вероятностный и экспертный методы.

1. Стоимостной метод предполагает, что весовые коэффициенты  $a_i$  зависят от затрат, которые со временем меняются:

$$a_i(t) = \frac{S_i(t)}{\sum_{i=1}^N S_i(t)},$$

где  $S_i(t)$  – стоимостные затраты на обеспечение  $i$ -го показателя качества в текущий момент времени  $t$ .

Недостатком этого метода является необходимость частого пересчёта значений  $a_i$  при изменении цен на материалы, энергоресурсы и т.д.

2. Вероятностный метод основан на том, что систематически производятся статистическая обработка показателей качества и проектов и определяется некоторая функция, показывающая зависимость  $a_i$  от степени приближения  $i$ -го свойства показателя качества к эталонному значению. Весовой показатель выше, чем ближе значение  $q_i$  к эталону.

3. Экспертный метод позволяет находить весовые коэффициенты  $a_i$  на основе обработки мнений группы специалистов. С целью повышения объективности получения оценок  $a_i$  процедура обработки строга регламентируется и сводится к следующему:

1) устанавливается ограниченный перечень свойств (показателей), наиболее полно характеризующих качество РЭС (обычно их число 5...10);

2) устанавливается балльная шкала оценок. Например, применяются следующие оценки качества: 3 балла – «отлично», 2 балла – «хорошо», 1 балл – «удовлетворительно», «плохо» соответствует нулю баллов. Такие баллы обеспечивают значительную разницу, т.е. психологически обоснованную между оценками «хорошо» и «удовлетворительно» – 100%, а между «хорошо» и «отлично» – 50%;

3) проводится экспертиза. Для чего привлекается экспертная группа, например, из семи специалистов, предпочтительно стабильная по составу. Оценка  $a_i$  считается принятой, если число голосов за неё не менее пяти.

4) для повышения достоверности получаемых результатов выставление баллов производится в два тура при открытом обосновании каждым экспертом своей оценки между турами.

Метод предполагает, что голоса всех экспертов одинаковы, поэтому большое значение имеет место подбор состава экспертной группы.

## **5.5. МЕТОДИКА РАСЧЁТА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА**

Показатели качества могут быть единичными, относящимися только к одному из его свойств в группе (масса в группе назначения, вероятность безотказной работы в надёжности и т.п.); или групповыми (комплексными), относящимися к нескольким свойствам группы (коэффициент готовности в надёжности и т.д.).

Во многих случаях качество РЭС определяется на основе сравнения характеристик разрабатываемой РЭС с некоторой образцовой. Для такой относительной оценки качества используются базовые показатели.

## **5.6. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЭС**

Расчёт показателей качества конструкции РЭС выполняют с помощью заполнения карты технического уровня показателей качества. Уровень качества конструкции (УКК) оценивается в три этапа.

1. Выбор номенклатуры показателей качества конструкции РЭС. Например, для наземных РЭС могут быть выбраны следующие шесть групп показателей качества: назначения, надёжности, безопасности и эргономики, эстетики, технологичности и унификации, патентно-правовая (патентная защита, патентная чистота).

2. Подбор аналогов и выбор базового изделия. Базовым считается изделие, которое по показателям качества превосходит на настоящий момент другие изделия и его техническая реализуемость подтверждена на практике.

3. Заполнение карты технического уровня показателей качества и расчёт УКК.

Расчёт УКК производится одновременно с заполнением карты технического уровня. Этот расчёт основан на сравнении показателей качества оцениваемой, разрабатываемой конструкции с базовыми показателями. Сравнение производится сначала для оценки частных показателей УКК каждого свойства (масса, вероятность безотказной работы и т.д.), затем для каждой группы показателей (надёжность, технологичность и т.д.) и по ним для обобщённого показателя качества РЭС.

Для расчёта единичных показателей свойств конструкции в случае, если повышение её качества характеризуется уменьшением показателя (масса, габариты, трудоёмкость, энергопотребление и др.), используется формула

$$q_{ji} = B_{ji} / D_{ji}, \quad i = 1, 2, \dots, n_j,$$

где  $q_{ji}$  – единичный (частный) уровень качества  $i$ -го свойства конструкции для  $j$ -й группы показателей;  $B_{ji}$  – базовый показатель  $i$ -го свойства конструкции для  $j$ -й группы;  $D_{ji}$  – показатель  $i$ -го свойства оцениваемой конструкции для  $j$ -й группы показателей;  $n_j$  – число частных показателей  $j$ -й группы.

Если повышение качества конструкции характеризуется увеличением показателя (прочность, дальность действия, время наработки на отказ и т.д.), то расчёт  $q_{ji}$  выполняется по формуле

$$q_{ji} = D_{ji} / B_{ji}.$$

Для оценки группового уровня качества конструкции  $Q_j$  по  $j$ -й группе показателей используется выражение

$$Q_j = \sum_{i=1}^{n_j} a_{ji} q_{ji},$$

где  $a_{ji}$  – весовой коэффициент  $i$ -го свойства в  $j$ -й группе показателей оцениваемой конструкции.

Обобщённый показатель качества конструкции РЭС  $Q_{об}$  оценивается по формуле

$$Q_{об} = \sum_{j=1}^N A_j Q_j,$$

где  $A_j$  – весовой коэффициент  $j$ -й группы показателей качества оцениваемой конструкции;  $N$  – количество групп показателей качества.

Если обобщённый показатель качества РЭС  $Q_{об} > 1$ , то качество РЭС в целом лучше базового РЭС.

Следует заметить, что оценка  $Q_{об}$  существенно зависит от назначаемых весовых коэффициентов  $a_{ji}$  и  $A_j$ . Эти коэффициенты должны быть больше для наиболее важных показателей и удовлетворять условиям нормировки, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n_j} a_{ji} = 1, \quad j = \overline{1, N}; \quad \sum_{j=1}^N A_j = 1.$$

Пример заполнения карты технического уровня приведён в табл. 5.1.

### 5.1. Карта технического уровня

№	Наименование показателя	Численное значение показателя				
		$B_{ji}$	$D_{ji}$	$q_{ji}$	$a_{ji}$	$q_{ji} a_{ji}$
1	Группа назначения					
1.1	Объём, дм <sup>3</sup>	25	20	1,25	0,3	0,375
1.2	Масса, кг	160	120	1,33	0,2	0,266
1.3	Мощность потребляемая, Вт	160	130	1,23	0,3	0,369
1.4	Уровень миниатюризации	200	220	1,1	0,2	0,22

$$Q_1 = 1,23; A_1 = 0,3; A_1 Q_1 \approx 0,369$$

2	Группа надёжности					
2.1	Время наработки до отказа, ч	2000	2500	1,25	0,4	0,5
2.2	Средний срок службы, лет	6	6	1	0,2	0,2
2.3	Среднее время восстановления, ч	2	1	2	0,4	0,8

$$Q_2 = 1,5; A_2 = 0,3; A_2 Q_2 \approx 0,45$$

3	Группа безопасности и эргономики					
3.1	Безопасность, баллы	3	3	1	0,4	0,4
3.2	Гигиена, баллы	3	3	1	0,1	0,1
3.3	Антропометрия, баллы	3	2,6	1,30	0,3	0,39
3.4	Психофизиология, баллы	3	3	1	0,2	0,2

$$Q_3 = 1,090; A_3 = 0,1; A_3 Q_3 \approx 0,109$$

Продолжение табл. 5.1

№	Наименование показателя	Численное значение показателя				
		$B_{ji}$	$D_{ji}$	$q_{ji}$	$a_{ji}$	$q_{ji} a_{ji}$
4	Группа эстетики					
4.1	Выразительность, баллы	3	3	1	0,2	0,2
4.2	Рациональность формы, баллы	2	3	1,5	0,4	0,6
4.3	Совершенство производственного исполнения	3	3	1,0	0,4	0,4
$Q_4 = 1,2; A_4 = 0,4; A_4 Q_4 = 0,12$						
5	Группа технологичности и унификации					
5.1	Трудоёмкость, нормо-ч	220	200	1,1	0,5	0,55
5.2	Материалоёмкость, кг	120	100	1,2	0,2	0,24
5.3	Себестоимость, тыс. р.	11	10	1,1	0,2	0,22
5.4	Применяемость	0,5	0,6	1,2	0,1	0,12
$Q_5 = 1,13; A_5 = 0,1; A_5 Q_5 = 0,113$						
6	Группа патентно-правовая					
6.1	Патентная защита, баллы	2	3	1,5	0,8	1,2
6.2	Патентная чистота, баллы	2	2	1	0,2	0,2
$Q_6 = 1,4; A_6 = 0,1; A_6 Q_6 = 0,14$						
$Q_{об} = 1,301$						

В выводе указать в процентном содержании, насколько качество проектируемого варианта лучше базового.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

---

---

В учебном пособии рассмотрены вопросы дизайна и эргономики радиоэлектронных средств (РЭС), показана их роль в обеспечении качества и конкурентоспособности продукции. Учитывая требования отечественного и зарубежного рынка к художественно-конструкторскому оформлению радиоэлектронной аппаратуры, особое внимание уделяется углублению и развитию знаний и практических навыков художественно-конструкторского проектирования РЭС с ориентацией на их эргономические показатели качества. Даны рекомендации по взаимодействию радиоинженера-конструктора-технолога со специалистами в области технической эстетики и художественного конструирования. Анализируются особенности конструирования РЭС с учётом требований повышения качества, конкурентоспособности и маркетинга.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

---

1. Баканов, Г.Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств : учебное пособие / Г.Ф. Баканов. – М. : Академия, 2007. – 368 с.
2. Проектирование и технология радиоэлектронных средств : учебное пособие / З.М. Селиванова, Д.Ю. Муромцев, Т.И. Чернышова, О.А. Белоусов, В.Н. Митрофанова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 164 с.
3. Гелль, П.П. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры : учебник / Гелль П.П., Н.К. Иванов-Есипович. – Л. : Энергоатомиздат ; Ленингр. отделение, 1984.
4. Белоусов, О.А. Основные конструкторские расчёты в РЭС : учебное пособие / О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, А.Н. Грибков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 84 с.
5. Парфенов, Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие / Е.М. Парфенов и др. – М. : Радио и связь, 1989. – 272 с.
6. Дульнев, Г.Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах / Г.Н. Дульнев, Э.М. Семяшкин. – Л. : Энергия, 1968.
7. Родкоп, Л.Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры / Л.Л. Родкоп, Ю.Е. Спокойный. – М. : Советское радио, 1976.
8. Муромцев, Ю.Л. Надёжность радиоэлектронных и микропроцессорных систем : учебное пособие / Ю.Л. Муромцев, В.Н. Грошев, Т.И. Чернышова. – М. : Моск. ин-т хим. машиностроения, 1989. – 104 с.
9. Конструирование радиоэлектронных средств / под ред. А.С. Назарова. – М. : МАИ, 1996.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА . . . . .	4
1.1. Радиоэлектронные средства в системе «человек–машина» . . . . .	4
1.2. Человек-оператор и эксплуатация РЭС . . . . .	7
1.3. Психологические аспекты деятельности оператора . . . . .	10
1.4. Характеристики оператора в СЧМ при управлении РЭС и из- влечении сообщений . . . . .	17
1.5. Человек-оператор и автоматизация применения РЭС по назна- чению . . . . .	19
1.6. Свойства анализаторов и антропометрические характеристики оператора . . . . .	22
1.7. Характеристики средств отображения информации и органов управления . . . . .	28
1.8. Конструирование панелей и пультов отображения информации и управления . . . . .	35
1.9. Общие требования технической эстетики и задачи художест- венного конструирования . . . . .	41
2. ПРИНЦИПЫ РАЗУКРУПНЕНИЯ РЭС И КОНСТРУКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ . . . . .	51
2.1. Уровни разукрупнения РЭС . . . . .	51
2.2. Конструкционные системы . . . . .	56
2.3. Унификация и стандартизация размеров конструкционных сис- тем . . . . .	60
2.4. Основные конструкционные системы РЭС . . . . .	63
3. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЁТЫ . . . . .	68
3.1. Компоновочные расчёты блока ЭС . . . . .	68
3.2. Тепловые расчёты блока РЭС . . . . .	78
3.3. Расчёты механических нагрузок блока . . . . .	94
4. НАДЁЖНОСТЬ РЭС . . . . .	101
4.1. Основные понятия надёжности . . . . .	101
4.2. Расчёт надёжности блока РЭС . . . . .	104
5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ РЭС . . . . .	110
5.1. Контроль качества РЭС в процессе производства . . . . .	110
5.2. Управление качеством РЭС . . . . .	112
5.3. Показатели качества РЭС . . . . .	114
5.4. Комплексный показатель уровня качества РЭС . . . . .	115
5.5. Методика расчёта комплексного показателя уровня качества . . . . .	117
5.6. Оценка качества РЭС . . . . .	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	122

Учебное издание

**КОЛЬТЮКОВ Николай Александрович,  
БЕЛОУСОВ Олег Андреевич**

# **ОСНОВЫ ЭРГОНОМИКИ И ДИЗАЙНА РЭС**

Учебное пособие

Редактор Л.В. Комбарова  
Компьютерное макетирование М.А. Евсейчевой

Подписано в печать 29.10.2012.  
Формат 60 × 84 / 16. 7,21 усл. печ. л. Тираж 400 экз. Заказ № 550

Издательско-полиграфический центр  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14