

Министерство высшего и среднего специального образования  
РСФСР  
Ленинградский институт авиационного приборостроения

КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭА  
Методические указания к лабораторному практикуму  
Часть I

Ленинград  
1984

канд.техн.наук Калашников В.С.

Под редакцией д-ра техн. наук А.Г.Варжапетяна

Рецензенты: кафедра технологии радиоаппаратостроения ЛИАП;  
доцент кафедры № 22 Шаталов А. А.

Предназначены для выполнения лабораторного практикума по курсу "Конструирование РЭА" студентами специальности "Конструирование в технология производства радиоэлектронной аппаратуры".

Подготовлены к публикации кафедрой конструирования и управления качеством РЭА ЛИАП по рекомендации методической комиссии радиотехнического факультета.

Ленинградский институт.  
© авиационного приборостроения  
ЛИАП (1984)

Подписано к печати  
Объем 2,0 п.л.  
Заказ № 690

17. 12. 84.  
Уч.изд. л. 2,0  
Печать плоская

формат 60x84 1/16  
Тираж 150 экз.  
Бесплатно

Ротап rint ЛИАП

190 000, Ленинград ул. Герцена, 67

## РАБОТА №1: АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ РЭА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** научить студентов самостоятельно разбираться в сложных исходных данных на разработку и конструирование при проведении НИР и ОКР; выработать практические навыки разработки обоснованного технического задания на конструирование заданного изделия и составления перечня необходимой КД.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В процессе конструирования решается задача синтеза РЭА, т.е. отыскания оптимальной или наилучшей системы  $S$  удовлетворяющей исходным данным и имеющей наилучшие значения её характеристик.

Являясь частью общей системы, современная РЭА и сама представляет собой сложную систему, при своем создании зависящую как от систем более высокого уровня, так и от систем низших рангов. Здесь РЭА служит для обмена информацией между объектами системы или для управления ими, или для того и другого, так как является неотъемлемой частью объекта, системы. Такой объект в этом случае можно рассматривать в виде "Объект = РЭА + носитель" или "система = РЭА + носитель" [ 1, 2, 5].

Системную иерархию бортовой РЭА, например, можно представить в виде схемы рис.1, выбрав для конкретности в качестве носителя самолет.

Индекс для  $S$  - условный уровень иерархии системы,  $D_i$  или  $D_{ij}$  - совокупность многих функциональных и материальных параметров и характеристик.

Совокупность исходных данных  $D = \{ D_1 \dots D_n \}$  можно разделить на подгруппы (табл.1).

$Y = \{ Y_1 \dots Y_k \}$  - условия, определяющие назначение системы и воздействие внешней среды;

$O_s = \{ O_{s1} \dots O_{se} \}$  - ограничения на структуру системы;

$K = \{ K_1 \dots K_m \}$  - показатели качества системы;

$O_k = \{ O_{k1} \dots O_{kn} \}$  - ограничения на показатели качества системы;

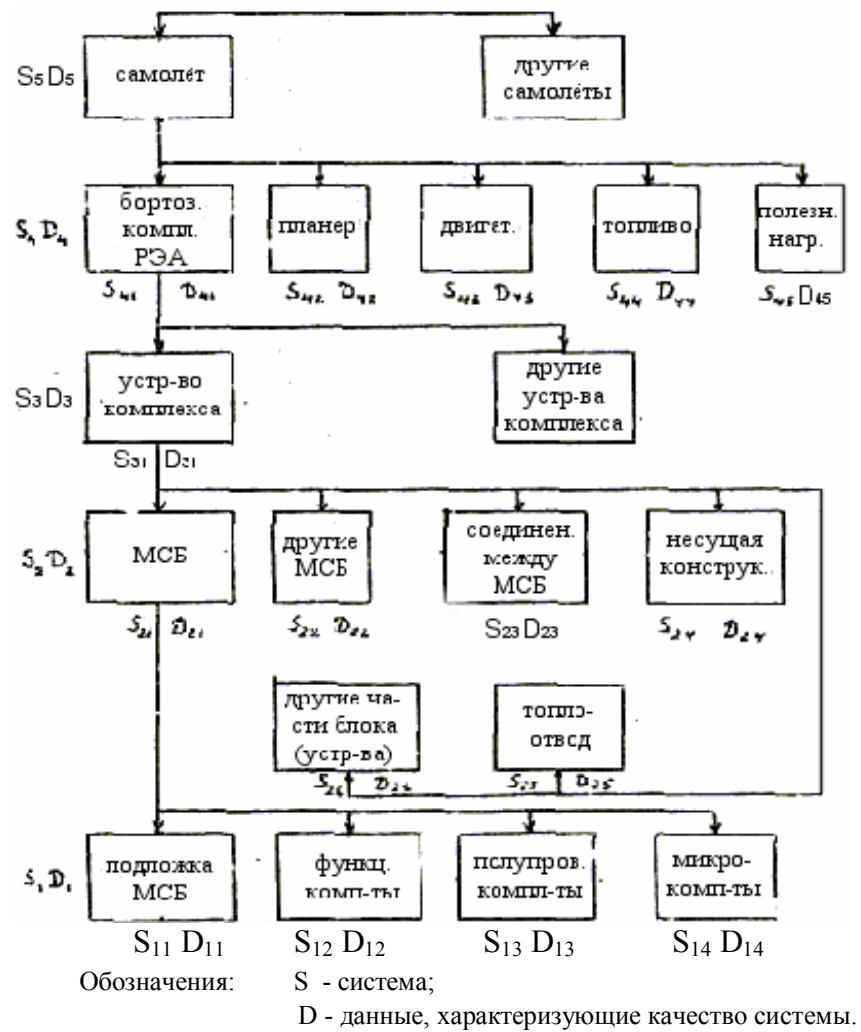


Рис. 1. Схема системной иерархии бортового комплекса РЭА самолета.

т.е. для каждой S каждое  $D = \{y, O_s, K, O_K\}$

Таблица I Совокупность исходных данных

Подгруппа	Определение
у	Назначение (область применения): авиационная техника, промышленная электроника, бытовая техника; тип устройства: РЛС, линия связи, условия эксплуатации, внешняя среда, помехи.
O <sub>s</sub>	Ограничения в выборе типа сигнала, антенной системы (зеркальная или АФАР); ограничения по элементной базе, например, всё устройство должно быть выполнено на МСБ.
К	Заданные энергоинформационные характеристики: дальность действия, точность, быстродействие и материальные характеристики: масса, объем, надежность, стоимость. Показатели качества, "например, функциональные показатели: мощность передатчика ( P <sub>26</sub> ), площадь антенны ( S <sub>a26</sub> ), характеристики приемника (P <sub>201</sub> , K <sub>yc 21</sub> ), материальные показатели, например передатчика и приемника.
O <sub>к</sub>	Ограничения, накладываемые на показатели качества; кроме того, ограничения типа технико-экономических и организационно-производственных (срок разработки, размер партии, оснащенность предприятия).

Из всего набора альтернативных решений, удовлетворяющих у, O<sub>s</sub>, O<sub>к</sub>, система, обладающая наилучшим комплексным (общим) показателем качества К, будет оптимальной, наилучшей. При этом предварительно выбирается критерий предпочтения, т.е. критерий оптимальности, на основании которого можно считать, какое значение К будет лучшим и какое худшим в сравнении с другим его значением.

Из рис.1 ясно, что эффективность всей системы зависит от эффективности систем низшего ранга. Так, например, при недостаточной эффективности самолета и система в целом будет недостаточно эффективна. Эффективность самолета S<sub>5</sub> зависит не только от параметров подсистем "планер S<sub>42</sub> - двигатели S<sub>43</sub> - топливо S<sub>44</sub>", но и от качества D<sub>4</sub>, бортового оборудования (аппаратуры) комплекса S<sub>41</sub>, а оно в конечном счете зависит от качества микросхем, микросборок и других элементов по пути "вниз".

Из структурных схем видно, что исходные данные для конструирования системы данного ранга задаются системой верхнего ранга; в свою очередь, внутренние параметры данной системы служат исходными (выходными) данными для системы, расположенной рангом ниже.

Здесь  $S_1, S_2, S_3$  представляют собой совокупность изделий, образующую бортовую часть  $S_{41}$  РТС.

Следовательно, первая группа данных (исходные данные) определяет назначение устройства и отвечает на вопрос, какие внешние функции оно выполняет, обладая при этом определенными внешними характеристиками. Вторая группа (внутренние параметры) отвечает на вопрос, какими средствами обеспечивается функционирование устройства и его внешние характеристики.

Отсюда порядок проведения проектно-конструкторских работ укрупненно может быть представлен двумя этапами:

- этап внешнего проектирования устройства (например,  $S_3$ ), заключающийся в обосновании исходных данных  $D_3$ ;
- этап внутреннего проектирования, заключающийся в выборе и отработке характеристик ( $D_{21} \dots D_{26}$ ) составных частей устройства, обеспечивающих выходные данные (параметры)  $D_3$ .

Внешние (выходные) параметры изделия (устройства) при его достаточно высоком ранге ( $S_3, S_4, S_5$ ) называют тактическими, а внутренние - техническими. Их совокупность называют тактико-техническими требованиями (ТТТ), а при разработке задания на конструирование - тактико-техническими заданиями (ТТЗ).

Этап внешнего проектирования конструкции заключается в обосновании исходных данных для ее разработки.

Недостаточно тщательно обоснованные исходные данные и тем более назначенные произвольно приводят либо к неоправданным излишкам в параметрах изделия, в т.ч. и его стоимости, либо к тому, что изделие не будет в состоянии выполнять возложенные на него функции. Можно проследить процесс и методы обоснования исходных данных по системной иерархической цепочке  $S_5 \dots S_1$ , т.е. от самолёта до микросборки.

Для этого рассмотрим связь функциональных и материальных показателей на примере одного из важнейших материальных показателей - массы изделия (другие показатели тоже вписываются в эту методику).

Пусть  $\Phi_1 \dots \Phi_\alpha$  суть совокупность функциональных показателей качества проектируемой конструкции (изделия). Обеспечение каждого из них требует овеществления в соответствующих массах,  $m_1 \dots m_\alpha$ , следовательно, общая масса конструкции будет

$$m = m_1 + m_2 \dots m_\alpha$$

Это уравнение называют балансом масс (или для других уравнений - баланс стоимости, интенсивности отказов и т.д.).

Связывая каждую из слагаемых масс с соответствующими функциональными параметрами изделия через функции  $f_1 \dots f_\alpha$  получим

$$m = f_1(\Phi_1) + f_2(\Phi_2) + \dots + f_\alpha(\Phi_\alpha)$$

Это уравнение, заимствованное из авиационной техники, называют уравнением существования изделия. Его можно использовать при проектировании РЭА, в т.ч. МЭА, для подвижных объектов, для которых масса является одним из главных показателей и ее минимизация является критерием предпочтения, т.е. предметом оптимизации при проектировании изделия.

В применении к МЭА, например, уравнение существования отвечает на вопрос о возможности овеществления электродинамических параметров в конкретном изделии при заданных требованиях к его массе.

Определение  $f_1 \dots f_\alpha$  задача трудная, так как эти функции могут выражаться сложными функциональными зависимостями не всегда имеющимися в распоряжении конструктора. Они определяются либо эмпирическим путем на основе обобщения и анализа предшествующих разработок, либо расчетным путем, исходя из уровня и перспектив развития элементной базы и технологии.

Первый путь нежелателен, так как может приводить к созданию устаревших конструкций и развитию психологической инерции, которая является препятствием для роста творчества и изобретательства.

В общем виде задача определения  $f_1 \dots f_\alpha$  формулируется так: найти некоторую функцию  $f$ , связывающую функциональный параметр  $\Phi_i$  данного изделия с его материальным параметром, в рассматриваемом случае массой  $m_i$ , т.е.

$$m_i = f(\Phi_i)$$

Эти функции могут быть линейными и нелинейными.

Для установления таких связей пользуются коэффициентами связи или удельными коэффициентами

$$m_i = K_0(\Phi_i) \Phi_i$$

Здесь  $K_0(\Phi_i)$  - удельный коэффициент параметра  $\Phi_i$ , имеющего размерность кг /  $\Phi_i$ . Например, для передающего устройства, мощность которого измеряется в ваттах, размерность будет кг / Вт.

Можно считать, что  $K_0(\Phi_i)$  для каждого значения  $\Phi_i$  известна или

связь между  $m_i$  и  $\Phi_i$  - линейная.

$$m = K_0 \cdot \Phi_i$$

Абсолютная величина удельного коэффициента  $K_0$  определяется выбранной элементной базой и уровнем конструирования.

Для пленарных конструкций в решении задач оптимизации компоновки целесообразно пользоваться удельными коэффициентами использования площади конструкции ( $S$ ), т.е.

$$K_{s0} = S/\Phi,$$

а уравнение существования записывается в виде

$$S = f_{s1}(\Phi_1) + f_{s2}(\Phi_2) + \dots + f_{s\alpha}(\Phi_\alpha)$$

Выражение  $S_i = K_{s0}(\Phi_i) \Phi_i$  показывает связь параметра с затраченной площадью  $S_i$  конструкции через удельный коэффициент  $K_{s0}$ , имеющий размерность  $m^2/\Phi_i$

Перейти к массообъемным характеристикам несложно; полученные значения  $S_i$  нужно умножить на высоту конструкции и удельную плотность материала.

В качестве примера, показывающего тесную связь радиоэлектронной аппаратуры с летно-техническими характеристиками самолета и использования уравнений существования, рассмотрим систему  $S_5 \dots S_4$

Для проверки соответствия летно-технических характеристик самолета  $S_5$  его конструктивным данным составляется уравнение существования путем расчета удельных масс его составных частей: (система  $S_4$ )

$$1 = \mu_{р\&A} + \mu_{пл} + \mu_{ду} + \mu_{т} + \mu_{пн}$$

где  $\mu$  удельные массы соответственно комплекса РЭА, планера, двигательной установки, топлива, полезной нагрузки.

Это уравнение указывает на тесную связь радиоэлектронного комплекса с характеристиками самолета, и, если сумма всех удельных масс оказывается по каким-либо причинам больше единицы, то самолет не взлетит, так как не будут обеспечены заданные летно-технические характеристики.

Такой же подход можно использовать и при проектировании микросборок, БИС и других конструкций РЭА.

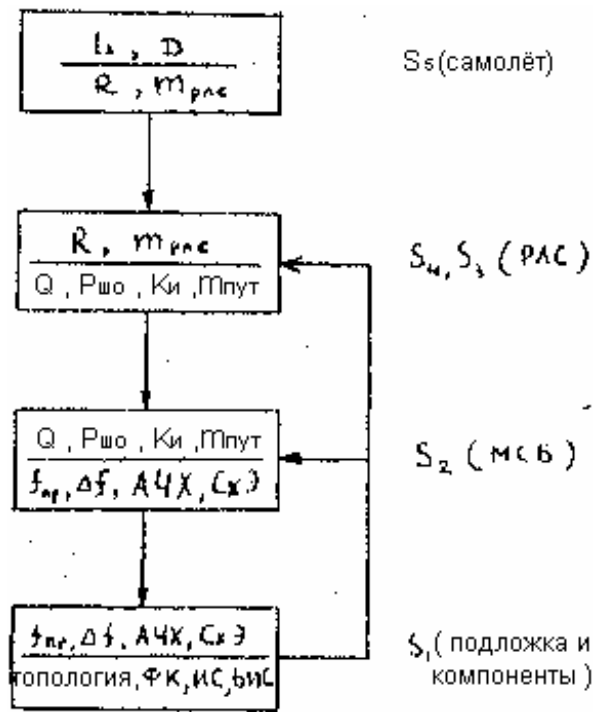
Масса  $m_{41}$  бортового комплекса  $S_{41}$  является одним из важных исходных показателей для всей системы  $S_5$ . Обоснование этого параметра проводится путем установления связи между массой и характеристиками самолета  $S_5$ .

Можно показать, как величина этих связей при неизменной конструкции самолета влияет на характеристики самолета, например по влиянию изменения массы  $m_{41}$  на дальность  $L$  полета. Используем уравнение существования самолета и предположим, что для достигнутого уровня техники  $\mu_t = k_{0t} L$ , где  $k_{0t}$  - удельный коэффициент, характеризующий расход топлива (кг/км). Тогда

$$1 = \mu_{рза} + \mu_{п} + \mu_{ду} + \mu_{пн} + k_{0t} L$$

полагая, что величины  $\mu_{п}$ ,  $\mu_{ду}$ ,  $\mu_{пн}$ ,  $k_{0t}$  постоянны, а характеристики самолета заданы, можно сделать следующие выводы: если относительная масса комплекса  $\mu_{рза}$  соответствует этому равенству, то можно считать, что абсолютная масса  $m_{41}$  обоснована, если  $\mu_{рза}$  превышает эту величину, то лётные характеристики не могут быть выполнены. При невозможности установить равенство единице правой части уравнения за счет других членов уравнения необходимо исследовать возможности дальнейшей микроминиатюризации комплексов. Таких примеров обоснования исходных данных можно привести много, они могут относиться к выбору передатчика РЛС, так как характеристики этого устройства влияют и на дальность действия РЛС и существенно на массу РЭА, а значит, на систем  $S_5$ , к выбору микросборок приемоусилительного тракта и т.п.

Таким образом, обоснование исходных данных или внешнее проектирование является важным этапом анализа ТЗ, так как при этом устанавливается взаимозависимость показателей, характеристик проектируемого узла, устройства РЭА со всей системой, для которой он предназначен. Сказанное можно представить в виде рис.2.



обозначения:  $\frac{\text{исходные данные}}{\text{внутренние параметры}}$

Рис.2. Схема сквозного процесса внешнего проектирования системы на уровнях  $S_5 \dots S_1$ .

Другим важным этапом анализа исходных данных является этап анализа при внутреннем проектировании.

Исходные данные для внутреннего проектирования, например, микросборки выдаются в виде технического задания (ТЗ) на проектирование и функциональной электрической схемы. В ТЗ указывается совокупность внешних параметров, которые определяются на этапе внешнего проектирования, далее - обоснование и выбор внутренних параметров, при которых удовлетворяются требования к внешним параметрам.

ТЗ устанавливает назначение, область применения, основные технические характеристики, условия эксплуатации, требования к конструкции, технико-экономические требования и организационно-производственные факторы, требования к комплекту конструкторской документации.

Техническое задание является основным документом для проведения всех НИР и ОКР. Порядок его составления, согласования и утверждения на все виды изделий определяется ГОСТ 15.101-73, ГОСТ 15.101-80, отраслевыми стандартами, стандартами предприятия и другими регламентирующими документами, действующими на предприятии (например, инструкцией по составлению ТЗ и т.п.).

Основанием для разработки ТЗ могут служить директивные документы, результаты предыдущих работ, перспективный тематический план предприятия, комплексная целевая программа, тематическая карточка постановления Правительства и др. Такие работы могут быть госбюджетными и хоздоговорными. Согласование, утверждение и изменение ТЗ на НИР и ОКР зависят от сметной стоимости работ.

ТЗ на части НИР, ОКР в общем случае разрабатываются аналогично ТЗ на НИР, ОКР.

ТЗ на стандарты разрабатываются в соответствии с ГОСТ 4 ГО.000.206.

Порядок построения и изложения ТЗ по созданию отраслевых автоматических систем управления, автоматических систем управления производственными объединениями, автоматических систем управления предприятиями (АСУП) должен соответствовать ГОСТ 20914-80 и другим действующим стандартам по АСУ.

ТЗ на разработку микросборок разрабатывается, согласовывается и утверждается по ГОСТ 4 ГС.005.206.

Порядок составления, согласования и утверждения ТЗ на выполнение НИР и ОКР и их составных частей, а также ТЗ, выдаваемых подразделениям внутри предприятия определяется ГОСТ В 15.101-79, ГОСТ В 2.907-75, ГОСТ 15.001-73, отраслевыми стандартами и др.

ТЗ является основным техническим документом, устанавливающим исходный комплекс требований к содержанию, объему, срокам выполнения работ.

ТЗ, выдаваемые подразделениям внутри предприятия, устанавливают конкретное содержание, задачи, ТТ и конечные результаты работ, а также

состав документов, предъявляемых по окончании работы.

ТЗ, выдаваемые подразделениям предприятия, разрабатываются научным руководителем или главным конструктором ОКР совместно с подразделением предприятия, возглавляющим выполнение НИР, ОКР, а также с подразделением предприятия, участвующим в проведении составной части этой работы.

При разработке РЭА обычно назначается зам. главного конструктора - заместитель руководителя разработки по конструкторской части непосредственно.

ТЗ, выдаваемые подразделениям предприятия, разрабатываются на основании ТЗ на БР, ОКР.

ТЗ на НИР, СЕР разрабатывают на основе научного прогнозирования развития техники, результатов выполнения проблемных исследований, технических требований и технико-экономических требований заказчика, научно-исследовательских экспериментальных работ, технического предложения, исследований патентной и технической документации, анализа информационных материалов, новейших достижений и перспектив развития отечественной и зарубежной науки и техники, а также опыта предыдущих разработок и эксплуатации аналогичной продукции исходя из условий наиболее эффективного ее применения.

ТЗ на НИР, ОКР и их составные части должны предусматривать создание надежной и качественной продукции на основе использования прогрессивных принципов конструирования, технологии, применения перспективной компонентной базы, позволяющих реализовать заданные требования при наименьших затратах на разработку, изготовление, эксплуатацию и ремонт. Формируемые требования должны обеспечивать перспективность развития отечественной науки и техники с учетом требований государственных, отраслевых стандартов и других технических документов, распространяющихся на данную область науки, техники, а также на разрабатываемую продукцию. В ТЗ, как правило, включают прогнозируемые показатели качества продукции,

НИР и ОКР должны сопровождаться проведением патентных исследований, изучением и анализом отечественных и зарубежных технических решений, защищенных авторскими свидетельствами или патентами, что является одним из важных критериев качества и научно-технического уровня НИР и ОКР.

Все виды ТЗ должны быть оформлены в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ 2.105-79.

Для изделий общей техники ТЗ разрабатываются в соответствии с

ГОСТ В 15.101-79, ГОСТ В 2 907-75, ГОСТ В 20.101-76 и другими государственными стандартами комплексной системы ОТТТ (КСОТТ).

Порядок построения и изложения ТЗ на разработку документации по организации и совершенствованию технической подготовки производства должен соответствовать ГОСТ 14.103-73.

Изменение утвержденного ТЗ производится с согласия тех инстанций, которые его утверждали, путём выпуска дополнения к ТЗ.

Заявки и исходные технические требования на разработку должны соответствовать требованиям ГОСТ 15.001-73 и содержать

- обоснованные технико-экономические требования;
- общую потребность в разрабатываемых изделиях;
- обоснованную лимитную цену;
- комплексные требования к изделию.

Разногласия по содержанию ТЗ между конструкторскими и технологическими подразделениями внутри предприятия решаются инженером предприятия.

Утвержденное ТЗ на работу является основанием для выдачи ТЗ на части темы другим подразделениям, участвующим в выполнении работы.

ТЗ на ОКР по созданию изделия общей техники должно содержать следующие разделы:

- назначение;
- состав (комплектность);
- требования по назначению, живучести и стойкости к внешним воздействиям;
- конструктивные требования по технологичности (предусматривают, в частности, ознакомление с производственной базой для формирования требований к возможности обеспечения; например, если в машиностроении возможно по ряду причин производство на автоматах, то в радиоаппаратостроении из-за многономенклатурности жесткие автоматы не делают, а используют гибкие производственные системы (ГПС) с применением роботов-манипуляторов и микропроцессоров, что влечет за собой необходимость формирования определенных требований к конструируемому объекту);
- надёжности, эффективности, качеству;
- методам контроля показателей надёжности, качества;

экономичности;

удобству технического обслуживания, ремонта;

безопасности;

эргономике и технической эстетике;

стандартизации и унификации;

обеспечению габаритов и массы изделия;  
 сборке, монтажу;  
 ТЗ на автоматизированное проектирование;  
 разработке текстовых и эксплуатационных документов, КТУ;  
 патентным исследованиям;  
 метрологическому обеспечению;  
 упаковке, маркировке, хранению, транспортировке;  
 применению комплектующих изделий и материалов;  
 специальным требованиям;  
 исходным и справочным материалам;  
 видам испытаний, порядку их проведения и приемки образцов;  
 объему КД (ведомость КД);  
 материалам, разрабатываемым и предъявляемым по окончании работы;  
 сроку выполнения работы; приложениям.

Некоторые требования рассмотрены несколько подробнее.

В разделе "Назначение" указывают основное функциональное назначение изделия, его функциональные или конструктивные связи, место установки и др.

Раздел "Состав (комплектность)" заполняется в тех случаях, когда изделие состоит из нескольких сборочных единиц, в том числе комплектов сменных частей и ЗИП.

Требования по назначению — это требования к изделию, обеспечивающие выполнение возложенных на него задач (функций): показатели, характеризующие точность работы, чувствительность, входные и выходные параметры (амплитуда, частота, форма импульса) и др. Для каждого параметра указывают номинальное значение, допуск, размерность.

В разделе "Требования по живучести и стойкости к внешним воздействиям" указывают условия эксплуатации (рабочие и предельные), во время и после которых изделие не должно разрушаться и должно нормально функционировать, а отклонение величин, определяющих технические показатели изделия, не должно превышать заданных.

В зависимости от вида и назначения изделия устанавливаются требования к нему в части климатических воздействий (диапазон колебаний температуры, влажности, атмосферного давления; солнечная радиация, иней, дождь, роса, морской туман, агрессивные среды, запыленность от пыли, воды, брызг и т.д.), механических воздействий (вибрационных,

ударных, транспортных, ветровых), устойчивости к влиянию внешних физических полей (гравитационного, магнитного, электрического, электромагнитного излучения, электромагнитного импульса ядерного взрыва) и др.

Номенклатуру и характеристики внешних воздействий устанавливают по ГОСТ 21.964-76, условия эксплуатации — по ГОСТ В 20.29304-76, требования по стойкости к внешним воздействиям — по ГОСТ В 20.39304-76.

Конструктивные требования — это конкретные конструктивно-компоновочные решения и структурные свойства изделия, обеспечивающие целевое назначение и рациональность его конструкции при изготовлении и эксплуатации в соответствии с принятыми критериями назначения, технологичности, эксплуатационной безопасности и т.д.

Общие конструктивные требования должны быть конкретными и содержать требования к компоновке (характер исполнения, способы установки, установочные размеры и т.д.);

- массе, габаритам, форме;
- способам крепления разъемных и неразъемных элементов составных частей, необходимость компенсирующих центрирующих, фиксирующих устройств;
- способам присоединения, присоединительным размерам и средствам присоединения (воды и типы присоединительных элементов, обеспечивающих внутренние и внешние связи изделия, посадочные размеры, номенклатуру резьб и т.д.);
- прочности, жесткости (необходимость применения ребер жесткости, рам, опор; величина сечений и профиль несущих элементов, а также возможность использования технологических приемов упрочнения для заданных видов конструкционных материалов);
- конструкционным материалам и покрытиям;
- виду и составу ЗИП;

В зависимости от вида и назначения изделия указывают и специальные требования к конструктивным решениям по взаимозаменяемости и унификации, обеспечению эксплуатационной технологичности (единство сборки и монтажа при техническом обслуживании и ремонте); конструктивным решениям по обеспечению помехозащищенности, электромагнитной совместимости (способы и виды защиты изделия и его составных частей от внутренних взаимных помех и от внешних естественных и промышлен-

ных помех); конструктивным решениям по обеспечению транспортабельности (способы перевода изделия в рабочее и транспортируемое положение, наличие специальных кронштейнов, крюков, упоров, разъемных элементов и т.д.). Номенклатуру конструктивных требований устанавливают в

соответствии с ГОСТ В 20.39102-77, конструктивно-технические требования - в соответствии с ГОСТ В 20.39308-76.

"Требования по технологичности" предусматривают требования по максимальному использованию прогрессивных технологических процессов при производстве изделия, применению унифицированного оборудования, технологической оснастке и при необходимости нормативные значения показателей технологичности.

В разделе "Требования по надежности" указывают требования и количественные показатели надежности изделия и составных его частей, характеризующие его способность сохранять значения эксплуатационных показателей на определенном уровне в заданном интервале времени (наработка) при установленных условиях применения. Номенклатура основных показателей надёжности устанавливается в соответствии с ГОСТ 27.002-83, требования - по ГОСТ В 20.39303-76.

Требования к уровню унификации и стандартизации изделий задаются в ТЗ в виде системы количественных и качественных показателей в соответствии с ГОСТ 23945.2-80. В общем случае это -

- коэффициент применяемости  $K_{пр}$ ;
- коэффициент повторяемости  $K_{п}$ ;
- коэффициент межпроектной унификации  $K_{му}$ ;
- уровень конструктивной сложности и др. Качественные требования

по унификации и стандартизации в общем случае задаются в виде следующих требований:

- по обеспечению взаимной унификации
- по применению базовых конструкции и элементной базы;
- по разработке изделия в качестве базового;
- по обеспечению уровня совместимости
- по применению ограничительных перечней;
- по применению технологических процессов, оборудования оснастки

инструмента;

- по использованию методов и средств испытаний и контроля;
- по использованию параметрических и типоразмерных рядов;
- по разработке руководящих документов и т.д.

В ТЗ указывается срок выполнения работы, за который несет от-

ветственность конструкторское подразделение, ведущий конструктор.

Часто приложениями к ТЗ на конструирование являются схемы электрические, схемы соединений, эскизы и т.п. Анализ схем с позиций конструктора предусматривает

- принятие решения об элементной базе;

- разделение электрической и принципиальной схемы на функционально или конструктивно законченные части;
- выбор конструктивного исполнения составных частей изделия к их эскизная компоновка;
- выявление компонентов тепловыводящих, теплочувствительных; паразитных электромагнитных связей;
- ориентировочную оценку габаритных размеров;
- составление необходимых документов по комплектующим и др. По результатам анализа полученного ТЗ конструктор составляет сначала ориентировочный перечень КД, а затем и уточненный. При этом учитывается вид изделия, этапы работы, все требования ТЗ.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Содержание работы заключается в изучении настоящих методических указаний по анализу исходных данных при проектировании РЭА, обосновании исходных данных, разработке ТТЗ и перечня КД на заданную преподавателем тему.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

До выполнения конкретного задания по разработке ТЗ и перечня КД необходимо изучить настоящие методические указания к работе. Затем получить у преподавателя контрольную тему разработки (например, передающий блок РЛС; микросборка СВЧ; механизм разворота антенны; усилитель промежуточной частоты приемника РЛС; автоматизированный измерительный комплекс и т.д.) и выполнить этап внешнего проектирования, т.е. обосновать исходные данные на проектирование.

Разработать техническое задание на конструирование и перечень КД, необходимой для изготовления изделия по заданной теме разработки.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены:

- краткие записи результатов изучения исходных материалов и анализа полученного задания;
- разработанное ТТЗ;
- обоснование исходных данных;

- эскиз или технический рисунок проектируемого изделия, выполненный от руки мягким карандашом на миллиметровой бумаге с соблюдением основных пропорций и согласованный с преподавателем;
- перечень КД в виде таблицы;
- ответы на вопросы (устно).

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит эффективность проектируемой системы?
2. Чем определяются (задаются) исходные данные для конструирования системы данного ранга?
3. Что такое внутренние параметры РЭА?
4. Назовите основные этапы проектирования и поясните их суть на конкретных примерах.
5. Что такое уравнение существования изделия? Приведите примеры.
6. Что такое ТТЗ и из каких разделов оно должно состоять?
7. Поясните, порядок составления, согласования и утверждения ТЗ, его изменений.
8. Назовите содержание одного из разделов ТЗ.
9. Какие конструктивные требования должны быть отражены в ТЗ?
10. Для чего нужна конструктору схема электрическая или другие схемы?
11. Как составляется перечень КД?

## РАБОТА №2: ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ МЭА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение уровней и методов компоновки МЭА, разработка двух вариантов конструкции функциональной ячейки (*ФЯ*) одинакового назначения (одинаковая функциональная сложность) на различной элементной базе и сравнительный анализ разработанных вариантов по заданному комплексу критериев.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

На современном этапе развития важными задачами являются улучшение качества работы радиоэлектронных устройств с одновременным повышением их надежности, уменьшением массы, габаритных размеров и потребляемой энергии при минимальных сроках и затратах на этапах проектирования и производства аппаратуры.

Процесс развития МЭА обусловлен требованиями постоянного усложнения выполняемых функциональных задач и расширением областей применения. При этом функциональная сложность МЭА в свою очередь определяет аппаратную сложность к обычно оценивается числом схемных или активных элементов.

Основные особенности МЭА - это планарность конструкций, малые масса и габариты, высокая надежность и др.

Одной из важнейших задач конструирования МЭА является : компоновка. Под компоновкой в общем случае понимают взаимную ориентацию изделий относительно друг друга в ограниченном пространстве. Установление основных геометрических форм изделий и расстояний между ними отражает компоновочная схема. Компоновочная *схема* может быть выполнена детально в виде сборочного чертежа, либо упрощенно в виде компоновочного эскиза.

При проектировании МЭА компоновочные эскизы обязательно составляют уже на этапе разработки функциональной и принципиальной электрической схемы МЭА, так как они позволяют провести ориентировочный расчет теплового режима, паразитных связей, надежности и т.д. При выполнении компоновочных работ радиоинжентер имеет дело с геометрическими моделями элементов электрической принципиальной схемы, которые вместе с деталями несущих конструкции нужно разместить в ограниченном пространстве с учетом функциональных, механических и иных видов связей между ними.

Из современных методов компоновки МЭА можно выделить: модульный метод компоновки. Он отражает один из общих принципов конструирования РЭА и представляет собой совокупность таких принципов конструирования и проектирования, в основе которых заложено одно общее требование: так расчленить электрическую схему устройств на модули, чтобы они были как функционально, так и конструктивно законченными и чтобы при этом их конструктивные размеры либо повторяли друг друга, либо были кратны одним базовым размерам, т.е. были унифицированными. Общий признак модульной компоновки - прямоугольность объема и его частей, что упрощает стандартизацию модулей, позволяет установить закономерные соотношения и типовые сопряжения между целыми и отдельными его частями.

Частные принципы пространственной (объемной) и поверхностной (планарной) компоновки устройств и их частей реализуются соответственно в блочном методе компоновки и в функционально-узловом методе. Первый из методов был характерен еще для аппаратуры первого поколения; второй - для современной и перспективной. Основная особенность последнего состоит в том, что практически все элементы конструкций оказалось возможным размещать на одной плоскости при соизмеримых высотах комплектующих изделий. Кроме того, этот метод позволил унифицировать некоторые комплектующие изделия, а также обеспечил возможность автоматизации как самого процесса конструирования микроэлектронных устройств, так и процесс их изготовления. Для бортовых комплексов специального назначения, к которым предъявляются особенно жесткие требования к объему, массе и надежности, в настоящее время можно рассматривать два принципа компоновки: блочный и моноблочный.

При блочном принципе компоновки каждое МЭУ оформляется в виде нескольких блоков с защитным корпусом или без него, которые могут устанавливаться в объеме рассредоточено, например, в рамах рэдиоотсеков. При моноблочном принципе компоновки МЭУ komponуется в одном герметичном кожухе, т.е. сосредоточено, а его датчики и индикаторы располагаются по корпусу объекта или в кабине.

Конструкция МЭУ, как правило, выполняется с соблюдением иерархического принципа, т.е. подразделяется на ряд конструктивных уровней каждый из которых характеризуется специфическими методами компоновки. На низшем структурном уровне конструкции МЭУ находятся ИС, МСБ и навесные ЭРЭ. Следующий уровень составляют функциональные ячейки (ФЯ). Затем следуют блоки и, наконец, МЭУ в целом. Таким образом можно выделить следующую цепочку конструктивных уровней МЭУ:

МСБ, ИС, ЭРЭ —> ФЯ —> Блок —> Комплекс

Наиболее трудоемкой в процессе проектирования и изготовления МЭА является ФЯ.

Ячейка — это конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из микросхем, микросборок, навесных ЭРЭ и элементов коммутации и контроля, установленных на одну или несколько печатных плат. Ячейка, как правило, не имеет самостоятельного эксплуатационного назначения [ 3 ]

К ячейкам относят узел печатный по ГОСТ 20406-75, типовой элемент замены (ТЭЗ) по ГОСТ 15971-74 и субблок.

В процессе проектирования ФЯ Необходимо решить следующие зада-

- выбрать вариант конструкции ячейки;
- осуществить рациональную компоновку конструктивно-технологических зон на печатных платах ячейки;
- выбрать типоразмеры ПП;
- определить тип электрического соединителя;
- выбрать элементы крепления контроля и фиксации;
- выбрать метод изготовления ПП;
- выбрать компоновку микросхем, МСБ и других ЭРЭ на ПП;
- обеспечить нормальные тепловые режимы;
- защитить ячейки от механических перегрузок и т.д.

Выбор варианта конструкции ячейки в основном определяется тактико-техническими требованиями на аппаратуру, требованиям обеспечения заданного показателя технологичности изделия [ 3 ] и действующих НТД на ее проектирование и изготовление.

ПО своему конструктивному назначению ФЯ предназначены для установки в блоки, поэтому выбор варианта конструктивного исполнения ячейки характеризуется вариантом конструкции блока - разъемная, книжная, кассетная. Первая наиболее часто используется в МЭА. Конструктивно ячейки отличаются друг от друга типом несущих конструкций. Это различие заключается в наличии или отсутствии, рамок, предназначенных для улучшения эксплуатационных параметров, а в некоторых случаях для исключения деформации ячеек, которая возникает как в процессе изготовления, так и при эксплуатации под действием внешней среды, выбор варианта исполнения ячейки — рамочный или безрамочный - осуществляется на начальных этапах проектирования, исходя из требований к меха-

нической прочности ФЯ, а также с учетом линейных размеров ПП. спецификация возможных вариантов конструкций ФЯ приведена на рис1.



Рис.1. Классификация возможных конструкций ФЯ

В настоящей работе исследуются и сравниваются конструкции ФЯ двух типов. Элементной базой ФЯ первого типа являются корпусированные ИС широкого применения, а элементной базой ФЯ второго типа - бескорпусные микросборки.

ФЯ первого типа представляет собой печатную плату с контактами площадками, контактной колодкой для контроля, разъемом (или зоной контактных соединительных штырей) и элементами межъячеечного крепежа, на которой распаяна корпусированные микросхемы. Для повышения вибропрочности ФЯ печатная плата может быть укреплена в механической основе (рамке).

В зависимости от сложности трассировки печатная плата выбирается с односторонним, двусторонним или многослойным печатным монтажом. Для однослойных печатных плат часто применяется фольгированный стеклотекстолит марки СФ, гетинакс марки ГФ или низкочастотный фольгированный диэлектрик марки НФД. Толщина печатной платы лежит в пределах 0,8...3мм и выбирается в зависимости от значения механических нагрузок.

Корпусированные МС могут быть расположены как с одной стороны печатной платы (рис.2,а) (для микросхем повышенной степени интеграции, а также для корпусов со штыревыми выводами), так и с двух сторон (рис.2,б) (для корпусов с планарными выводами). Шаг между планарными выводами микросхемы равен 1,25 мм, а между штыревыми - 2,5 мм или 3 мм.

Корпусированные ИС в плоскости печатной платы располагаются рядами с определёнными зазорами между ними в обоих направлениях. Величина зазора зависит от типа корпуса микросхема и от числа слоев печатной платы. Корпусированные ИС и необходимые навесные компоненты располагаются на печатной плате в специальной зоне (рис.3), расстояние которой от верхнего края ПП -  $a_b$ , боковых краев ПП -  $a_k$  и нижнего края ПП (там, где расположен разъем)  $a_p$ , выбираются в соответствии с требованиями, изложенными в [3] и [10].

При известном количестве микросхем  $N = n \cdot m$  (где "n" и "m" соответственно количество горизонтальных и вертикальных рядов микросхем на ПП, расположенных с одной ее стороны) площадь ПП требуемая для их размещения ( $S$ ) определяется следующим выражением:

$$S = \{ 2a_k + a_x [n + (n-1) \cdot K_x] \} \cdot \{ a_l + a_p + a_y [m + (m-1) \cdot K_y] \},$$

$$K_x = \frac{\Delta x}{a_x}; K_y = \frac{\Delta y}{a_y} \quad \begin{array}{l} \text{- коэффициент зазора. между} \\ \text{- микросхемами;} \end{array}$$

$\Delta x, \Delta y$  - величина зазоров между микросхемами в направлении осей X и Y;

Часто, исходя из механической прочности, размеры ПП ограничивают размерами:

- при толщине ПП равной 1,5 мм - 100 x 150 мм;
- при толщине ПП равной 2 мм - 125 x 200 мм. высота ФЯ ( $H$ ) определяется толщиной ПП -  $\Delta$ , высотой микросхемы -  $h$  и минимально допустимым зазором между ними -  $\Delta_3$ . В общем случае она выражается формулой

$$H = \Delta + h + \Delta_3$$

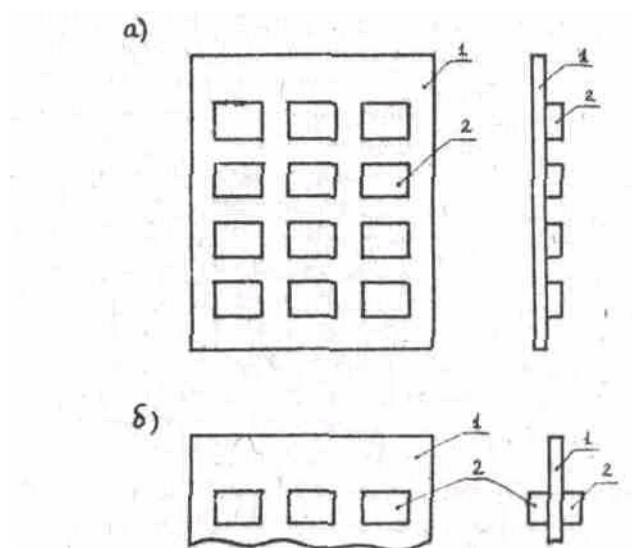


Рис.2. Размещение корпусированных ИС на ПП: а - одностороннее размещение; б - двустороннее размещение. 1 - ПП, 2 - ИС

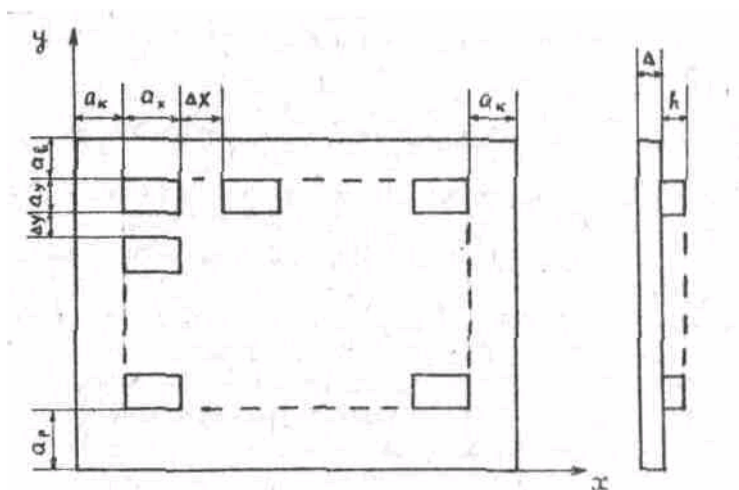


Рис.3. Зона расположения на ПП мест для установки ИС

Отсюда высота соединительных втулок ( $h_{BT}$ ) между ФЯ будет равна

$$h_{BT} = H - \Delta = h + \Delta_3$$

полный объем ФЯ с конструированной на корпусированных микросхемах ( $V_\Sigma$ ) равен

$$V_\Sigma = H \cdot S.$$

В величину  $V_\Sigma$  входит значение сумм объемов всех микросхем, а также объем, занимаемый несущими конструкциями, монтажом и зазором между микросхемами.

Качество компоновки ФЯ наиболее полно может быть охарактеризовано коэффициентом дезинтеграции ( $q$ ), равным отношению суммарного объема ФЯ к ее полезному объему  $V_n$ , который равен объему, занимаемому только корпусами микросхем:

$$q = V_\Sigma / V_n,$$

где  $V_n = n \cdot m \cdot a_x \cdot a_y \cdot h.$

Коэффициент дезинтеграции ФЯ на корпусированных ИС может быть рассчитан по формуле:

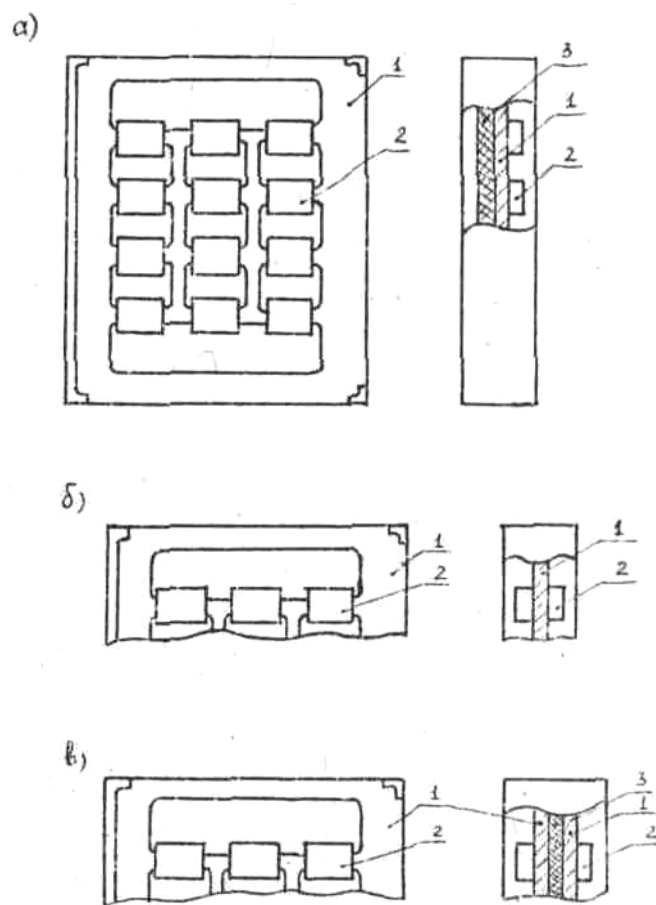
$$q = H \cdot S / (\alpha \cdot V_n);$$

где  $\alpha = 1$  - для односторонней компоновки;

$\alpha = 2$  - для двусторонней компоновки.

Компоновочная схема ФЯ второго типа, сконструированных на металлических рамках с применением бескорпусных МСБ, могут быть трех видов: односторонние, двусторонние и сдвоенные (рис.4). Бескорпусные МСБ представляют собой гибридные ИС, состоящие из подложек с пассивными элементами (проводниками, резисторами) и укрепленными на них с помощью клея бескорпусными компонентами (интегральными полупроводниковыми схемами, транзисторами, конденсаторами серии К 10 и т.д.). Размеры подложек соответствуют кратному делению сторон базовой подложки (60 x 48 мм). Наиболее распространенными являются размеры 24 x 30 мм. и 20 x 24 мм.

Бескорпусные МСБ с помощью компаундов и клеев присоединяются к планкам металлической рамки. Планки к рамке припаиваются или привариваются. Толщина планки обычно выбирается равной 0,5...1 мм. Высота рамки лежит в пределах 6... 10 мм.



Риг. 4. Компонувочные схемы ФЯ с применением бескорпусных МСБ  
 а - односторонняя; б - двусторонняя; в - сдвоенная:  
 1 - рамка; 2 - МСБ; 3 - ПП.

Высота бескорпусных МСБ составляет 1,5...2,5 мм, из которых 0,5 мм приходится на толщину их подложки. Ребра жесткости имеют ширину 2...3 мм. Крепление ФЯ осуществляется болтами и шпильками, диаметром 3 мм. Рамки и планки выполняются фрезерованием, штамповкой или прецизионным литьем из алюминиевых или магниевых сплавов (АМЦ, АМГ, АЛ 9, МА 8 ...).

При односторонней компоновочной схеме (рис.4,а) бескорпусные МСБ размещаются на металлической рамке, к противоположной стороне которой через изолирующую прокладку приклеена трассировочная печатная плата. Коммутация осуществляется с помощью гибких позолоченных перемычек диаметром 0,05 мм и длиной около 3 мм, пропущенных через сквозное отверстие планками и рамкой. ФЯ имеет зону расположения навесных компонентов и зону выходных коммутационных штырей.

При двусторонней компоновочной схеме (рис.4,б) бескорпусные МСБ приклеиваются к планкам с двух сторон. Трассировочная печатная плата отсутствует, так как электрические соединения микросборок в этом случае осуществляются непосредственно с помощью проводящих перемычек. В верхней и нижней зонах рамки в этом случае имеются монтажные печатные вставки. Верхняя вставка для навесных компонентов и коммутации второго уровня, нижняя - для зоны выходных контактных площадок межъячеечной коммутации. Коммутация между верхней и нижней вставками осуществляется жгутами из микропровода или гибкими печатными кабелями, уложенными в канавки и приклеенными клеем - мастикой.

При двусторонней компоновочной схеме (рис.4,в) бескорпусные МСБ размещаются на двух металлических рамках, которые затем склеиваются между собой через МПП и дополнительно скрепляются четырьмя развальцованными втулками.

Коэффициент дезинтеграции для указанных вариантов компоновочных схем при  $n > 3$  может быть приближенно рассчитан по следующей формуле [3] :

$$q_f = \frac{[a_x \cdot n \cdot (1 - k_x) + 2 \cdot (\Delta p)] \cdot [a_y \cdot m + (m + 2)(\Delta p) + a_l + a_n] \cdot h_r}{\alpha \cdot m \cdot n \cdot a_x \cdot a_y \cdot h}$$

где  $a_x, a_y$  - размер подложек МСБ в плоскости рамки;

$h$  - высота .СЕ;

$\Delta p$  - ширина ребра жесткости рамки;

$a_l, a_n$  - размеры верхней и нижней зоны расположения навесных компонентов и выходных контактов;

$\alpha$  - коэффициент, равный 1 для односторонней компоновки

и равный 2 для двусторонней компоновки.

В качестве других критериев для сравнения конструктивных вариантов ФЯ одной и той же функциональной сложности и одного назначения, кроме коэффициента дезинтеграции, рекомендуется использовать:

массу ФЯ	$m_{я}$ , кг;
объем ФЯ	$V_{я}$ , $\text{дм}^3$ ;
удельную массу ячейки	$m_{я}^*$ , $\text{кг/дм}^3$ ;
удельную мощность рассеивания -	$P_{уд}$ , $\text{Вт/дм}^3$ ;
плотность упаковки	$\gamma$ , $\text{эл/см}^3$ .

Для определения объема ячейки нужно знать ее габариты, которые берутся из сборочного чертежа после разработки и оформления конструкции.

Расчет массы ФЯ производится суммированием масс отдельных ее элементов, для чего необходимо знать массу применяемых корпусированных ИС и бескорпусных МСБ, а также разъемов, печатных плат, соединительных втулок, рамок и т.д.

Плотность упаковки определяется путем деления числа элементов (N) (функциональной сложности ФЯ) на объем ФЯ.

Удельная мощность рассеивания определяется

$$P_{уд} = 0,9 \cdot P_0 / V_{я}$$

где  $P_0$  - суммарная потребляемая мощность всех микросхем в ФЯ.

### Содержание работы

Для разработки двух вариантов конструкций ФЯ и их сравнительного анализа предлагаются исходные данные в виде следующих кодированных сочетаний:

I 1-5	III 1 - 6	V 2 - 5
II 2-6	IV 3 - 5	VI 3 - 6.

В каждом варианте задания сочетание цифр обозначает сочетание вариантов разработки по типу элементной базы и виду компоновочной схемы, которые приведены в табл.1. Значение приведенных в таблице величин параметров отнесены к одной корпусированной ИС или к одной бескорпусной МСБ, условно называемыми конструктивно-технологическими единицами (КТЕ).

Функциональная сложность всех разрабатываемых вариантов ФЯ принята одинаковой и равной 2400 элементов на ячейку.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Согласно полученному заданию изучить конструктивные особенности элементной базы.

2. Изучать методы компоновки ФЯ и особенности конструирования ФЯ по настоящему описанию и по [ 3 ] .

3. Разработать вариант конструкции ФЯ на корпусированных КС и определить его эффективность (качество компоновки).

3.1. Для этого рассчитать по известной сложности устройства и количеству элементов в КТЕ необходимое суммарное количество элементов (см.табл.1).

3.2. Для заданного типа корпуса микросхем, типа разъема и контрольной колодки выбрать значения величин  $a_k$  ,  $a_l$  ,  $a_p$

3.3. Определить шаг установки микросхем и величину зазора между ними.

3.4. Определить число рядов микросхем по осям X и Y , а также значения коэффициентов зазоров  $K_x$  ,  $K_y$  .

3.5. Рассчитать площадь печатной платы, необходимую для размещения корпусированных микросхем и выбрать стандартные размеры её.

3.6. Выбрать материал и толщину печатной платы, задаться величиной воздушных зазоров между микросхемами, между микросхемами и печатной платой и т.д. и рассчитать высоту ячейки и высоту соединительных втулок (для последних выбрать материал и способ крепления).

3.7. На формате II миллиметровой бумаги вычертить сборочный чертеж ФЯ на корпусированных микросхемах, а на другом листе такого же формата оформить спецификацию на эту ячейку (правила оформления спецификации изложены в ГОСТ 2.108-68).

3.8. Рассчитать массу разработанного варианта ФЯ. При расчете принять удельную массу печатных плат из гетинакса и текстолита равной  $1,4 \text{ г/см}^3$  , из стеклотекстолита и фольгированного многослойного диэлектрика для МПП (марки ФДМ и ФДМЭ, толщина одного слоя  $0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$ ) равной  $1,85 \text{ г/см}^3$ ; удельную массу меди (марки ММ. МГ) и латуни (марки ЛС59, Л62, Л58) равной  $8,5 \text{ г/см}^3$ ; стали -  $8,0 \text{ г/см}^3$ ; алюминиевых и магниевых сплавов -  $3,0 \text{ г/см}^3$ ; титановых сплавов -  $4,5 \text{ г/см}^3$

3.9. Рассчитать удельную массу и прочность упаковки ФЯ на корпусированных микросхемах.

3.10. Рассчитать суммарную потребляемую мощность и удельную рассеиваемую мощность ФЯ на корпусированных микросхемах.

3.11. Определить объем ФЯ и полезный объем микросхем; рассчитать коэффициент дезинтеграции; результаты расчета показать преподавателю для проверки.

- 3.12. Результате расчетов занести в табл.2.
4. Разработать ФЯ на бескорпусных ИС, а т.ч. разработать эскиз металлической рамки для ФЯ на бескорпусных МСБ (выбрать геометрию, материалы, вид межъячеечной коммутации, размеры зон навесных компонентов, условно задавшись их числом, равным 6); результаты расчета показать для проверки преподавателю;  
и повторить пункты 3.1-3.4; 3.7-3.12 настоящего раздела для ФЯ на бескорпусных микросборках.
5. Рассчитать полученные изменения объема, массы, удельной мощности рассеивания, коэффициенты дезинтеграции и плотности упаковки обоих вариантов компоновки ФЯ и сделать выводы по работе.

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Вариант задания на конструирование и отражением исходных данных, приведенных в табл.1.
2. Расчет площади печатной платы, объема и коэффициента дезинтеграции ФЯ на корпусированных ИС.
3. Сборочный чертеж и спецификация ФЯ на корпусированных ИС.
  4. Расчетные формулы и результаты расчета массы, удельной массы, плотности упаковки, потребляемой мощности и удельной мощности рассеивания ФЯ на корпусированных ИС.
  5. Расчетные формулы и результаты расчета объема и коэффициенты дезинтеграции ФЯ на бескорпусных МСБ.
  6. Сборочный чертёж и спецификация ФЯ на бескорпусных МСБ и металлической рамке.
  7. Расчетные формулы и результаты расчета массы, удельной массы, плотности упаковки, потребляемой мощности и удельной мощности рассеивания ФЯ на бескорпусных МСБ.
  8. Сводная таблица результатов конструирования по форме 2 т.
  9. Сравнительный анализ разработанных вариантов конструкции ФЯ.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой конструкция ФЯ для МЭА ?
2. Методы и уровни компоновки МЭА.
3. Что такое элементная база для каждого уровня компоновки ?
4. Что представляют собой критерии для сравнительного анализа вариантов конструкций ФЯ ?
5. Что такое технологичность конструкции ФЯ ?
6. Почему коэффициент дезинтеграции можно считать основным критерием качества компоновки.

Таблица I.

№ варианта	Тип корпуса	Размеры корпуса и МСБ (мм)	Установочные размеры КТБ (мм)	Кол-во элем. в КТБ	Масса КТБ (г)	Затрата мощн. КТБ (мВт)	Компонов. схема
1.	161.15-4	19,5x14,5x5	19,5x14,5x5	15	3	70	односторонняя
2.	401.14-2	9,8x6,5x2,2	9,8x6,5x2,2	20	0,45	80	двусторонняя
3.	421.50-1	36x24x5	36x24x5	600	12	1500	односторонняя
4.	6/к	24x30x2	24x30x2	300	1,5	600	односторонняя
5.	6/к	24x30x2	24x30x2	300	1,5	600	двусторонняя
6.	6/к	24x30x2	24x30x2	300	1,5	600	двухсторонняя

Примечание: в вариантах 4...6 на каждой МСБ укреплено по 15 бескорпусных полупроводниковых ИС (кристаллов) со степенью интеграции 20 элементов на кристалл; потребляемая мощность одного кристалла равна 40 мВт

Таблица 2.

Показатель конструкция	Вариант	
Количество КТЕ в ФЯ (шт.)		
Объем ФЯ (см <sup>3</sup> )		
Полезный объем КТЕ в ФЯ (см <sup>3</sup> )		
Коэффициент дезинтеграции		
Суммарная масса КТЕ (г)		
масса несущих конструкций (г)		
Масса ФЯ (г)		
Удельная масса ФЯ (г/см <sup>3</sup> )		
Мощность рассеивания ФЯ (Вт)		
Удельная мощность рассеивания ФЯ (Вт/см <sup>3</sup> ) .		
Плотность упаковки ФЯ (эл/см <sup>3</sup> )		

## РАБОТА № 3: АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

## КОНСТРУКЦИИ РЭА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение и анализ показателей качества конструкторских решений для заданных узлов РЭА, оценка их технического уровня и разработка КУ.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Под качеством любого изделия согласно ГОСТ 15467-79 [9] понимается совокупность свойств, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

Под свойством изделия понимается его объективная особенность, проявляющаяся при создании и эксплуатации.

Количественные характеристики свойств изделия, входящие в состав его качества, рассматриваемые применительно к определенным условиям создания и эксплуатации этого изделия, называются показателями качества.

Показатели качества бывают единичные (дифференциальные), относящиеся только к одному его свойству; комплексные, относящиеся к нескольким его свойствам; интегральные, дающие соотношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации изделия и затрат на его создание и эксплуатацию; базовые, принятые за исходные при сравнительных оценках качества.

Методической основой определения качества технических объектов служат методы исследования операций и квалиметрия [7]. Квалиметрия - это новая научная область, объединяющая в настоящее время количественные методы оценки качества изделий, используемые для обоснования решений, принимаемых при управлении качеством и стандартизации.

Все методы квалиметрии можно разделить на две основные группы: дифференциальные, применяемые при оценке главного качества; комплексные, применяемые в большинстве случаев.

Комплексную оценку качества можно рассматривать как двухэтапный процесс: первый этап - оценка простых свойств; второй - оценка сложных свойств вплоть до качества в целом. Модель комплексной оценки характеризует связь между свойствами изделия и дает метод объединения оценок отдельных свойств в комплексную оценку. При этом возможны различные критерии качества технических объектов, выражаемые в натуральных, стоимостных и безразмерных единицах.

Большое разнообразие входящих в состав сложной РЭА устройств, приборов, их специфика и множество показателей, по которым может быть произведена оценка качества изделия, затрудняют получение решения для обоснования выбора лучшего варианта. Важное место в процессе проектирования занимает обеспечение качества конструкторских решений. Так, выбор показателей качества при проектировании, например, печатных плат производится на этапах компоновки, размещения и трассировки из числа следующих [6] :

1. Показатели качества конструкторского проектирования при компоновке:

- минимальное число связей между модулями, конструктивно реализующими заданную схему;
- минимальное число модулей, связанных с каждым модулем;
- наиболее полное использование модуля.

2. При размещении показателями качества являются:

- минимальная длина всех соединений;
- выполнение условия, при котором длина каждого соединения не должна превышать заданной длины;
- минимальная суммарная длина соединений;
- минимальное число пересечений проводников;
- максимальная удаленность модулей, имеющих наибольшее количество связей.

3. На этапе трассировки показателями качества могут быть:

- минимальная длина проводников;
- минимальное использование перемычек, переходов;
- максимальная удаленность проводников от вывода и других проводников;
- минимальное число используемых каналов;
- минимальное число паяк к одному контакту.

Значения основных частных показателей качества конструирования - коэффициенты заполнения монтажной плоскости, плотности размещения, трассировки, заполнения объема, - непосредственно связаны с обеспечением качества по тепловому режиму, технологичности, и в значительной степени определяют его оценку.

Частными показателями обеспечения тепловых режимов являются: среднеповерхностная температура, тепловой коэффициент, условия теплоотвода с поверхности модуля. Частными показателями технологичности - вероятность годности модуля после К -го технологического цикла, вероятность годности исходных материалов, достоверность контроля,

размещение модулей и проводных соединений с учетом ограничений по быстродействию и помехоустойчивости.

Состав частных показателей диктуется задачей оценки технического решения на этапе анализа и синтеза структуры проектируемой конструкции. Решение задач анализа и синтеза на основе частных показателей качества связано с необходимостью учета их значимости, взаимозависимости. В условиях множества показателей качества используются методы многокритериальной оптимизации.

В настоящее время наиболее простыми, и распространенными являются методы оценки качества, основанные на теории аддитивной полезности.

Понятие критерия качества вводится для суждения о степени соответствия технического объекта его назначению. Необходимость в нем возникает так, где есть возможность какого-либо выбора за счет предпочтения одного готового или мыслимого объекта некоторым другим. При этом предполагается возможность выбора объектов из некоторой совокупности. Таким образом, использование критерия предполагает процедуру выстраивания объектов некоторого класса в определенную последовательность в соответствии со степенью их относительного предпочтения.

В дальнейшем критерием качества будем считать любой алгоритм, позволяющий упорядочить объекты определенного класса в заданные условиях применения по принципу "лучше-хуже".

Обязательным условием правильного решения задачи по оценке качества является правильный выбор ее критерия. Неправильный выбор критерия приведет к неточному решению задачи.

Существует возможность однозначно определять значения любого показателя качества из сравниваемых объектов. Таким образом, каждый объект может быть представлен вектором (точкой) в  $m$  - мерном пространстве его показателей.

Задача выбора лучшего варианта может осуществляться, например, такими двумя способами, причем и в том и в другом случае определяется степень влияния отдельного показателя на качество устройства. Первый способ предполагает, что показатели ранжированы по важности в ряд предпочтения, на основе которого проводится последовательная оптимизация.

Преимуществом этого способа является то, что в данном случае принимаются одинаковые расстояния между показателями  $X_j$  на шкале ценности.

Решение задачи может быть получено, если на основе оценок значений отдельных показателей получить общую оценку объекта. Этот способ

основан на введении отношения эквивалентности между точками  $m$ -мерного пространства показателей качества к действительными числами. Таким образом, оценку качества объекта можно получить, введя однозначную функцию  $\varphi(x_j)$ , которая ставит в соответствие каждому объекту вместо  $m$ -мерного вектора оценок  $X = \{x_j\}$ ,  $j=1 \dots m$  скалярную оценку, после чего задача выбора и упорядочивания решается очевидным образом

$$\begin{aligned} \varphi(x^{(1)}) > \varphi(x^{(2)}) &\rightarrow x^{(1)} > x^{(2)}, \\ \varphi(x^{(1)}) = \varphi(x^{(2)}) &\rightarrow x^{(1)} \approx x^{(2)}, \\ \varphi(x^{(1)}) < \varphi(x^{(2)}) &\rightarrow x^{(1)} < x^{(2)}, \\ \varphi(x^{(2)}) \geq \varphi(x^{(3)}) &\rightarrow x^{(2)} \geq x^{(3)}. \end{aligned}$$

функция  $\varphi(x_j)$  должна быть непрерывной, а показатели для приведения их к безразмерному виду должны быть нормированы. Сопоставимость влияния каждого показателя на величину этой функции будет обеспечена, если изменения каждого из безразмерных значений интенсивностей показателей окажутся общими

$$0 \leq X \leq 1$$

В общем случае используемая для этой цели функция описывается выражением вида:

$$\varphi(x_j) = \varphi(\bar{x}_j, \psi_j),$$

где  $\psi_j$  значимость - вес  $j$ -го показателя;

$\bar{x}$  - нормированное значение  $j$ -го показателя. Согласно ГОСТ 15467-79 коэффициент весомости показателя качества - это количественная характеристика значимости данного показателя качества продукции среди, других показателей ее качества.

Таким образом, при оценке качества предполагается задание коэффициентов важности показателей, образующие так называемый вектор весомости

$$Q = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_j, \dots, \psi_m\}.$$

При таком подходе некоторое предпочтение отдается более важным показателям с помощью взвешенной целевой Функции.

Одним из методов перехода от векторной величины к скалярной является использование нормы вектора. Эта структура дает известную линейную форму средневзвешенного арифметического

$$\varphi(x_j) = \sum_{j=1}^m \bar{x}_j \cdot \psi_j, \\ \sum_{j=1}^m \psi_j = 1.$$

Часто встречающиеся в литературе другие формы целевых функций, такие как средневзвешенного геометрического, средневзвешенного гармонического, с помощью простейших преобразований сводятся к средневзвешенному арифметическому.

Недостаток метода взвешенных сумм заключается в неограниченной возможности, компенсации уменьшения качества по одному показателю увеличением качества по другому.

Одним из важных вопросов, решаемых при построении критерия качества РЭА, является выбор номенклатуры показателей, характеризующих его соответствие целевому назначению.

Воспользуемся показателем уровня миниатюризации устройств  $\mu_0$ , понимая под ним степень насыщенности аппаратуры интегрированными элементами ( $0 \leq \mu_0 \leq 1$ ). Тогда для оценки качества РЭА в микроэлектронном исполнении целесообразно выбрать те показатели качества, которые в наибольшей степени зависят от  $\mu_0$ . Качество РЭА  $U$  можно представить в виде

$$U = f_0(\lambda, G, V, C, W),$$

где  $\lambda, G, V, C, W$  - показатели надежности, массы, габаритов, стоимости и потребляемой мощности соответственно. Очевидно, что  $\lambda = f_1(\mu_0)$ ;  $G = f_2(\mu_0)$ ;  $V = f_3(\mu_0)$ ;  $C = f_4(\mu_0)$ ;  $W = f_5(\mu_0)$ , т.е. качество РЭА является функцией уровня миниатюризации

$$U = F(\mu_0)$$

причем большему уровню миниатюризации соответствует лучшее качество устройства.

Определение важности (веса) отдельных показателей  $X_j$

Возможны различные подходы к их определению: директивный, статистический, стоимостной, аналитический и эвристический. Весовые коэффициенты  $\psi_j$  характеризуют соотношения между показателям  $X_j$  по их вкладу в общую полезность варианта, а функции полезности отдельных показателей  $\varphi(X_j)$  измеряются по одной шкале

$$0 \leq \varphi(x_j) \leq 1.$$

При использовании стоимостного метода считается, что коэффициент “веса”  $\psi_j$  ( $j = 1, 2 \dots m$ ) является монотонно возрастающей функцией от аргумента  $S_j$ , выражающего денежные или трудовые затраты, необходимые для обеспечения существования  $j$ -го свойства, т.е. можно принять

$$\psi_j = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^m S_j}$$

К аналитическим относятся методы, для которых не требуется никакой дополнительной информации к тому, что содержится в самих значениях показателей и допустимых областях их применения. Например, целевая направленность устройства отражена в технических условиях, которые в конечном счете являются ограничениями, накладываемыми на основные варьируемые показатели устройства и ограничивающие их снизу. Сверху эти показатели ограничены возможностями их технической реализации.

В настоящее время наибольшее распространение нашли эвристические методы, к которым относятся все методы, связанные с учетом мнений группы специалистов (экспертов), т.е. это способы принятия решений, использующие обобщенный человеческий опыт.

Для оценки уровня качества РЭА в соответствии с ЕСКД (ГОСТ 2.116-71) составляются “Карты технического уровня и качества продукции” (КУ).

Под оценкой технического уровня продукции согласно ГОСТ 15467-79 понимается совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

Технический уровень продукции, в т.ч. РЭА, это относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой

продукции с соответствующими базовыми значениями.

В КУ для РЭА, в частности, указываются следующие показатели качества:

- показатели назначения;
- надежности;
- технологичности;
- показатели эргономические;
- эстетические;
- стандартизации и унификации;
- показатели патентно-правовые;
- экономические и др.

Эти показатели выявляются в процессе проектирования РЭА.

Каждый показатель качества, так же как и свойства РЭА, количественно оценивается одним или несколькими параметрами или коэффициентами. Ряд показателей качества непосредственно является свойствами конструкции (эстетические, технологический, стандартизация и унификация и др.), а остальные частично определяются конструкцией наряду с системо-, схемотехническими и технологическими решениями.

Так при анализе вариантов компоновок и конструкций РЭА следует использовать параметры и коэффициенты по следующим видам показателей качества:

1. По компоновочным показателям (часть показателей качества РЭА по назначению, практически не зависящих от схемного решения РЭА):

- $m$  - масса конструкции, кг;
- $V$  - объем,  $\text{дм}^3$ ;
- $n = N / V$  - плотность монтажа,  $\text{см}^{-3}$ ,

где  $N$  - количество электрорадиоэлементов, входящих в принципиальную электрическую схему РЭА;

-  $K_m = \sum_{i=1}^N m_i / m$  - коэффициент использования массы, где  $m_i$  - масса  $i$ -го радиоэлемента\*;

-  $m_3 = m / N$  - эквивалентная масса одного электрорадиоэлемента;

-  $V_3 = V / N$  - эквивалентный объем одного электрорадиоэлемента.

-  $K_v = \sum_{i=1}^N V_i / V$  - коэффициент использования объема, где  $V_i$  - объем  $i$ -го электрорадиоэлемента\*; (см. стр.37)

---

\* значение  $m_i$ , берется из справочников и каталогов на электрорадиоэлементы; значение  $V_i$  вычисляется по габаритным размерам элементов без учета выводов.

## 2. По показателям технологичности:

-  $K_{сб} = Q_{сб} / Q_0 = 1 - \bar{Q}_{сб} / Q_0$  - коэффициент сборности, где  $Q_{сб}$  - количество, масса или стоимость специфицируемых составных частей, входящих непосредственно в рассматриваемое изделие и записанных в разделе спецификации: "Комплексы", "Сборочные единицы", "Стандартные изделия", "Прочие изделия" и "Комплекты";

$\bar{Q}_{сб}$  - количество, масса или стоимость деталей и материалов, входящих в состав изделия по разделам спецификации: "Детали", "Стандартные изделия", "Прочие изделия" и "материалы";

$Q_0$  - общее количество, масса или стоимость составных частей изделия, определяемое по формуле:

$$Q_0 = Q_{сб} + \bar{Q}_{сб}$$

-  $q_T = T/B$  - удельная трудоемкость, где  $T$  - общая трудоемкость производства, нормо-часы;  $B$  - основной параметр продукции; если оценивается технологичность РЭА, то за  $B$  в зависимости от назначения РЭА принимают дальность действия, чувствительность, точность, быстродействие и т.д.;

-  $g = m/B$  - удельная материалоемкость.

## 3. По показателям стандартизации и унификации

-  $K_{пр} = 1 - \Sigma_0 / \Sigma_{об}$  - коэффициент применяемости по типоразмерам, где  $\Sigma_{об}$  - общее количество типоразмеров составных частей,

$$\Sigma_{об} = \Sigma_{ст} + \Sigma_0 + \Sigma_y$$

здесь  $\Sigma_{ст}$ ,  $\Sigma_y$ ,  $\Sigma_0$  - количество типоразмеров (позиций в спецификациях) соответственно стандартизованных, унифицированных и оригинальных составных частей;

-  $K_{прN} = (\Sigma_{обN} - \Sigma_{0N}) / \Sigma_{обN}$  - коэффициент применяемости по составным частям изделия, где  $\Sigma_{обN}$  - общее число составных частей в изделии;  $\Sigma_{0N}$  - общее число оригинальных составных частей в изделии;

-  $K_{п} = \Sigma_{обN} / \Sigma_{об}$  - коэффициент повторяемости;

-  $K_c = (C_{об} - C_0) / C_{об}$  - стоимостной коэффициент применяемости,

где  $C_{об}$  - стоимость изделия в целом, руб;  $C_0$  - стоимость оригинальных составных частей изделия, руб.

## 4. По патентно-правовым показателям:

-  $K_{пз} = C_{пз} / C_{об}$  - коэффициент патентной защиты, где  $C_{пз}$  - стоимость составных частей и элементов изделия, защищенных авторскими свидетельствами и патентами;

-  $K_{пч} = (C_{об} - C_{пат}) / C_{об}$  - коэффициент патентной чистоты,

где  $C_{\text{пат}}$  — стоимость составных частей и элементов, попадающих под действие патентов, исключительного права на изобретение промышленных образцов, а также свидетельств на товарные знаки, которые зарегистрированы в стране или группе стран, куда предполагается экспорт продукции.

В состав эргономических показателей входят гигиенические, антропометрические, физиологические и психофизиологические показатели. Эти показатели характеризуют соответствие изделия санитарно-гигиеническим нормам, условиям жизнедеятельности и работоспособности человека соответствие изделия форме тела и физиологическим свойствам человека и особенностям функционирования органов чувств, соответствие изделия психологическим особенностям человека.

Эстетические показатели характеризуют такие свойства, как выразительность, оригинальность, гармоничность, целостность, соответствие среде, моде, стилю и т.д.

Уровень эргономических и эстетических показателей определяется экспертами, специализирующимися в данной отрасли промышленности, по специально разработанной шкале оценок в баллах.

Следует иметь в виду, что здесь не приведен ряд показателей качества по назначению, по надежности и стоимости в связи с тем, что эти показатели наряду с конструкцией РЭА, определяются системо- и схемотехническими решениями.

Методы определения показателей качества

1. Измерительный метод определения показателей качества - метод, осуществляемый на основе технических средств измерения.
2. Регистрационный, осуществляемый на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат.
3. Расчетный, осуществляемый на основе использования теоретических или эмпирических зависимостей показателей качества от ее параметров.
4. Органолептический, осуществляемый на основе анализа восприятия органов чувств, при этом методе применяют балльную систему оценки показателей;
5. Социологический, осуществляемый на основе сбора и анализа мнений фактических или возможных потребителей РЭА.
6. Экспертный, осуществляемый на основе решения, принимаемого экспертами, т.е. на учете мнений группы высококвалифицированных специалистов-экспертов, связанных с разработкой, производством и сбытом данного вида РЭА.

Уровень качества изделия в общем случае оценивается сравнением количественных показателей качества рассматриваемого изделия с показателями действующего стандарта или аналогичного образца - эталона, выпускаемого отечественным или зарубежным предприятием.

При сравнении вариантов конструкции следует оценивать показатели качества этих вариантов дифференциальным, комплексным или смешанным методом.

При дифференциальном методе оценку надо производить путем сопоставления единичных показателей качества сравниваемых изделий между собой или с показателями, установленными техническими условиями  $\text{sum}$  стандартами. Оценка уровня качества этим методом заключается в вычислении значений относительных показателей  $g_i$

$$g_i = P_i / P_{i6} \quad \text{или} \quad g_i = P_{i6} / P_i$$

где  $P_i$  - значение показателя оцениваемого изделия;

$P_{i6}$  - значение базового показателя (эталона или норм по ТУ или стандарту);

$i = 1, 2, 3, \dots$  - количество показателей.

Первую формулу следует применять, когда увеличение  $P_i$  свидетельствует об улучшении качества изделия (плотность монтажа, уровень стандартизации, коэффициенты использования массы и объема и т.д.), вторую - когда уменьшение  $P_i$  свидетельствует об улучшении качества (материалоемкость, удельная трудоемкость и др.).

В результате расчетов может оказаться, что:

- 1) все  $g_i \geq 1$ ;
- 2) все  $g_i \leq 1$ ;
- 3) часть  $g_i \geq 1$ , а часть  $g_i \leq 1$ .

В первом случае уровень качества оцениваемой РЭА не ниже качества эталона, во втором - ниже. В третьем случае для принятия решения необходимо использовать комплексный метод оценки, который заключается в нахождении обобщенного показателя уровня качества. Для разных видов РЭА могут использоваться различные комплексные показатели. Чаще других используют интегральный показатель  $K_{\text{и}}$  и комплексный показатель  $K$

$$K_{\text{и}} = \Pi / (Z_{\text{к}} + Z_{\text{и}}),$$

где  $\Pi$  - суммарный полезный эффект, руб.;

$З_k$  - капитальные затраты, руб.;

$З_э$  - эксплуатационные затраты, руб.;

Этим показателем удобно пользоваться при оценке уровня качества всей РЭА.

$$K = \sum_{i=1}^s \kappa_i q_i ,$$

где  $\kappa_i$  - коэффициент весомости для  $i$ -го относительного показателя.  $\kappa_i$  устанавливаются отраслевыми НИИ на определенный период времени.

Смешанный метод оценки качества основан на одновременном использовании единичных и комплексных показателей качества. При смешанном методе оценки качества  $Я_{..}$ , надо объединить в группы и для каждой группы найти комплексный показатель  $K_j$  ( $j$  - номер группы). На основе  $K_j$  оценивают уровень качества изделия дифференциальным методом (при необходимости можно воспользоваться экспертным методом).

Комплексный метод оценки качества основан на использовании комплексных показателей качества.

При выполнении задания сначала необходимо воспользоваться дифференциальным методом. Если в результате расчета часть  $Я_{..}$  окажется больше 1, а часть — меньше, то, используя заданные весовые коэффициенты  $\kappa_i$ , следует рассчитать комплексный показатель качества  $K$

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исходными данными для выполнения работы являются 2 варианта чертежей одного и того же узла, выполненных по одной из предыдущих работ данной дисциплины и весовые коэффициенты показателей качества для конкретных условий эксплуатации.

При выполнении работы необходимо изучить основные положения по оценке качества изделий, в т.ч. РЭА, определить перечень показателей качества конструкции предложенного функционального узла и произвести расчет показателей качества каждого конструктивного решения узла. Оценить уровень качества конструкции узла. Составить отчет и КУ.

При этом номенклатура показателей качества должна выбираться с учетом ее необходимости и достаточности для оценки уровня качества РЭА.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Согласно полученному заданию следует.

- изучить конструктивные особенности узла;
- изучить показатели качества и методы их оценки по настоящему описанию и [ 1...9 ];
- определить номенклатуру показателей качества для заданного узла, исходя из условия необходимости и достаточности точности для оценки уровня качества РЭА;
- установить номенклатуру показателей качества, согласовать её с преподавателем и, воспользовавшись формулами, произвести расчет показателей для обоих вариантов конструктивного выполнения узла. Оценить технический уровень
- проанализировать качество заданных вариантов конструкции узла, сравнив их по выбранным показателям;
- составить отчет с выводами и рекомендациями.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ к выполнению текстовых документов. Текст отчета должен содержать; - исходные данные для выполнения работы (два варианта конструкции одного и того же узла, отличающиеся друг от друга);
- необходимые определения терминов;
  - название, обозначения и расчетные формулы всех коэффициентов, по которым производится оценка уровня качества, их взаимосвязь с соответствующими показателями качества;
  - сводную таблицу результатов расчета показателей качества двух вариантов конструкции;
  - сравнительный анализ показателей качества двух вариантов конструкции заданного узла;
  - оценку технического уровня выбранного варианта;
  - выводы и рекомендации;
  - КУ.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое качество изделия?
2. Каким образом конструкция РЭА влияет на качество РЭА?
3. Какова номенклатура основных показателей качества изделия
4. 4. Какие существуют методы определения показателей качества?
5. Какими методами оценивается уровень качества РЭА?

6. Назовите коэффициенты, описывающие технологичность конструкции РЭА.
7. Как соотносятся между собой параметры конструкции РЭА и показатели качества?
8. По каким показателям качества конструкции РЭА можно установить уровень качества компоновки?
9. Что такое технический уровень РЭА?
10. Что понимают под оценкой технического уровня?
11. Что такое "карта технического уровня и качества продукции"?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пестряков В.Б. Конструирование РЭА. М., Сов.радио, 1969. 167 с.
2. Гелль П.П., Иванов-Есипович Конструирование РЭА. Л., Энергия, 1972. 240 с.
3. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры: справочное пособие./ Под редакцией Б.В.Высоцкого, В.Б.Иестрякова, О.А.Пятли-на. М., Радио и связь, 1982. 208 о.
4. Конструирование микроэлектронной аппаратуры./ Под редакцией Б.Ф.Высоцкого. М., Сов.радио, 197б, 120 с.
5. Конструирование и расчет ЕП1С, микросборок и аппаратуры на их основе: Учебное пособие для вузов./ Под редакцией Б.Ф.Высоцкого. М., Радио и связь, 1981. 216 с.
6. Варжапетян А.Г.» Коршунов Г.Н. Обеспечение качества технических средств автоматизации. Машиностроение. 1981. 184 с.
7. Верхопятницкий П.Д., Латинский В.С. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. Л., Судостроение, 1983. 247 с.
8. Поляков К.П. Конструирование приборов и устройств РЭА. И., Радио и связь, 1982. 180 с.
9. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
10. ОСТ 4 ГО.010.009-64. Модули электронные первого и второго уровней радиоэлектронных средств Конструирование.
11. ОСТ 4 ГО 010 209-78. Платы печатные. Конструирование.