

# Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры

Под редакцией заслуженного деятеля науки РФ,  
профессора В.А. Шахнова

Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности  
«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»  
направления подготовки дипломированных специалистов  
«Информатика и вычислительная техника» и специальности  
«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»  
направления подготовки дипломированных специалистов  
«Биомедицинская техника»

Москва  
Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана  
2005

УДК 681.321(075.8)

ББК 32.971

К65

**Р е ц е н з е н т ы:**

профессор И.Г. Мироненко (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет);

кафедра «Конструирование и технология радиоэлектронных средств»

Владимирского государственного университета

(зав. кафедрой — профессор М.В. Руфицкий)

**А в т о р ы:**

К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева, В.В. Макарчук, Э.В. Мысловский,  
О.Д. Парфенов, Е.В. Пирогова, В.А. Шахнов, В.В. Шерстнев

**К65**

**Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры:** Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 568 с.: ил. — (Информатика в техническом университете).

ISBN 5-7038-2716-7

Изложены общие принципы организации проектирования электронной аппаратуры различного назначения, рассмотрены задачи конструкторского и технологического проектирования: обеспечение надежной работы аппаратуры, правила конструирования, технологические процессы формообразования, изготовление коммутационных плат, сборки и монтажа, наладки и испытания.

В втором издании (1-е — 2002 г.) уточнены некоторые данные по техническим характеристикам материалов и технологических процессов. Приведенные в приложении примеры документов помогут студенту в разработке конструкторско-технологической документации при курсовом и дипломном проектировании.

Содержание учебника соответствует курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов высших технических учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Информатика и вычислительная техника» и другим специальностям, связанным с созданием электронной аппаратуры различного назначения.

**УДК 681.321(075.8)**

**ББК 32.971**

ISBN 5-7038-2716-7

© Коллектив авторов, 2005

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	8
СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	10
ВВЕДЕНИЕ .....	12
<b>1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ.....</b>	<b>14</b>
1.1. Этапы разработки электронной аппаратуры .....	14
1.2. Техническая документация .....	18
1.3. Схемная документация .....	27
1.4. Показатели конструкции ЭА .....	34
<b>2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКЦИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>37</b>
2.1. Внешние факторы, влияющие на работоспособность ЭА .....	37
2.2. Объекты установки ЭА и их характеристики .....	46
2.3. Требования, предъявляемые к конструкции ЭА .....	50
<b>3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ, УЗЛОВ И УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>56</b>
3.1. Модульный принцип конструирования, конструктивная иерархия элементов, узлов и устройств .....	56
3.2. Стандартизация при модульном конструировании .....	60
3.3. Модули нулевого уровня .....	62
3.4. Микросборки.....	66
3.5. Модули первого уровня .....	66
3.6. Модули второго уровня .....	70
3.7. Модули третьего уровня .....	80
3.8. Рамы.....	86
<b>4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>88</b>
4.1. Защита конструкции от механических воздействий .....	88
4.2. Защита ЭА от воздействия влажности.....	103
4.3. Защита от воздействия пыли .....	107
4.4. Герметизация ЭА .....	109

4.5. Защита от температурных воздействий.....	113
4.6. Защита конструкции от воздействия помех .....	126
4.7. Надежность конструкции ЭА .....	136
<b>5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ.....</b>	<b>147</b>
5.1. Виды электрических соединений в ЭА .....	147
5.2. Конструкции сигнальных ЛП .....	159
5.3. Волоконно-оптические ЛП .....	167
5.4. Конструирование линий электропитания.....	171
5.5. Конструирование заземления .....	175
5.6. Электрические контакты в ЭА .....	179
<b>6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>187</b>
6.1. Основные понятия .....	187
6.2. Виды технологических процессов .....	190
6.3. Этапы разработки технологических процессов .....	191
6.4. Технологические процессы и качество ЭА .....	204
6.5. Качество поверхности деталей .....	216
6.6. Производительность труда и норма штучного времени .....	220
6.7. Технологическая себестоимость .....	224
6.8. Выбор наиболее экономичного варианта ТП по себестоимости.....	226
<b>7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОСХЕМ .....</b>	<b>228</b>
7.1. Общие сведения о микросхемах и технологии их изготовления .....	228
7.2. Изготовление монокристалла полупроводникового материала .....	230
7.3. Резка монокристалла и получение пластин.....	231
7.4. Изготовление фотошаблонов .....	232
7.5. Полупроводниковые микросхемы .....	232
7.6. Легирование методом термической диффузии примесей.....	235
7.7. Легирование методом ионной имплантации.....	240
7.8. Проектирование полупроводниковых резисторов в ИМС .....	245
7.9. Фотолитография .....	247
7.10. Расчет топологических размеров областей транзистора.....	255
7.11. Осаждение тонких пленок в вакууме.....	257
7.12. Тонкопленочные резисторы .....	264
7.13. Основы толстопленочной технологии .....	268
7.14. Коммутационные платы микросборок .....	272
7.15. Крепление подложек и кристаллов .....	276
7.16. Электрический монтаж кристаллов ИМС на коммутационных платах микросборок.....	284
7.17. Герметизация микросхем и микросборок.....	290
<b>8. ПЕЧАТАНЫЕ ПЛАТЫ .....</b>	<b>308</b>
8.1. Общие сведения о печатных платах .....	308
8.2. Материал печатных плат.....	315

## *Оглавление*

---

8.3. Изготовление оригиналов и фотошаблонов .....	320
8.4. Технологические процессы изготовления печатных плат .....	324
8.5. Основные технологические этапы в производстве печатных плат.....	340
<b>9. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>358</b>
9.1. Обработка резанием деталей ЭА.....	358
9.2. Изготовление деталей ЭА методом литья .....	371
9.3. Изготовление деталей ЭА холодной штамповкой.....	374
9.4. Изготовление деталей из пластмасс для ЭА .....	381
9.5. Электрофизические и электрохимические методы обработки деталей.....	384
<b>10. СБОРКА И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....</b>	<b>392</b>
10.1. Сборочно-монтажные операции .....	392
10.2. Сборка и монтаж модулей первого уровня .....	395
10.3. Технология монтажа объемных узлов .....	409
10.4. Размещение ленточных проводов в ЭА .....	422
<b>11. РЕГУЛИРОВКА, НАСТРОЙКА, КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>430</b>
11.1. Технологические операции регулировки и настройки.....	430
11.2. Контроль, диагностика ЭА .....	438
11.3. Виды неисправностей ЭА и их устранение.....	451
11.4. Испытания ЭА .....	462
<b>12. ЭРГОДИЗАЙН ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....</b>	<b>482</b>
12.1. Характеристика человека-оператора как звена в единой системе человек—машина .....	485
12.2. Организация рабочего места при эксплуатации ЭА.....	505
12.3. Проектирование эргономичных узлов и устройств ЭА .....	513
12.4. Основы художественного проектирования ЭА .....	529
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>540</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>542</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>561</b>
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>563</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Роль и значение работ, связанных с разработкой конструкции и технологии производства, в общем процессе создания электронной аппаратуры (ЭА) все более возрастает. Это связано, с одной стороны, с ростом степени интеграции применяемой микроэлектронной элементной базы, что требует новых подходов к решению задач компоновки, помехоустойчивости, обеспечения нормальных тепловых режимов и высокой надежности. С другой стороны — расширением сфер применения ЭА, что требует использования современных методов конструирования и технологических процессов, обеспечивающих оптимальное сочетание необходимых эксплуатационных и экономических характеристик. Поэтому от правильного решения конструкторских и технологических проблем при проектировании ЭА зависят в конечном итоге ее потребительские качества.

Разработчики (инженеры-системотехники, инженеры-схемотехники, программисты, специалисты по сетям и техническому обслуживанию) при решении специфических задач должны хорошо ориентироваться в вопросах построения конструкции, разработки технологических процессов и организации производства ЭА. Это не только позволит получать самые совершенные **эксплуатационные** показатели создаваемой ЭА, но и обеспечит возможность организации ее производства с применением передовых технологий и достижением высоких **экономических** показателей.

Предлагаемая вниманию читателя книга отражает современные тенденции разработки конструкции и технологии изготовления электронной аппаратуры, микроэлектронных элементов и устройств, электронной аппаратуры различного назначения: радиоэлектронной, электронно-вычислительной, транспортируемой, бытовой, медицинской (только электронной ее части). В ней приведены наиболее общие сведения по этим проблемам, по мнению авторов достаточные для схемотехников, системотехников, программистов, конструкторов и технологов. Материал книги базируется на лекциях, читаемых авторами по различным разделам конструкторских и технологических дисциплин студентам соответствующих специальностей.

Следует отметить, что под термином «электронная аппаратура» авторами подразумевается любой тип радиоэлектронной, электронно-вычислительной и управляющей аппаратуры, построенной с использованием микроэлектронной элементной базы. В книге не приводятся особенности проектирования СВЧ-техники — это предмет особого рассмотрения. В современной учебной и научно-технической литературе широко применяются термины «радиоэлектронная аппаратура», «компьютер», «электронная вычислительная машина (ЭВМ)»,

«электронно-вычислительная аппаратура (ЭВА)», «электронно-вычислительные средства (ЭВС)», «радиоэлектронные средства», «биомедицинская аппаратура» и др. Принципиальных различий между этими терминами с точки зрения конструкторско-технологического проектирования нет. Поэтому в дальнейшем изложении авторы используют термин **«электронная аппаратура (ЭА)»**.

Во втором издании (1-е издание — 2002 г.) уточнены некоторые данные по техническим характеристикам материалов и технологических процессов, расширен раздел по основам художественного проектирования ЭА. Добавлено приложение с примерами выполнения конструкторской и технологической документации. Эти примеры документов помогут студенту в разработке конструкторско-технологической документации при курсовом и дипломном проектировании. Отражены также некоторые результаты исследований, полученных авторами в ходе выполнения НИОКР по НТП Минобразования РФ «Производственные технологии» (05.01.030), «Информационно-телекоммуникационные технологии» (209.01.01.037), гранта РД02-2.8-70 и гранта Президента РФ по поддержке молодых российских ученых и ведущих научных школ (МК-2063.2003.01).

Материал книги распределяется между авторами следующим образом: главы 1, 2 и заключение — д-р техн. наук, проф. В.А. Шахнов; главы 3, 4 и 5 — канд. техн. наук, доц. В.В. Шерстнев; главы 6, 9 и 10 — канд. техн. наук, доц. К.И. Билибин; глава 7 (кроме § 7.9 и § 7.19) — канд. техн. наук, доц. О.Д. Парфенов; глава 8 — канд. техн. наук, доц. Е.В. Пирогова; глава 11 — канд. техн. наук, проф. Э.В. Мысловский; глава 12 — канд. техн. наук, доц. А.И. Власов; § 7.9 — канд. техн. наук, доц. В.В. Макарчук; § 7.17 — канд. техн. наук, доц. Л.В. Журавлева. Общая редакция — д-р техн. наук, проф. В.А. Шахнов.

Подготовка к изданию этой книги была бы невозможной без всесторонней и доброжелательной помощи сотрудников кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Глубокую благодарность авторы выражают рецензентам: заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заведующему кафедрой Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, доктору технических наук, профессору И.Г. Мироненко и коллективу кафедры «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» Владимиrского государственного электротехнического университета (заведующий кафедрой — доктор технических наук, профессор М.В. Руфицкий), чьи замечания способствовали улучшению содержания книги.

Авторы будут признательны читателям за все замечания по содержанию книги, которые следует направлять по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

*Шахнов В.А.*

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

АСТПП	— автоматизированная система технологической подготовки производства
АСУ	— автоматизированная система управления
АСУ ТП	— автоматизированная система управления технологическими процессами
АЧХ	— амплитудно-частотная характеристика
БИС	— большая интегральная схема (микросхема)
БНК	— базовая несущая конструкция
ГПК	— гибкий печатный кабель
ГПП	— гибкая печатная плата
ГПС	— гибкая производственная система
ГСС	— генератор стандартных сигналов
ДПП	— двусторонняя печатная плата
ЕСДП	— единая система допусков и посадок
ЕЗЗКС	— единая система защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений
ЕСКД	— единая система конструкторской документации
ЕСТД	— единая система технологической документации
ЕСТПП	— единая система технологической подготовки производства
ЖКИ	— жидкокристаллический индикатор
ЗУ	— запоминающее устройство
ЗУПВВ	— запоминающее устройство с произвольной выборкой информации
ИВЭП	— источник вторичного электропитания
ИМС(МС)	— интегральная микросхема (интегральная схема)
ИСЗ	— искусственный спутник Земли
КД	— конструкторская документация
КС	— конструкционная система
КСГ	— комплексная система гашения
ЛП	— линия передачи
ЛЭП	— линия электропитания
ММСО	— метод металлизации сквозных отверстий
МП	— микропроцессор
МПП	— многослойная печатная плата
НИР	— научно-исследовательская разработка
НК	— несущая конструкция
НТД	— нормативно-техническая документация

## Список основных сокращений

---

ОЗУ	— оперативное запоминающее устройство
ОКГ	— оптический квантовый генератор
ОКР	— опытно-конструкторская разработка
ОПП	— односторонняя печатная плата
ОТК	— отдел технического контроля
ПЗУ	— постоянное запоминающее устройство
ПИ	— программа испытаний
ПМК	— поверхностно-монтажные компоненты
ПСИ	— приемосдаточные испытания
ПП	— печатная плата
ПЭ	— потребитель электроэнергии
ПЭВМ	— персональная электронная вычислительная машина (компьютер)
РНО	— регулировочные и настроочные операции
РП	— рельефные платы
САГ	— система активного гашения
САПР	— система автоматизированного проектирования
СБ	— сборочный чертеж
СБИС	— сверхбольшая интегральная схема (микросхема)
СВЧ	— сверхвысокие частоты
СГ	— система гашения
СНИП	— санитарные нормы и правила
СО	— система охлаждения
СпИС	— специализированная интегральная схема (микросхема)
СПФ	— сухой пленочный фоторезист
СТ МЭК	— стандарт Международной электротехнической комиссии
ТД	— технологическая документация
ТЗ	— техническое задание
ТК	— технический контроль
ТКР	— температурный коэффициент расширения
ТП	— технологический процесс
ТТЛ	— транзисторно-транзисторная логика
ТУ	— технические условия
ТЭЗ	— типовой элемент замены
УГО	— условное графическое обозначение
ФЧХ	— фазочастотная характеристика
ФШ	— фотошаблон
ЧПУ	— числовое программное управление
ЭА	— электронная аппаратура
ЭВА	— электронно-вычислительная аппаратура
ЭВМ	— электронная вычислительная машина (компьютер)
ЭВС	— электронно-вычислительные средства
ЭЛТ	— электронно-лучевая трубка
ЭП	— эскизный проект
ЭРЭ	— электрорадиоэлемент

*Бывшим, настоящим и будущим студентам  
Московского государственного технического  
университета имени Н.Э. Баумана посвящается*

## ВВЕДЕНИЕ

**Конструкция** (лат. *constructio* — строение, устройство, построение, план, взаимное расположение частей), англ. — *construction*, нем. — *die Konstruktion*, фр. — *construction*.

**Технология** (греч. *techne* — искусство, мастерство + *logos* — понятие, учение), англ. — *technology*, нем. — *die Technologie*, фр. — *technologie*.

Под **конструкцией** ЭА понимается совокупность элементов и деталей с различными физическими свойствами и формами, находящихся в определенной пространственной, механической, тепловой, электромагнитной и энергетической взаимосвязи. Эта взаимосвязь определяется электрическими схемами и конструкторской документацией и обеспечивает выполнение электронной аппаратурой заданных функций с необходимой точностью и надежностью в условиях воздействия на нее различных факторов: эксплуатационных, производственных, человеческих.

**Технология** производства, или **технологический процесс** — основная часть производственного процесса, заключающаяся в выполнении определенных действий, направленных на изменение исходных свойств объекта производства (в нашем случае ЭА) и достижение им определенного состояния, соответствующего технической (конструкторской) документации.

Конструирование и технология производства являются, с одной стороны, отдельными частями сложного процесса разработки ЭА, а с другой, не могут выполняться в отдельности, без учета взаимосвязей между собой и с другими этапами разработки. Являясь этапами более общего процесса: «разработка — производство — эксплуатация», как конструирование, так и технология определяют в конечном итоге общие потребительские свойства ЭА.

Выполнение рабочих функций ЭА характеризуется набором параметров  $X_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), конкретные величины и способы количественной оценки которых зависят от этапа разработки. Так, в техническом задании указываются обычно номинальные значения параметров ЭА  $X_i^0$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Влияние конструкторской разработки, производственной среды, приемо-сдаточных и

периодических испытаний приводит к появлению вероятностных (случайных) значений параметров  $X_i^j$  ( $i = 1, \dots, n$ ), которые являются результатом статистического анализа данных испытаний. Влияние условий эксплуатации приводит к случайному изменению параметров во времени  $X_i^j(t)$  ( $i = 1, \dots, n$ ), конкретные значения которых могут отличаться от приведенных в техническом задании.

Строгий учет этих факторов требует от разработчика ЭА знаний по всем вопросам конструкторско-технологического проектирования:

- виды и порядок разработки технической документации;
- влияние внешних факторов на работоспособность ЭА;
- методы проектирования и изготовления микроэлектронных изделий;
- методы конструирования элементов, узлов и устройств ЭА;
- обеспечение электромагнитной совместимости, механической прочности, нормальных тепловых режимов и надежности;
- проектирование ЭА с учетом требований эргономики и технической эстетики;
- общие вопросы организации производства ЭА;
- стандартные и специальные технологические процессы в производстве ЭА;
- методы сборки и монтажа ЭА;
- методы регулировки, настройки и испытаний ЭА

и т. д.

Развитие информационных технологий и широкое их применение для проектирования различных изделий дает возможность разработчику ЭА использовать принципиально новые инструменты и подходы, что в конечном итоге отражается на сокращении сроков разработки, улучшении технических и снижении экономических показателей создаваемой ЭА.

Все эти проблемы представлены вниманию читателя в предлагаемой книге.

# **1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ**

## **1.1. Этапы разработки электронной аппаратуры**

Государственными стандартами РФ определен порядок разработки и постановки на производство продукции технического назначения, в том числе и ЭА. В частности, Государственным стандартом установлены следующие стадии разработки:

- техническое предложение;
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект.

Основой для разработки является *техническое задание* (ТЗ), содержание которого устанавливает ГОСТ. В ТЗ излагаются назначение и область применения разрабатываемой ЭА, технические, конструктивные, эксплуатационные и экономические требования к ЭА, условия по ее хранению и транспортированию, требования по надежности, правила проведения испытаний и приемки образцов в производстве.

На стадии *технических предложений* проводится анализ существующих технических решений, патентные исследования, проработка возможных вариантов создания ЭА, выбор оптимального решения, макетирование отдельных узлов ЭА, выработка требований для последующих этапов разработки, оценка стоимости опытного образца ЭА.

На стадии *эскизного проектирования* осуществляют конструкторскую и технологическую проработку выбранного варианта реализации ЭА; изготавливается действующий образец или серия ЭА; проводятся их испытания в объеме, достаточном для подтверждения заданных в ТЗ технических и эксплуатационных параметров; организуется разработка в полном объеме необходимой конструкторской документации, которой присваивается литера «Э»; прорабатываются основные вопросы техноло-

## **2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКЦИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **2.1. Внешние факторы, влияющие на работоспособность ЭА**

Условия эксплуатации ЭА и систем характеризуются комплексом параметров, называемых *внешними воздействующими факторами*, которые имеют различную физико-химическую природу и изменяются в весьма широких пределах. Эти факторы принято разделять на климатические, механические и радиационные.

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

К механическим факторам относят: воздействие вибраций, ударов, линейного ускорения, акустического удара.

К радиационным факторам относят: космическую радиацию; ядерную радиацию от реакторов, атомных двигателей, радиационно-опасных ситуаций; облучение потоком гамма-фотонов, нейтронов, бета-частиц, альфа-частиц, протонов, дейtronов.

Некоторые из перечисленных факторов могут проявлять себя независимо от остальных, а некоторые — в совместном действии с другими факторами. Например, наличие движущихся потоков песка неизбежно приводит к возникновению вибраций в элементах конструкции ЭА.

Поскольку электронно-вычислительная аппаратура принадлежит, как правило, к классу так называемых *человеко-машинных систем*, то важное

## **3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ, УЗЛОВ И УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **3.1. Модульный принцип конструирования, конструктивная иерархия элементов, узлов и устройств**

Снизить затраты на разработку, изготовление и освоение производства ЭА, обеспечить совместимость и преемственность аппаратурных решений при одновременном улучшении качества, увеличении надежности и срока службы позволяет использование *модульного принципа конструирования*.

Под *модульным принципом конструирования* понимается проектирование изделий ЭА на основе конструктивной и функциональной взаимозаменяемости составных частей конструкции — *модулей*.

*Модуль* — составная часть аппаратуры, выполняющая в конструкции подчиненные функции, имеющая законченное функциональное и конструктивное оформление и снабженная элементами коммутации и механического соединения с подобными модулями и с модулями низшего уровня в изделии.

Модульный принцип конструирования предполагает *разукрупнение (разбивку, расчленение)* электронной схемы ЭА на функционально законченные подсхемы (части), выполняющие определенные функции. Эти подсхемы чаще всего разбиваются на более простые и так до тех пор, пока электронная схема изделия не будет представлена в виде набора модулей разной сложности, а низшим модулем не окажется корпус *микросхемы* (МС). Модули одного уровня объединяются между собой в ЭА на какой-либо конструктивной основе (несущей конструкции).

Возможен и другой подход к проектированию, когда частям детально разработанной функциональной схемы изделия ставятся в соответствие схемы выбранной серии МС, а электрическая схема изделия как бы «покрывается» электрическими схемами МС. При этом отдельные части схемы из-

## **4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **4.1. Защита конструкции от механических воздействий**

На ЭА в процессе транспортирования и эксплуатации действуют внешние механические факторы (вибрации, удары, ускорения, акустические шумы), передающие ей механическую энергию. Количество переданной энергии определяет уровень и характер изменения конструкции. Допустимые уровни механического изменения конструкции определяются ее *прочностью* и *устойчивостью* к механическим воздействиям.

Под *прочностью* конструкции понимается способность аппаратуры выполнять функции и сохранять параметры после приложения механических воздействий. *Устойчивость* конструкции — способность ЭА сохранять функции и параметры в процессе механических воздействий.

*Откликом*, или *реакцией* конструкции на механические воздействия называют любые формы трансформации или преобразования энергии механического возбуждения. Разновидности откликов:

- механические напряжения в элементах конструкции;
- перемещения элементов конструкции и их соударения;
- деформации и разрушения конструктивных элементов;
- изменения свойств и параметров конструкции.

Механические воздействия могут приводить к непредусмотренным взаимным перемещениям деталей и узлов из-за возникающих инерционных сил, как следствие, деформациям крепежных, несущих и других элементов конструкций, их соударению. При незначительных механических воздействиях в элементах конструкций возникают упругие деформации, фактически не сказывающиеся на работоспособности аппаратуры. Увеличение нагрузки приводит к появлению остаточной деформации и при определенных условиях разрушению конструкции. Разрушение может наступить и при нагрузке

## **5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ**

### **5.1. Виды электрических соединений в ЭА**

Под электрическими соединениями понимают *линии передачи* (ЛП) и *электрические контакты*, служащие для передачи сигналов и электрической энергии между МС, ЭРЭ, модулями, образующими ЭА.

По выполняемым функциям различают *сигнальные* ЛП, объединяющие входы и выходы элементов и модулей и предназначенные для передачи сигналов, и *электропитания*, осуществляющие подвод электрической энергии к элементам. В том и другом случае ЛП имеют обратный провод, называемый *землей* (*линией нулевого потенциала, общим проводом*), по которому протекают возвратные токи сигнальных линий и линий электропитания.

В зависимости от конструктивных особенностей обратного провода ЛП подразделяют на:

- симметричные, состоящие из двух одинаковых изолированных проводов;
- несимметричные с одним общим проводом для многих ЛП;
- коаксиальные, представляющие собой два разных по конструкции цилиндрических проводника с совмещенными осями (обратный провод есть оплётка коаксиального кабеля).

Выделяют *неэкранированные* и *экранированные* ЛП. Экраны последних обеспечивают защиту линий от воздействия электрических, магнитных и электромагнитных полей.

Электрические соединения бывают внутри- и межмодульными, внутри- и межячеечными, внутри- и межблочными и т. п., что обуславливает их конструктивное исполнение.

Линии передачи должны обладать:

- минимальным активным и индуктивным сопротивлениями;
- однородным по длине линии волновым сопротивлением;
- минимальным полем вокруг линии при протекании по ней тока;

## **6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **6.1. Основные понятия**

Рассмотрим основную терминологию и понятия, относящиеся к разработке технологии изготовления и организации производства ЭА. В соответствии с Государственными стандартами ЭА, какой бы сложной она ни была, относится к *изделиям*, выпускаемым на производстве.

**Изделием** называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии, т. е. изделие — это продукт конечной стадии производства. Изделием может быть *деталь, сборочная единица, комплекс и комплект*. Применительно к ЭА под изделием понимается как сама ЭА, так и все составляющие ее элементы и детали.

**Деталь** — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например ось, клемма, рама и т. д.

**Сборочная единица** — изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии-изготовителе сборочными операциями (сваривание, сварка, пайка, склеивание), например ячейка, ТЭЗ, разъем, блок, узел и т. д.

**Комплекс** — два или более изделия, несоединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое изделие в комплексе имеет свое назначение, например вычислительный комплекс, радиолокационный комплекс и т. д.

**Комплект** — два или более изделия, несоединеные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера.

## **7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОСХЕМ**

### **7.1. Общие сведения о микросхемах и технологии их изготовления**

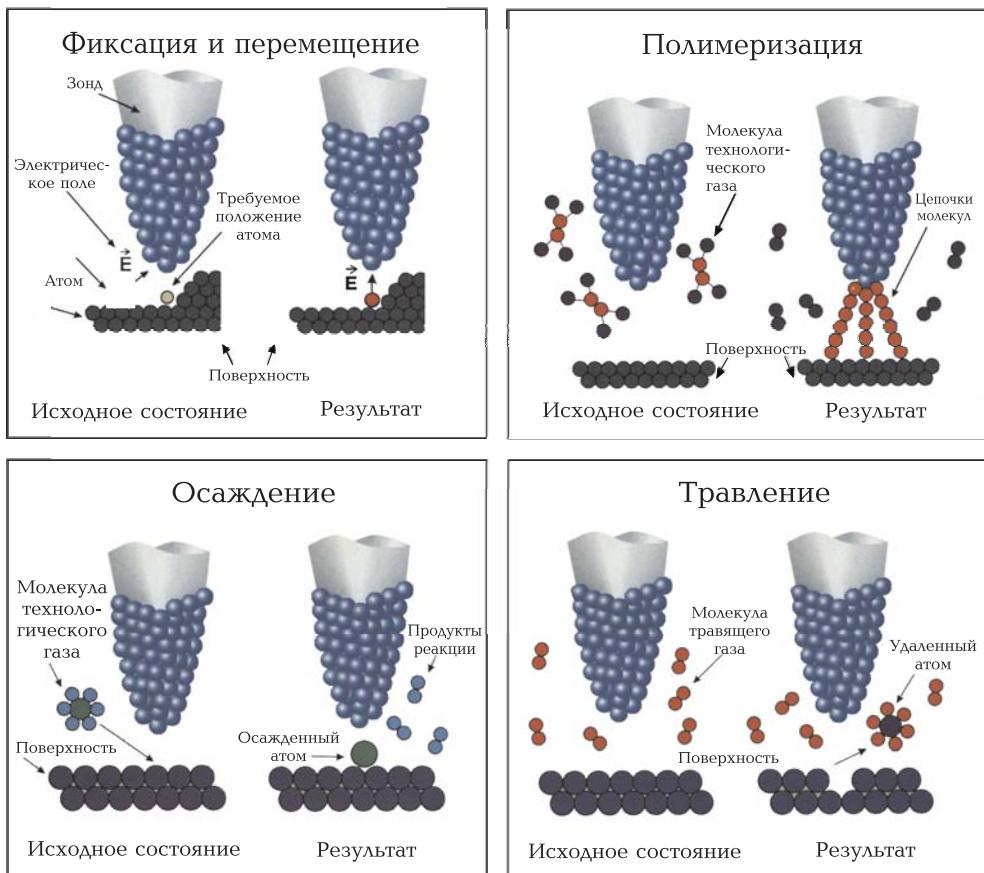
Тактико-технические, конструктивно-технологические, эксплуатационные и экономические характеристики ЭА определяют примененные в ней **микросхемы (МС)**, выполняющие функции преобразования, хранения, обработки, передачи и приема информации.

**Микросхемой (интегральной микросхемой — ИМС)** называют функционально законченный электронный узел (модуль), элементы и соединения в котором конструктивно неразделимы и изготовлены одновременно в едином ТП в общем кристалле-основании.

Теория, методы расчета и изготовления микросхем составляют основу микроэлектроники — современной наукоемкой отрасли техники.

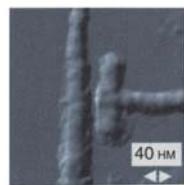
По конструктивно-технологическому исполнению МС делятся на полупроводниковые и гибридно-пленочные. *Полупроводниковые* МС имеют в своей основе монокристалл полупроводникового материала (обычно кремния), в поверхностном слое которого методами *литографии* и *избирательного легирования* создаются транзисторы, диоды, резисторы и (иногда) конденсаторы, а соединения между ними формируются по поверхности кристалла *тонкопленочной технологией*. Полупроводниковые МС бывают *однокристальные (монолитные)* и *многокристальные (микросборки)*. Однокристальная МС может иметь индивидуальный герметизированный корпус с внешними выводами для монтажа на коммутационной (печатной) плате, или быть *бескорпусной* и входить в состав микросборки.

Многокристальная микросборка представляет собой совокупность бескорпусных МС, смонтированных на общей *коммутационной плате*. В качестве компонентов в микросборке могут присутствовать бескорпусные согласующие резисторы и развязывающие конденсаторы. Вследствие высокой насыщенности связей коммутационная плата имеет многоуровневую разводку и таким обра-

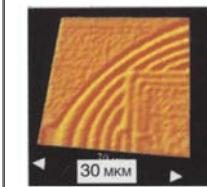


## ТЕХНОЛОГИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Электроника

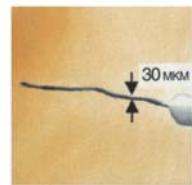


Нанотранзистор



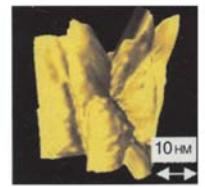
Поверхность тест-объекта

Микроробототехника



Элемент микроробота

Биология



Легкий липопротеин

Изготовление наноэлектронных схем

Контроль технологических операций

Технология трехмерного осаждения

Неразрушающие исследования биообъектов

**Рис.1.** Нанотехнологические процессы [Центр нанотехнологий международного фонда конверсий]

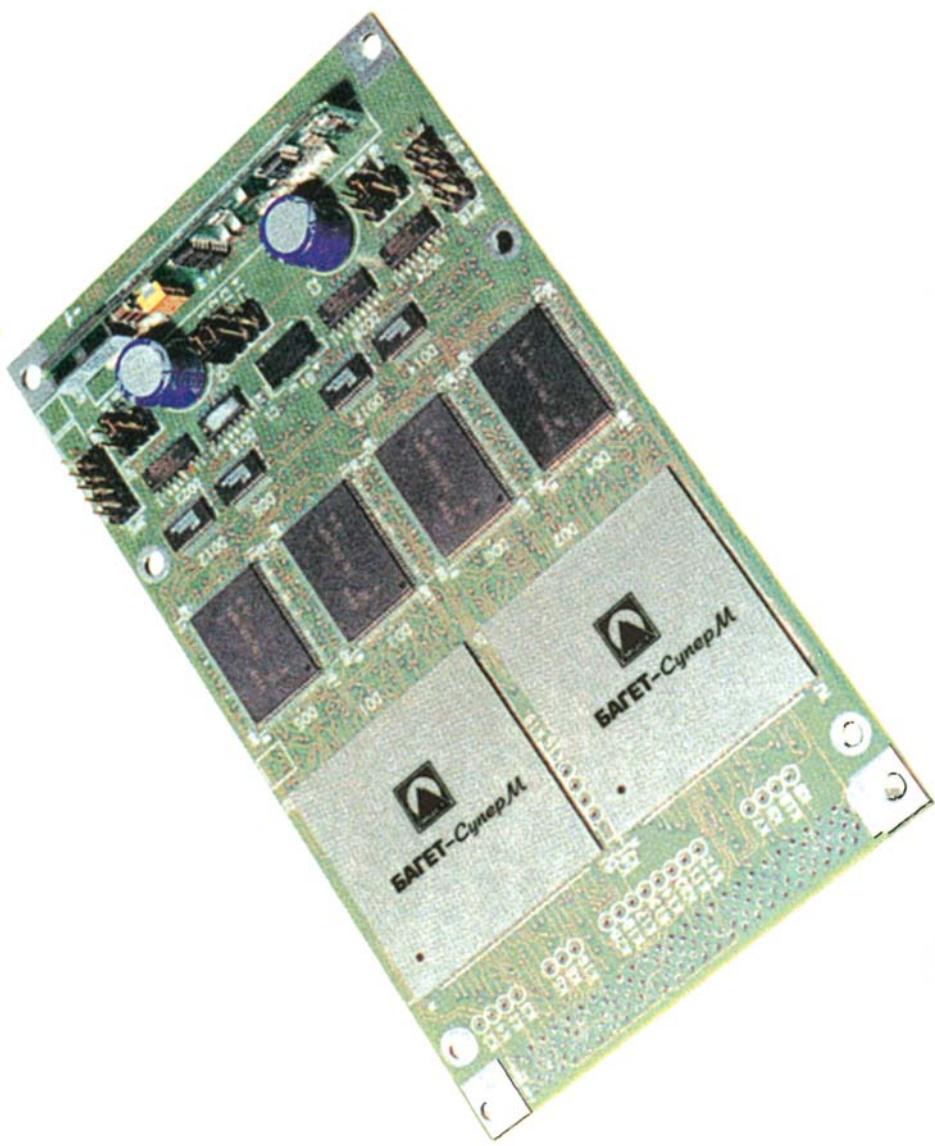


Рис. 2. Микропроцессорный модуль вычислительного комплекса «Эльбрус-90 микро»

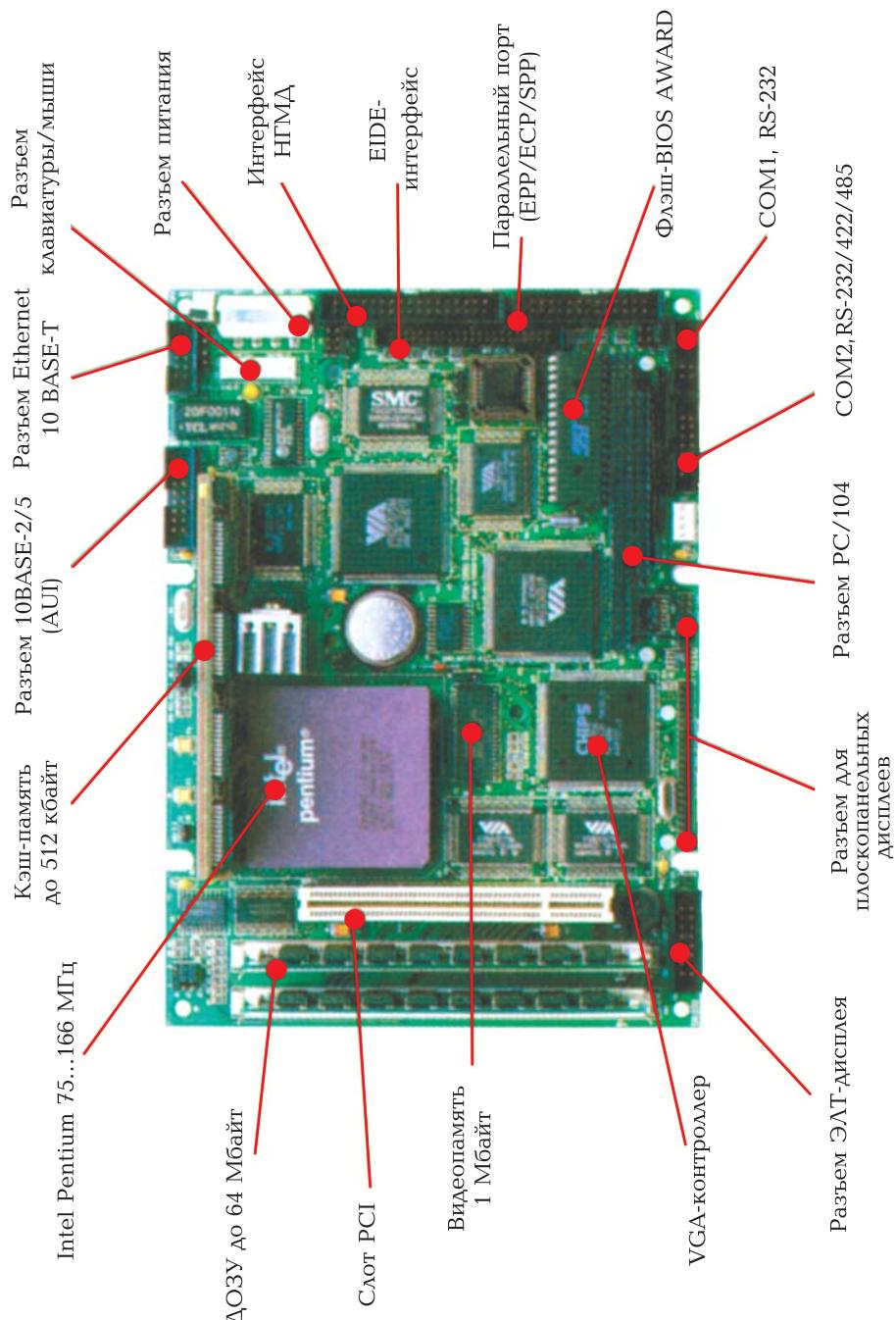
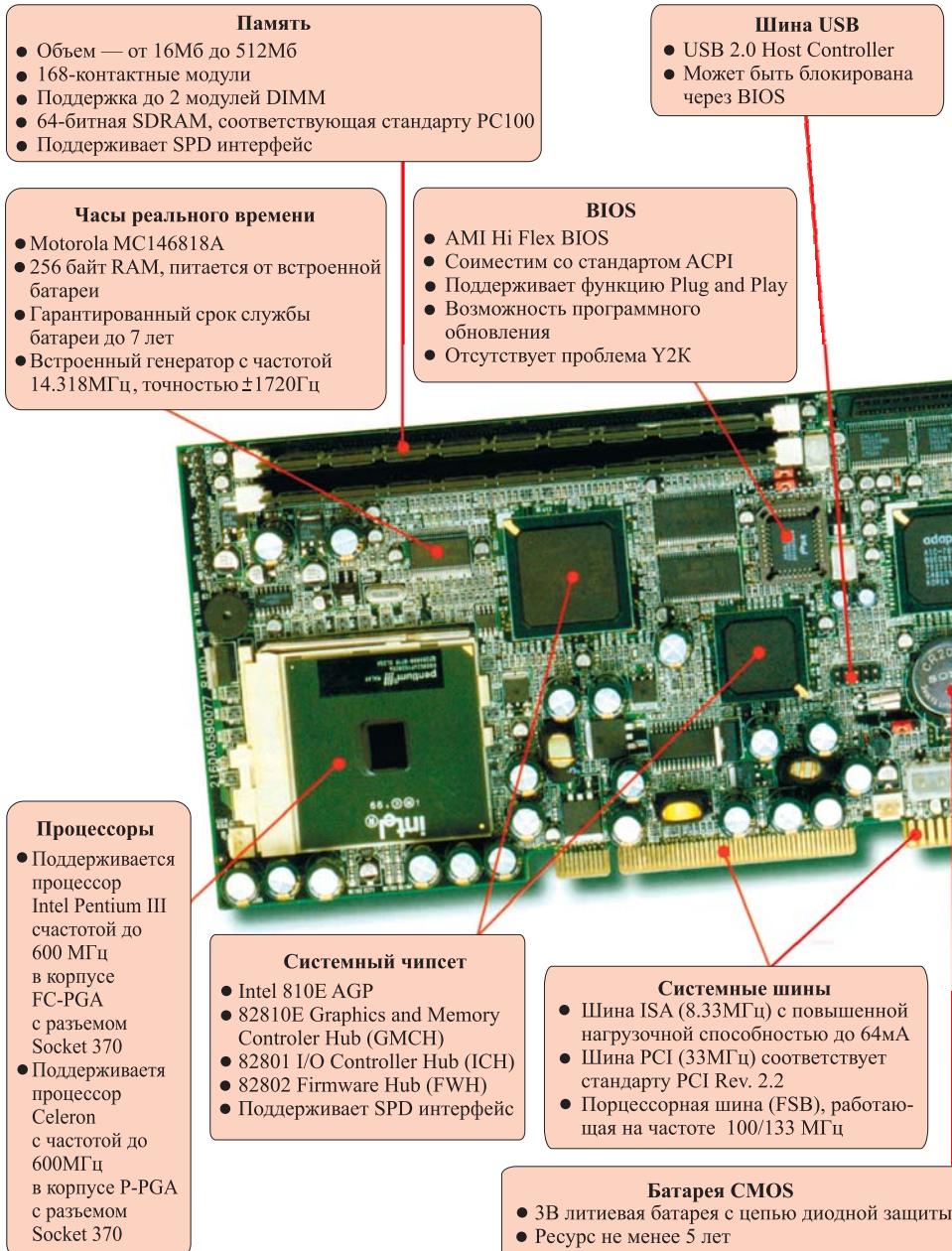


Рис. 3. Конструкция одноплатного компьютера PCM-5860 [CTA 1997. №1]



**Рис. 4.** Высокоинтегрированная процессорная плата Pentium III с архитектурой Socket 370 (Intel 810E Chip Set, AGP VGA контроллер Ethernet, Ultra-160 SCSI контроллер)

**Контроллер SCSI**

- Контроллер adaptec AIC-7892 Ultra-III SCSI
- Скорость передачи до 160 Мб/с
- 68-контактный LVD разъем

**Контроллер FDD**

- Поддерживает дисководы 1.44 Мб, 1.2 Мб, а также LS-120 HD
- Может быть блокирован через BIOS

**Контроллер EIDE**

- Поддерживает до 4 HDD
- Поддерживает PIO mode 4 со скоростью передачи до 14 Мб/с
- Поддерживает Ultra DMA/66 (66 Мб/с)
- Поддерживает Ultra DMA/33 (33 Мб/с)
- Поддерживает загрузку CD-ROM (ATAPI)

**Параллельный порт**

- Параллельный двунаправленный порт
- Поддерживает расширенные режимы EPP и ECP
- 26-контактный разъем под плоский кабель
- Может быть блокирован через BIOS

**Два последовательных порта**

- Контроллер совместим с UART 16550
- Буферы FIFO по 16 байт на прием и передачу
- Скорость передачи до 115.2 кбод

**Контроллер Ethernet 10/100**

- Контроллер Intel 82559 PCI Fast Ethernet
- Разъем RJ-45, расположенный на монтажной скобе
- Режимы полного и полудуплексного обмена со скоростью 10 Мбит/с и 100М бит/с в соответствии с IEEE 802.3
- Может быть блокирован, при этом освобождаются соответствующие системные ресурсы

**Графический контроллер**

- 4Мб высокоскоростной 32-битной RAM
- Стандартный разъем DB15
- Разрешение — 1600x1200 точек при 256 цветах
- Может быть блокирован переключателем

**Разъем для DiskOnChip**

- Может быть блокирован переключателем
- Поддерживает Flash disk объемом до 144 Мб

**Интегрированный аппаратный мониторинг**

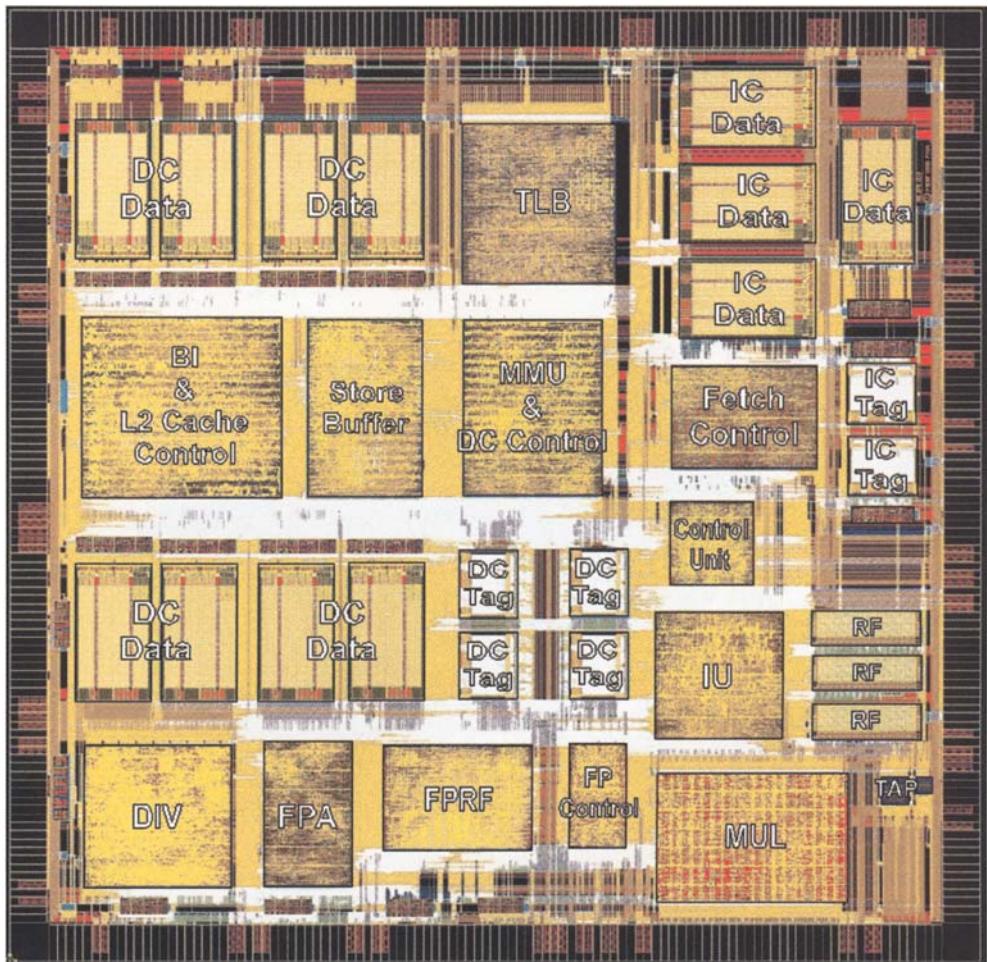
- Контроль вторичных напряжений питания с точностью до 16 мВ с программной установкой пороговых значений
- Контроль скорости вращения двух вентиляторов, контроль температуры в двух точках
- Возможность подключения микросхемных температурных датчиков
- Звуковая сигнализация отказов

**Мышь PS/2**

- Разъем типа mini-DIN (6-контактный)
- Microsoft совместима
- Питание мыши осуществляется через самовосстанавливающийся предохранитель
- Может быть блокирована через BIOS

**Контроллер клавиатуры PS/2**

- Разъем типа mini-DIN (6-контактный)
- Питание клавиатуры осуществляется через самовосстанавливающийся предохранитель



**Рис. 5.** Топология кристалла микропроцессора «Багет — Супер М»:  
тактовая частота — 150 МГц; количество транзисторов — 2,8 млн; площадь кристалла —  
10×10 мм<sup>2</sup>; рассеиваемая мощность — 3,5 Вт

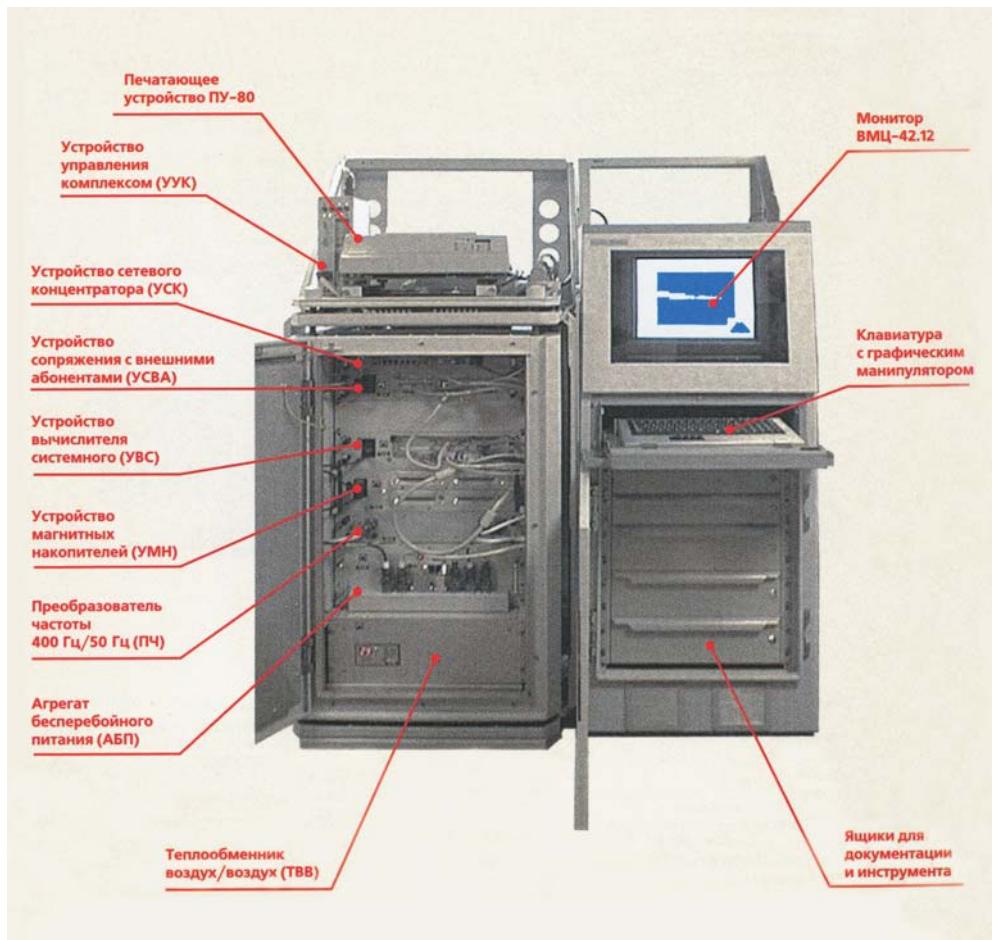
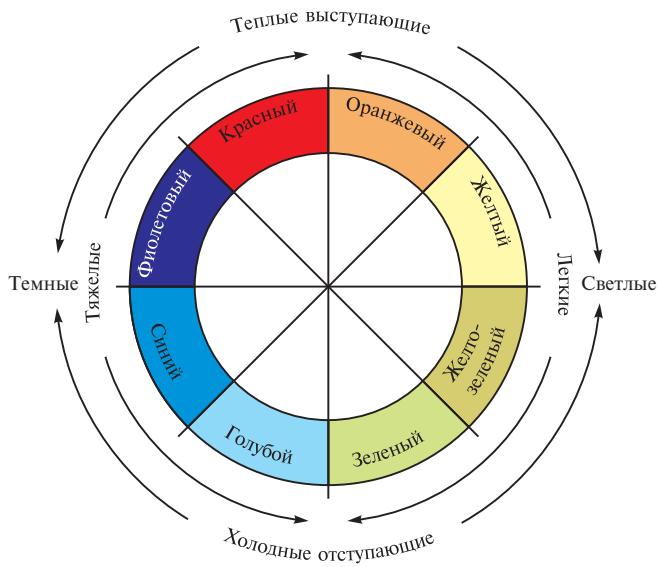
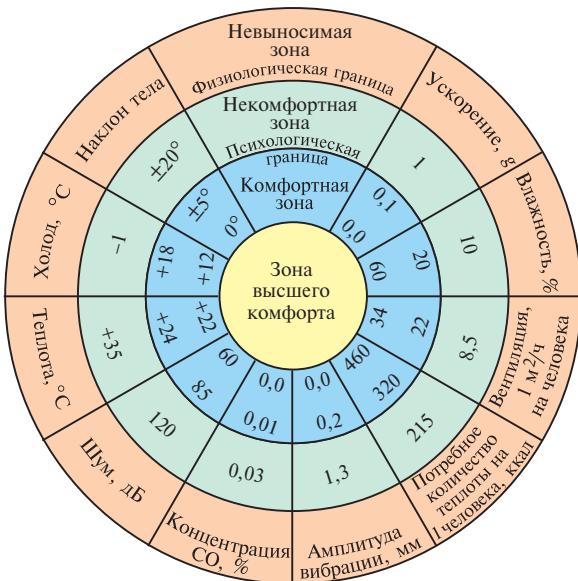


Рис. 6. Вычислительный комплекс «Эльбрус-90 микро»



**Рис. 7.** Цвет и его восприятие человеком



**Рис. 8.** Номограмма определения комфортных условий работы

## **8. ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ**

### **8.1. Общие сведения о печатных платах**

*Печатная плата* (ПП) — изделие, состоящее из плоского изоляционного основания с отверстиями, пазами, вырезами и системой токопроводящих полосок металла (проводников), которое используют для установки и коммутации ИМС и ЭРЭ и функциональных узлов в соответствии с электрической принципиальной схемой. Практически нет такой аппаратуры, где бы не использовались ПП какого-либо типа.

*Печатный монтаж* — способ монтажа, при котором электрическое соединение элементов электронного узла, включая экраны, выполнено с помощью печатных проводников. *Печатный проводник* — проводящая полоска в проводящем рисунке.

В ЭА ПП применяют практически на всех уровнях конструктивной иерархии: на нулевом — в качестве основания гибридных схем и микросборок, на первом и последующих — в качестве основания, механически и электрически объединяющего все элементы, входящие в схему электрическую принципиальную ЭА и ее узлов. На рис. 8.1 в качестве примера приведен общий вид ПП одного из узлов ЭА.

Государственным стандартом предусмотрены следующие типы ПП (рис. 8.2):

*односторонняя печатная плата* (ОПП) — ПП, на одной стороне которой выполнен проводящий рисунок (рис. 8.2, а);

*двусторонняя печатная плата* (ДПП) — ПП, на обеих сторонах которой выполнены проводящие рисунки и все требуемые соединения (рис. 8.2, б);

*многослойная печатная плата* (МПП) — ПП, состоящая из чередующихся слоев изоляционного материала с проводящими рисунками на двух или более слоях, между которыми выполнены требуемые соединения (рис. 8.2, в);

*гибкая печатная плата* (ГПП) — ПП, имеющая гибкое основание;

## **9. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **9.1. Обработка резанием деталей ЭА**

В конструкции современной ЭА используется большое количество разнообразных металлических и неметаллических деталей, выполняющих различные функции: детали, образующие несущую конструкцию ЭА и обеспечивающие устойчивость ее к механическим нагрузкам и климатическим воздействиям; элементы управления, без которых невозможна эксплуатация ЭА; корпусные детали, обеспечивающие эргономические и эстетические характеристики ЭА; детали электромеханических узлов — накопителей на магнитных дисках, датчиков, печатающих устройств, преобразователей, графопостроителей, сканеров и др. На рис. 9.1 приведен внешний вид вычислительно-управляющей системы с входящими в нее устройствами, встроенной в базовый несущий каркас. Из рисунка видно, что данная система состоит из металлических и неметаллических деталей, технологические методы изготовления которых различны и требуют разнообразного технологического оборудования, соответствующей оснастки и приспособлений. К таким методам относятся в первую очередь обработка материалов резанием (механообработка), литье, обработка давлением, электрохимические и электрофизические методы, обработка пластмасс.

Если трудоемкость изготовления ЭА принять за 100 %, то операции механической обработки могут составлять до 15 %, операции литья деталей — до 3 %, операции обработки давлением — до 18 %, операции переработки пластмасс — до 12 %, электрофизические и электрохимические операции — до 5 %, остальное — сборка и монтаж. Рассмотрим в общем виде эти методы обработки материалов и формообразования применительно к технологии производства ЭА.

Обработка металлических и неметаллических деталей для ЭА проводится на различных металлорежущих станках, подразделяемых по степени

## **10. СБОРКА И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **10.1. Сборочно-монтажные операции**

Трудоемкость сборочно-монтажных работ составляет 40...75 % общей трудоемкости изготовления ЭА. Сборочно-монтажные работы усложняются широкой номенклатурой выпускаемой продукции, преобладанием малых по размеру и массе деталей и сборочных единиц, значительным объемом в общей трудоемкости сборки проверочных и регулировочных работ, многообразием технических процессов сборки и электрического монтажа.

Большинство сборочных операций выполняются вручную с использованием простой оснастки. Для повышения производительности, снижения трудоемкости и повышения качества ЭА передовые предприятия применяют средства механизации и автоматизации сборочно-монтажного процесса, гибкие производственные системы.

Основными сборочно-монтажными операциями при производстве ЭА являются: свинчивание (завинчивание), соединение методом пластического деформирования, сварка, пайка, склеивание, намотка, накрутка.

**Соединение свинчиванием** обеспечивает высокие прочностные характеристики аппаратуры и возможность быстрой разборки. В единичном и мелкосерийном производстве сборку резьбовых соединений проводят в основном вручную при помощи ключей, отверток и других инструментов. В серийном производстве для сборки резьбовых соединений применяют механизированный инструмент (электроотвертки, гайковерты, шпильковерты и т. д.), при этом винты, гайки и шпильки подаются, как правило, вручную. В настоящее время применяют механизированные инструменты с автоматической подачей крепежа. При крупносерийном и массовом производстве резьбовые соединения следует выполнять на специальных автоматах и автоматизированных робототехнологических комплексах.

**Соединение методом пластического деформирования** имеет несколько разновидностей: склепывание (клепка, расклепка), запрессовка, развал-

# **11. РЕГУЛИРОВКА, НАСТРОЙКА, КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

## **11.1. Технологические операции регулировки и настройки**

*Регулировка и настройка* — необходимые операции в общем технологическом цикле производства ЭА. Они должны обеспечить заданные параметры ЭА при наименьших затратах и устраниТЬ все неисправности, допущенные при сборке. Под регулировочными и настроочными операциями (РНО) понимают комплекс работ по доведению параметров ЭА до величин, соответствующих требованиям технических условий (ТУ) и нормативов. Целью РНО является получение такого разброса параметров, который гарантирует эффективное функционирование аппаратуры в условиях эксплуатации.

Проведение РНО необходимо, чтобы устранить погрешности изготовления деталей, элементов и сборки узлов, причем как вынужденных, так и предопределенных заранее. Причиной появления предопределенных погрешностей является искусственное завышение допусков на отдельные параметры в целях уменьшения себестоимости изделий или невозможности реализации требуемой точности.

Работы, выполняемые на РНО, включают настройку различных резонансных систем, сопряжение электрических, кинематических параметров отдельных узлов и всей аппаратуры в целом, установку определенных режимов отдельных блоков, узлов, подгонку некоторых элементов и т. д. Характер и объем РНО определяется видом и объемом производства, оснащенностью ТП.

Как этап производства РНО составляют в общем ТП ряд операций, не изменяющих схему и конструкцию изделия, а лишь компенсирующих неточность изготовления и сборки элементов ЭА собственного производства, а также комплектующих элементов. За счет такой компенсации достигается согласование входных и выходных параметров узлов и всех параметров изделия до оптимального значения, удовлетворяющего требованиям ТУ.

## 12. ЭРГОДИЗАЙН ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Широкое внедрение ЭА во все сферы деятельности и компьютеризация общества требуют от разработчиков ЭА учета при проектировании *человеческого фактора* — особенностей органов чувств, опорно-двигательного аппарата и нервной системы человека. Изучением влияния особенностей человека на конструктивные параметры различных изделий, в том числе на ЭА, занимается *эргономика*.

Возникновение эргономики и ее развитие тесно связаны с дизайном. Именно дизайн с его гуманитарной направленностью явился главным потребителем и заказчиком знаний о функциональных возможностях человека с тем, чтобы в проектируемых объектах были обеспечены эффективность и безопасность труда, сохранение здоровья и высокая работоспособность.

Рассматривая вопросы создания наилучших функциональных условий деятельности человека, необходимо объединять требования, определяемые эргономикой и дизайном, в единое понятие — *эргодизайн*. В основе эргодизайна как научного направления лежит известный *закон соответствия*, а его методы базируются на *методологии функционального комфорта* [18, 31].

Современная трактовка основных понятий и определений в области эргономики и дизайна приведена в табл. 12.1 [25, 31].

Таблица 12.1. Основные термины и определения эргодизайна

Понятие	Определение
Эргономика	(Греч. <i>ergon</i> — работа и <i>nomos</i> — закон) — наука, изучающая особенности деятельности человека (или группы людей) в условиях производства и жизнедеятельности с целью оптимизации орудий, условий и процесса труда
Дизайн	Проектная художественно-техническая деятельность по формированию гармоничной предметной среды во всех сферах жизнедеятельности человека. Цель проектирования в дизайне — оптимизация функциональных процессов жизнедеятельности человека, повышение эстетического уровня изделий. Основными категориями дизайнерского проектирования являются: образ, функция, форма, эстетическая ценность

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методология конструкторско-технологического проектирования ЭА продолжает совершенствоваться, и пути ее развития связаны, во-первых, с внедрением ЭА во все сферы человеческой деятельности, во-вторых, с ростом степени интеграции применяемой элементной базы, прежде всего микрорадиотехнической и, в-третьих, исчезновением четких границ между системотехническим, схемотехническим, конструкторским и технологическим проектированием ЭА. Эти три тенденции не новы — они характерны для развития такого научноемкого раздела науки и техники последние двадцать тридцать лет (по существу, с момента появления микропроцессоров). По мнению авторов, эти тенденции будут иметь место и всемерно совершенствоваться в последующем развитии электронного аппаратуростроения по крайней мере до тех пор, пока хранимая, перерабатываемая и передаваемая информация будет представляться в виде электрических сигналов.

Встраивание ЭА в существующие типы конструкций машин, приборов и оборудования (управляемых объектов) ставит перед конструкторами и технологами задачу конструктивной совместимости, которая может быть решена двумя путями. Первый путь предполагает адаптацию конструкции ЭА под управляемые ею объекты. Второй путь заключается в адаптации конструкции управляемых объектов под унифицированную и стандартизованную конструкцию ЭА. Как показывает практика разработки ЭА, используют оба пути решения, хотя второй и кажется менее реальным. В пользу второго варианта решения проблемы говорит тот факт, что огромное число конструкторско-технологических решений ЭА снижает эффективность их применения: замедляет темпы разработки, производства и внедрения, снижает серийноспособность и качество, повышает стоимость и т. д.

Внедрение ЭА в различные отрасли хозяйства создает предпосылки для межвидовой унификации машин, приборов, оборудования, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

- вариантность по физическим и электрическим параметрам;
- гармоничное сочетание различных конструктивных единиц без дополнительных расходов настыковку;
- вариантность и адаптируемость к различным условиям эксплуатации;

- соответствие международным стандартам;
- технологическая независимость.

Степень интеграции применяемой в ЭА элементной, микроэлектронной базы будет сохранять в последующие годы устойчивую тенденцию к увеличению. В ближайшие годы, как показывают данные табл. 3.1, следует ожидать появления в ЭВМ микропроцессоров с тактовой частотой 2...3 ГГц, числом транзисторов в кристалле 0,2...1,5 млн. Микросхемы памяти достигнут емкости 16...256 Гбит при той же тактовой частоте. Первые успехи достигнуты в новом направлении развития микроэлектроники — наноэлектронике (см. рис. 1 цветной вклейки).

**Таблица 3.1. Прогноз развития микроэлектронных технологий**

Характеристика микроэлектронной технологии	Годы					
	1999	2001	2003	2006	2009	2012
Минимальный топологический размер, нм	180	150	130	100	70	50
Емкость ДЗУПВ, бит	1Г	1...2Г	2Г	14Г	16Г	64Г
МП, транз./кристалл	21М	40М	60М	100М	300М	700М
Тактовая частота, МГц	1200	1500	3600	5000	7500	9000
Количество слоев металлизации	6...7	7	7	7...8	8...9	9
Минимальное количество масок	22/24	23	24	24/26	26/28	28
Размер кристалла ДЗУПВ, $\text{мм}^2$	400	450	560	790	1120	1560
Размер кристалла МП, $\text{мм}^2$	340	380	430	520	620	750
Размер кристалла СпИС, $\text{мм}^2$	800	850	900	1000	1100	1300
Максимальный диаметр пластин, мм	300	300	300	300	400	400

*Примечание.* МП — микропроцессор; СпИС — специализированные интегральные схемы.

Рост степени интеграции микросхем и, следовательно, рост их функциональной сложности неизбежно приводит к увеличению удельной мощности тепловыделения, электромагнитному взаимовлиянию, плотности компоновки ЭА в целом. Это ставит перед конструкторами и технологами качественно новые задачи по обеспечению надежной работы ЭА и строящихся на них систем. Так, например, проблему отвода тепла от БИС микропроцессора уже не решить установкой индивидуального вентилятора. Необходимы другие, более эффективные решения, например, применение миникриогенных устройств. С повышением степени интеграции микросхем возрастает сложность «проблемы выводов», решение которой невозможно без совместной работы конструкторов и технологов. Можно привести еще большее количество проблем, решение которых потребует в ближайшие годы усилий разработчиков ЭА, в том числе конструкторов и технологов.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

В приложении в качестве примера приведена графическая часть курсового проекта на тему «Индикатор обрывов», представлена дополнительная графическая и текстовая информация<sup>\*</sup>.

На рис. П1 представлена схема электрическая принципиальная. Прибор включает в свой состав устройства *A1* и *A2*, предохранитель *FU*, батарею *GB*, прибор звуковой сигнализации *HA*, переключатель *SA*, вилку *XP* на два вывода для подачи сетевого напряжения во вторичный источник электропитания, реализованный устройством *A2*, и розетку *XS* на два вывода для подачи входного сигнала на устройство *A1*.

В приборе используется бесперебойная подача питающего напряжения на устройство *A1*. При отключении сетевого напряжения прибор питается напряжением +9В от батареи типа «Корунд».

Элементы прибора, выходящие за контуры устройств *A1* и *A2*, размещаются и фиксируются на корпусе прибора.

Сборочный чертеж прибора приведен на рис. П2 и представляет собой бескаркасную конструкцию. Корпус состоит из основания 5 и крышки 4. Во избежание соскальзывания прибора со стола к опорам основания приклеиваются фетровые прокладки 20.

Устройства *A1* и *A2* реализованы на печатных платах ПП1 и ПП2. Платы фиксируются на основании винтовым соединением 15. Правильность установки плат на основание корпуса прибора обеспечивается ключом платы (скошенный под углом 45° один из углов платы).

Батарея *GB* (поз. 6) устанавливается с внешней стороны прибора в гнездо, специально предназначенное для этой цели. Для замены батареи крышка 11 снимается и батарея *GB* удаляется из гнезда совместно с микроплатой 3. Потерявшая свой ресурс батарея извлекается с микроплаты, новая пригодная к эксплуатации батарея устанавливается на микроплату и фиксируется, а за-

\* Числовые значения и порядок позиций сборочных чертежей присвоены в соответствии с требованиями ЕСКД.

тем совместно с микроплатой устанавливается в гнездо для батареи и закрывается крышкой.

Элементы *SA*, *HA*, *XS* устанавливаются на лицевую и заднюю панели основания прибора непосредственно. Предохранитель *FU* на 0,1 А помещается в электроустановочное изделие *10* и фиксируется его крышкой. Вилка *XP* расположена на сетевом шнуре прибора длиною 1500 мм.

В основании корпуса отсутствуют вентиляционные отверстия. Из-за малых тепловыделений отвод тепла осуществляется внутри прибора кондукцией и конвекцией и излучением с внешней поверхности прибора.

На чертеже показаны габаритные размеры прибора. Присоединительные и установочные размеры на чертеже отсутствуют, так как прибор функционирует на столе.

На рис. П3 и П6 представлены электрические принципиальные схемы источника электропитания (узел *A1*) и операционного устройства (узел *A2*).

Элементы на схемах изображаются условными графическими обозначениями (УГО). При размещении элементов на схемах применяют совмещенный и разнесенный методы компоновки схем. В первом случае УГО элементов изображают рядом, во втором случае УГО располагают без учета их размещения в конструкции, а лишь с учетом наглядного изображения передачи и обработки потоков информации. Можно рекомендовать размещение УГО в соответствии с функциональным назначением в горизонтальные и вертикальные ряды.

Порядковые номера элементам присваивают в пределах группы с одинаковым буквенным позиционным обозначением, начиная с единицы в соответствии с последовательностью их расположения на схеме сверху вниз или в направлении слева направо. Последовательность присвоения может быть нарушена при внесении в схему изменений. Примеры позиционных обозначений элементов: конденсаторы — *C1*, *C2*, ...; резисторы — *R1*, *R2*, ...; транзисторы — *VT1*, *VT2*, .... Позиционные обозначения указывают рядом с УГО с правой стороны или над ним.

На схеме изображают электрические соединители, клеммы и другие элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи, указывают характеристики входных и выходных цепей изделия, параметры, подлежащие измерению на контрольных контактах, гнездах.

Линии связи изображают в виде горизонтальных и вертикальных отрезков, имеющих минимальное число изломов и взаимных пересечений. Для упрощения рисунка схемы допускается применять и наклонные линии, ограничивая по возможности их длину. Просвет между двумя соседними параллельными линиями связи должен быть не менее 3 мм, между соседними линиями графического обозначения — не менее 1 мм, между отдельными УГО — не менее 2 мм.

Для уменьшения количества линий, изображаемых на схеме, рекомендуется применять условное графическое слияние отдельных линий в групповые. При использовании групповых линий должны выполняться следующие требования. Каждую линию в месте слияния отмечают условным порядковым номером. Каждый условный номер должен встречаться на линии групповой связи два раза.

На рис. П4 и П7 представлены сборочные чертежи узлов *A1* и *A2* (схемы расположения), реализующие электрические принципиальные схемы источника электропитания и операционного устройства. На чертеже изображают составные части изделия, при необходимости жгуты, провода, кабели и конструкцию, на которой это все расположено.

Составные части изделия дают упрощенными внешними очертаниями; провода, жгуты и кабели — отдельными линиями или упрощенными внешними очертаниями.

Государством, предприятиями и организациями страны разработаны стандарты разных уровней по установке элементов на платы (например, ОСТ 4ГО.010.030). Ссылка на эти стандарты производится в технических требованиях на чертеж. Если в приводимом ссылочном документе элемент схемы отсутствует (допустим, он недавно разработан), то на него дается вид или сечение с необходимыми размерами, которые и приводятся на сборочном чертеже.

На рис. П5 и П8 представлены чертежи печатных плат, конструктивно реализующих электрические принципиальные схемы, приведенные на рис. П3 и П6.

Рабочий чертеж печатной платы удобно выполнять на предварительно нарисованной на поле листа чертежа координатной сетки. Использование координатной сетки позволяет не наносить размеры конструктивных элементов платы, расположенных в узлах и на линиях координатной сетки, и упростить разводку печатного монтажа, проводя трассы по линиям координатной сетки.

Координатная сетка наносится на чертеже печатной платы (ПП) на всем поле листа, на котором расположена печатная плата, либо рисками по периметру ПП.

Шаг координатной сетки вычисляется из  $2,5/2n$ , где  $n = 0, 1, 2, \dots$ . За точку отсчета координатной сетки принимается на главном виде ПП либо центр крайнего левого нижнего отверстия, либо левый угол ПП.

Для круглых печатных плат за точку отсчета в прямоугольной системе координат принимается центр ПП.

Для ограничения зоны, которую не допускается занимать проводниками, наносят штрихпунктирную утолщенную линию. Чертеж ПП с повторяющимися элементами допускается изображать не полностью с указанием закономерностей расположения таких элементов.

Центры всех отверстий ПП, включая крепежные, должны располагаться в узлах координатной сетки. Центры отверстий, предназначенные под выводы многовыводных компонентов (микросхемы, соединители, реле и т. п.), располагают в соответствии с техническими условиями на эти компоненты. Центр отверстия, принятый за основной, должен располагаться в узле координатной сетки, а остальные по возможности — на линиях координатной сетки.

Шероховатость поверхностей монтажных не металлизированных отверстий и торцов ПП должна быть  $Rz \leq 80$ , а для металлизированных отверстий  $Rz \leq 40$ .

Электромонтажный чертеж представляет собой сборочный чертеж, на котором изображены изделия электроники, жгуты, провода, кабели, а также приведены данные, необходимые для электромонтажа. Все конструктивные элементы на чертеже изображаются условно в виде контурных очертаний без графических подробностей при условии сохранения приближенного сходства.

Если на сборочном чертеже конструктивные элементы закрывают друг друга, то на электромонтажном чертеже допускается не отражать действительного расположения и смещать изображение. Допускается слияние линий, изображающих провода, жгуты и кабели, идущие в одном направлении в одну линию. Допускается электромонтажный чертеж совмещать со сборочным. На электромонтажном чертеже могут приводиться таблицы проводов.

По электрическим принципиальным схемам составляются таблицы соединений проводов между выходными контактами сборочных единиц конструкции с указанием марки провода, его длины, сечения, расцветки.

Таблица проводов для модулей всех уровней имеет одинаковую структуру и содержит графы: номер провода, устройство, элемент, контакт и длина провода.

В графе «Номер провода» фактически осуществляется сквозная нумерация проводов.

Графа «Устройство» заполняется в случае, если разрабатываются таблицы проводов для блоков, рам, стоек и стоек между собой. Устройствами при этом в блоке будут являться типовые элементы замены, в раме блоки, в стойке рамы и при межстоечной коммутации сами стойки. В графе «Элемент» в зависимости от конструктивной модульности указываются либо печатные платы в сборе, либо внешние соединители ТЭЗ, блоков, рам, стоек.

В графе «Контакт» указываются номера контактов соединителей, внешних выводов трансформаторов, ЭРЭ и пр., к которым подводятся провода, в графе «Длина проводов» — длина проводов между контактами в миллиметрах.

Три графы таблицы «Устройство», «Элемент», «Контакт» объединяются в две общие графы «Откуда идет» и «Куда идет», в которых фактически записываются адреса присоединения проводов.

Если при электромонтаже используется одна и та же марка провода одинакового сечения и расцветки, то необходимые данные о проводах указываются в технических требованиях на чертеж. В противном случае в таблицу вводятся три новые графы: «Марка провода», «Сечение», «Расцветка».

Электромонтажный чертеж «Индикатора обрывов» приведен на рис. П9. На чертеже приняты следующие обозначения: ПП1, ПП2 — сборочные узлы, выполненные на печатных платах, конструктивные элементы присоединения, управления и индикации, установленные на передней и задней панелях. По причине невысокой сложности чертежа таблица проводов на чертеже не разработана. На платах и элементах показаны коммутационные контакты, к которым подводятся провода. Номера проводов указаны над проводом у контактов. Марка провода указана в пункте 2 технических требований на чертеж.

На рис. П10 представлен рабочий чертеж основания корпуса прибора (см. рис. П2), на рис. П11 и П12 — топологический и сборочный чертежи полупроводниковой микросхемы.

На рис. П13 приведен пример маршрутно-операционной карты на примере установки ЭРЭ на плату и операции сушки приклеенных ЭРЭ

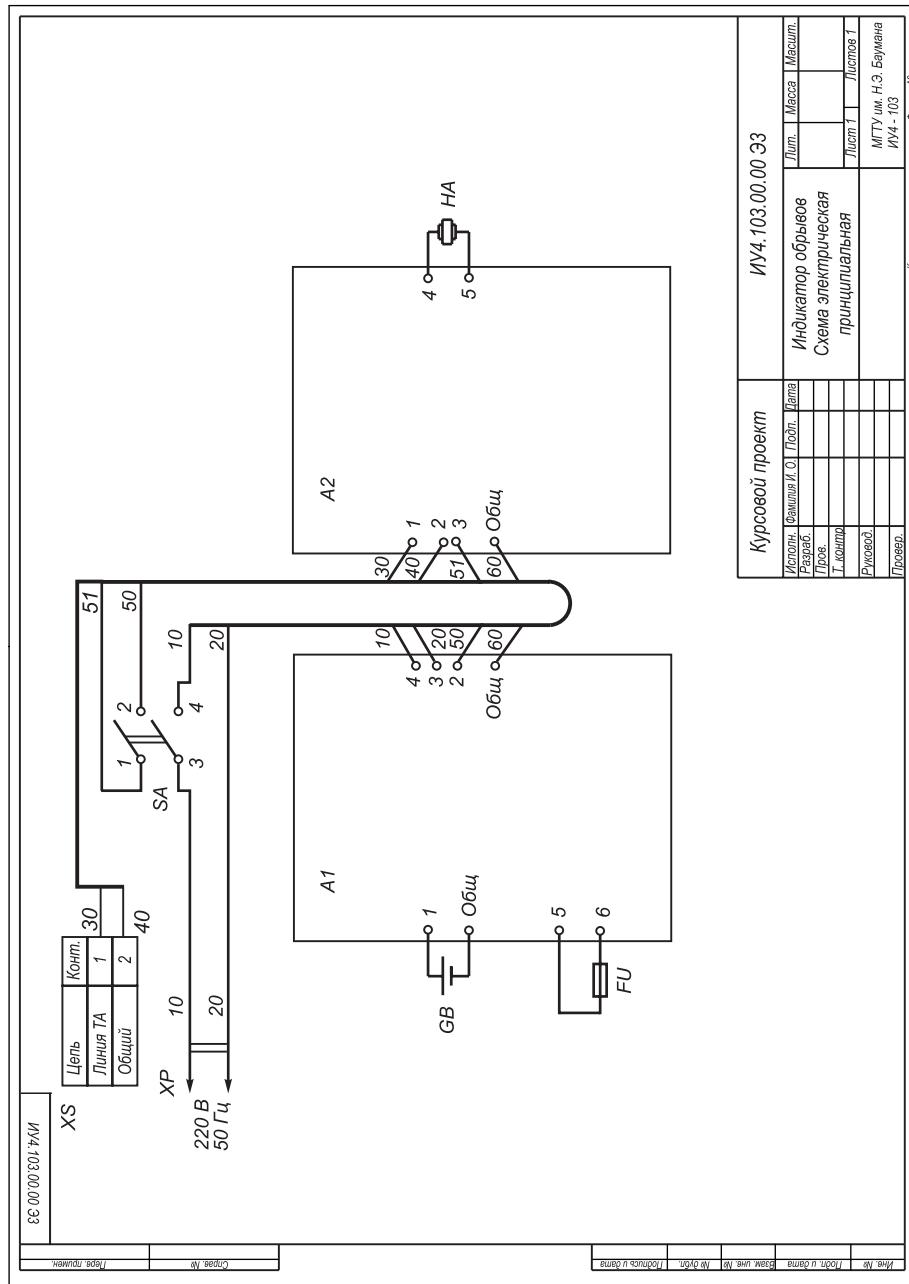
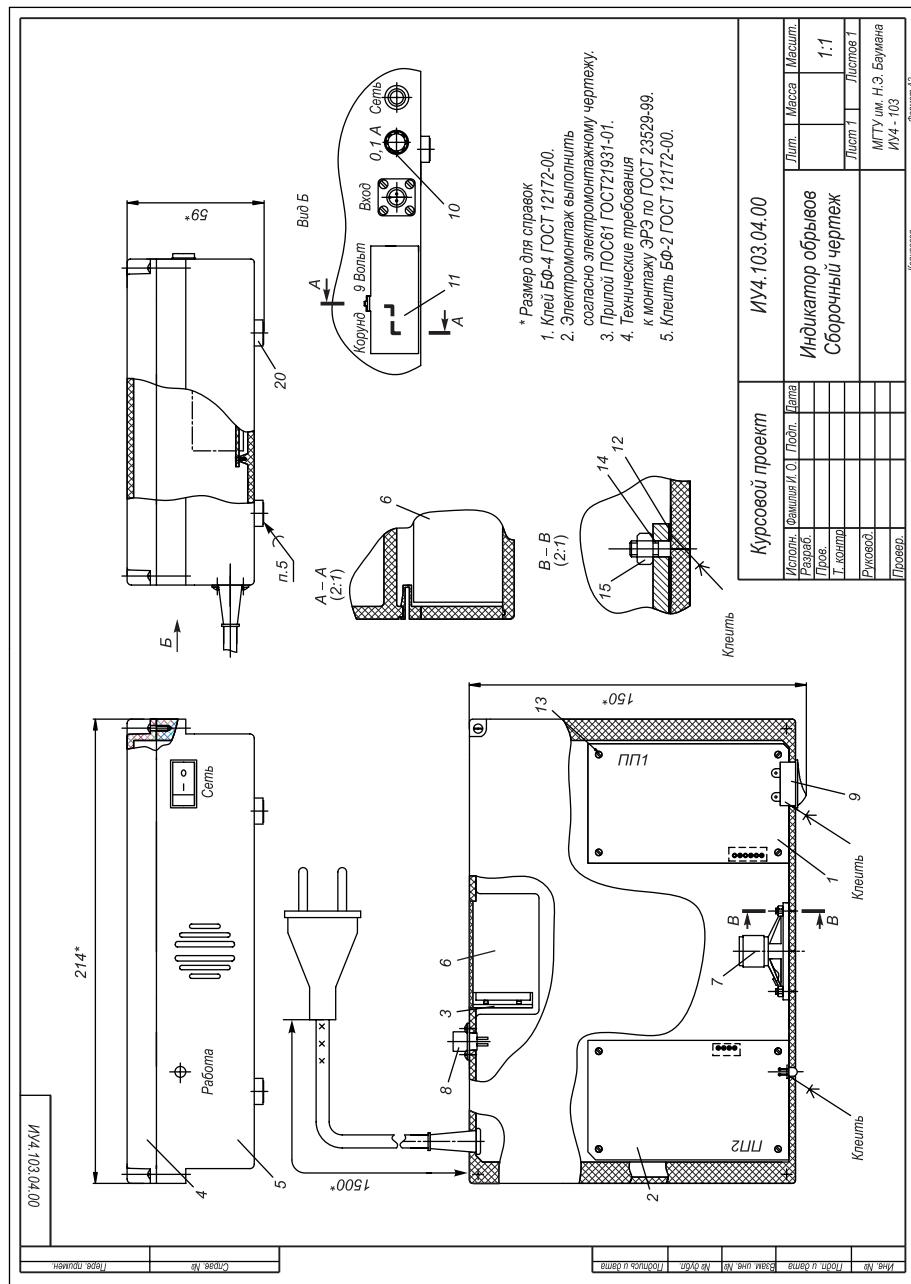


Рис. III. Индикатор обрывов. Схема электрическая принципиальная



**Рис. П2.** Индикатор обрывов. Сборочный чертеж

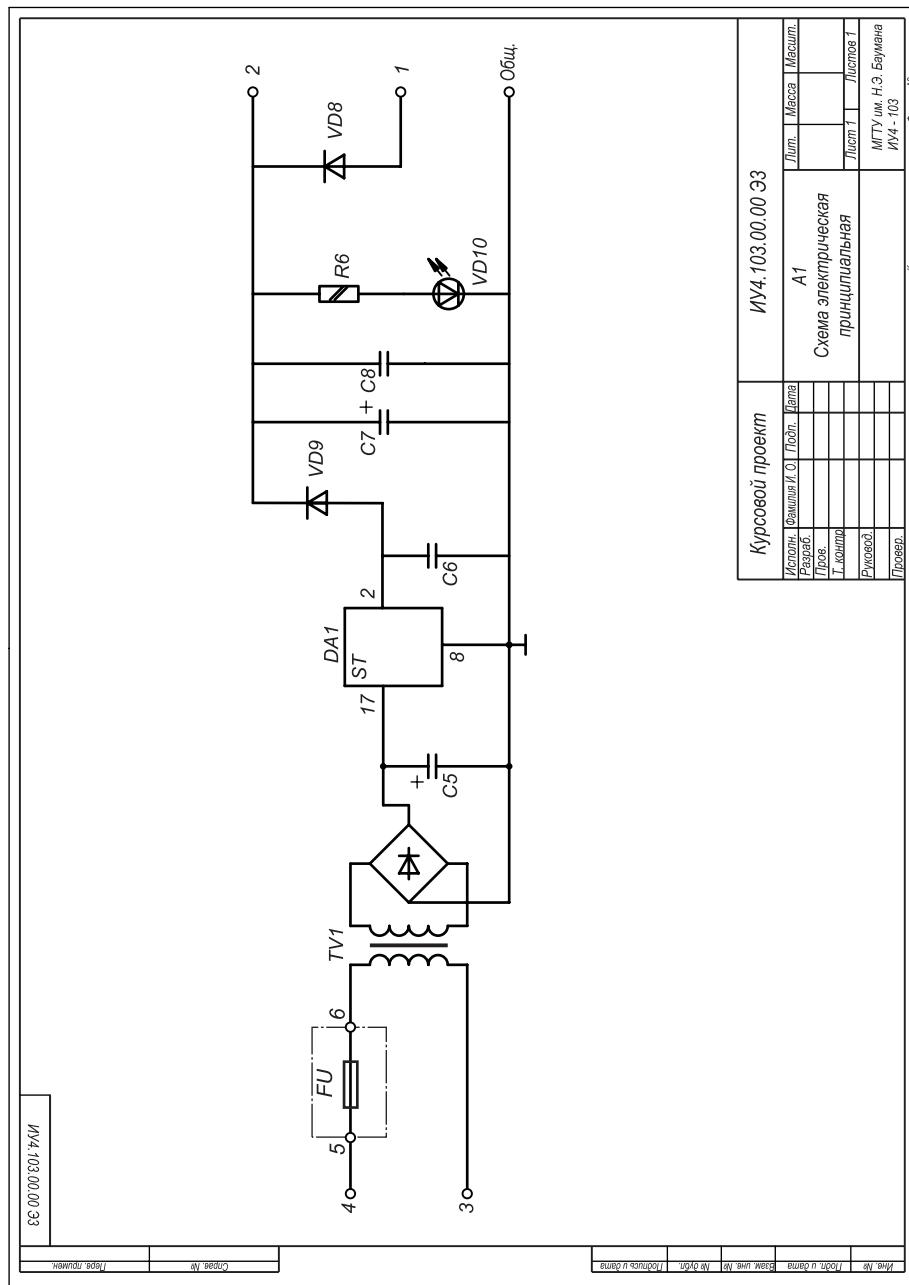
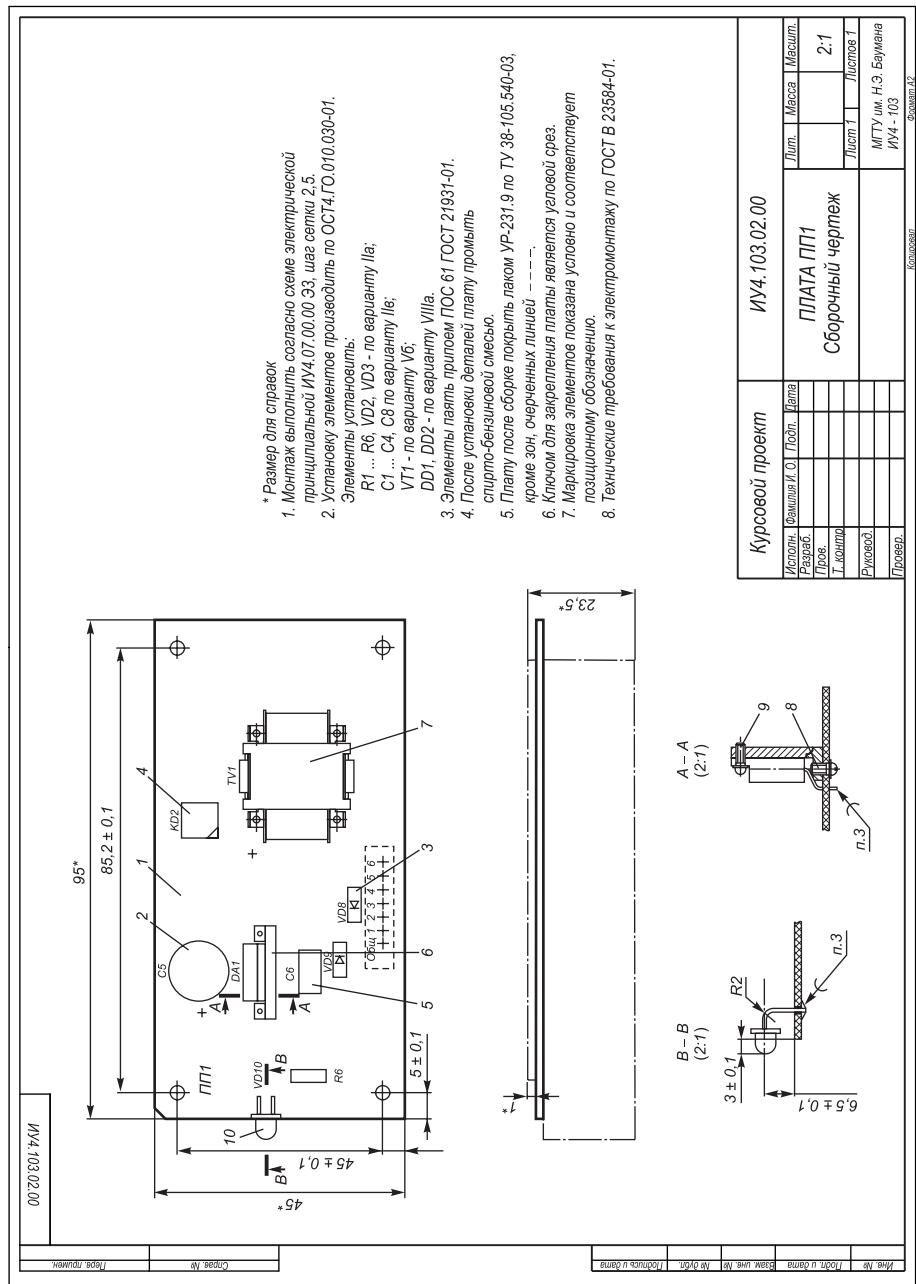


Рис. II3. Узел А1. Схема электрическая принципиальная

## Приложения



**Рис. П4. Плата П1. Сборочный чертеж**

## Приложения

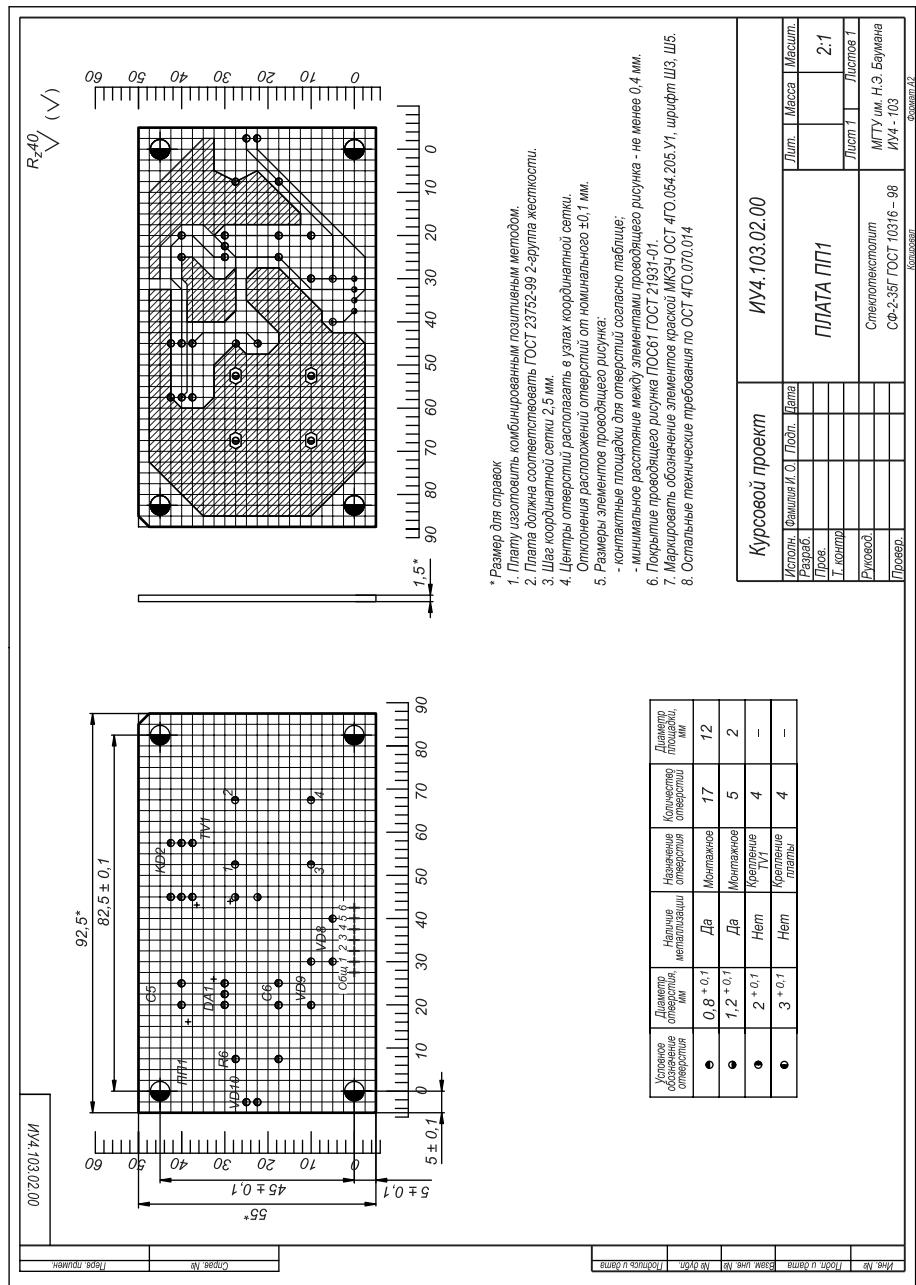
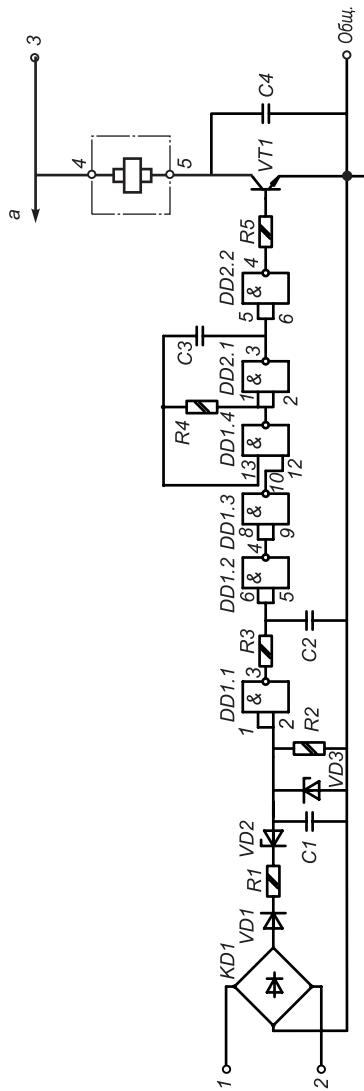


Рис. III-5. Плата III-1



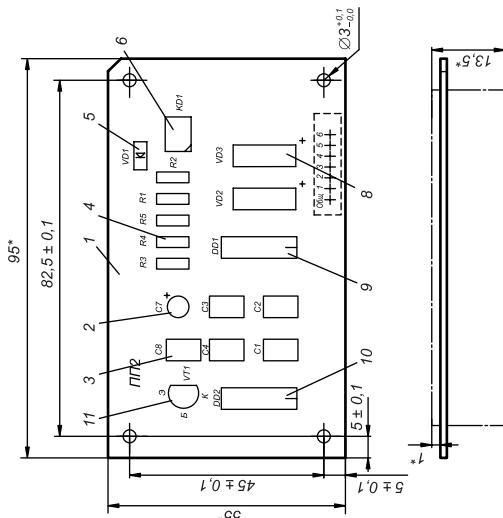
1. Выезд 7 микросхем DD1, DD2 соединить с шиной Общ., выезд 14 микросхем DD1, DD2 соединить с а (+9 В)

Курсовой проект				ИУ4.103.00.00 33				
Исполнитель	Решение №	Тогда:	Начало:	A1	A2	Лит.	Матча	Масчум.
Разраб.				Схема электрическая				
Провер.				Принципиальная				
Л.контр.						Лист 1	Листов 1	
Руковод.							МГТУ им. Н.Э. Баумана	
Проверен							МГТУ им. Н.Э. Баумана	

Рис. П6. Узел А2. Схема электрическая принципиальная

## Приложения

- \* Размер для спряток  
 1. Монтаж выполнить согласно схеме электрической принципиальной ИЛ4.07.00.00.33, шаг септика 2,5.  
 2. Установку элементов производить по ОСТ 4.Г.О.010.030-01.  
 Элементы устанавливаются:  
 R1 ... R6, VD2, VD3 - по варианту IIa;  
 C1 ... C4, C8 по варианту IIa;  
 VT1 - по варианту VI;  
 DD1, DD2 - по варианту VIIa.  
 3. Элементы паять припоям ПОС 61 ГОСТ 21931-01.  
 4. После установки деталей плату промыть спирто-бензиновой смесью.  
 5. Плату после сборки покрыть лаком УР-231 9 по ТУ 38-105.540-03,  
 кроме зон, очерченных линией — — — — —.  
 6. Крючком для закрепления платы является угловой срез.  
 7. Маркировка элементов показана условно и соответствует позиционному обозначению.  
 8. Технические требования к электромонтажу по ГОСТ В 23564-01.

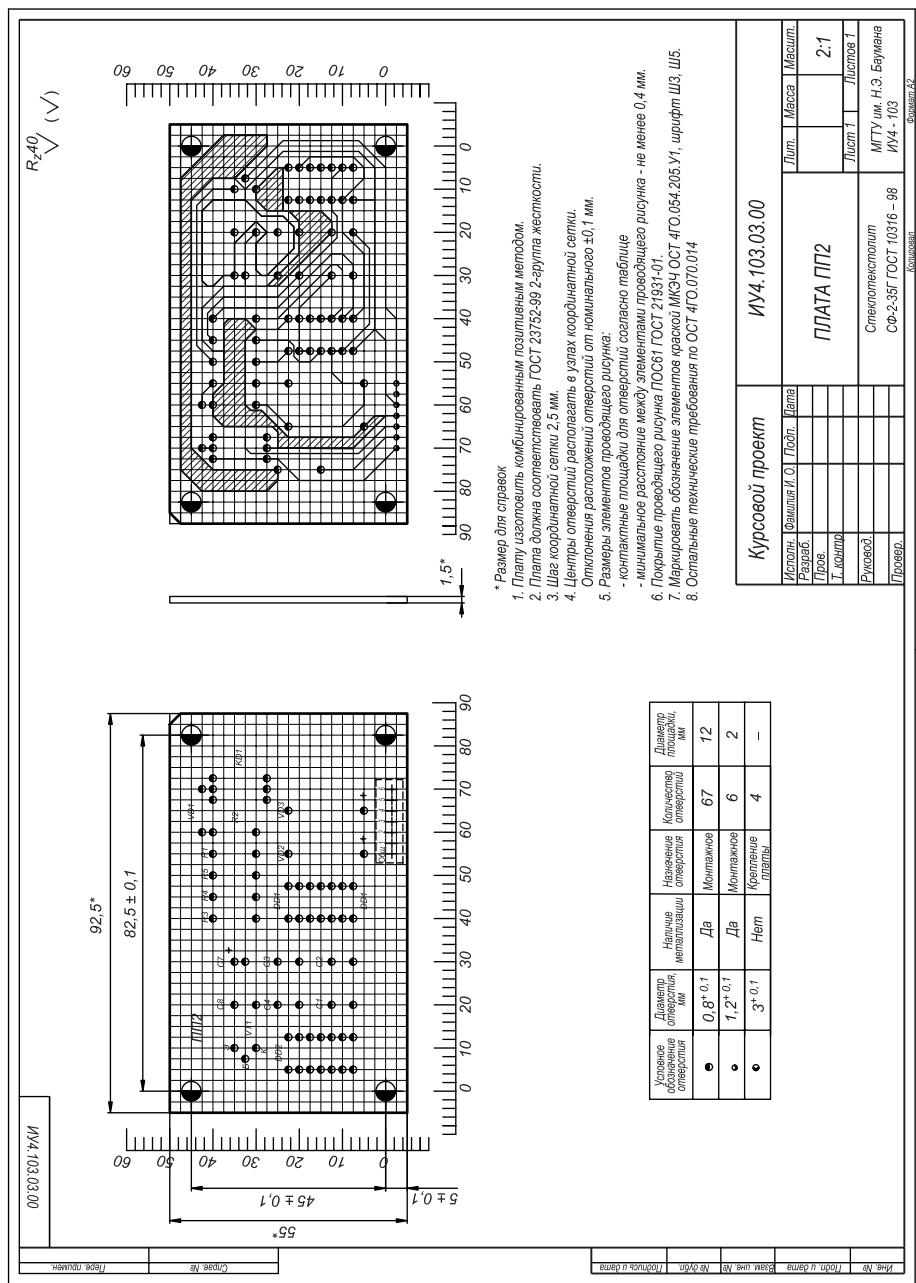


Курсовой проект		ИУ4.103.03.00	
Исполн. Разраб.	Фамилия И. О. П/дат.	Сборочная Сборочный чертеж	Лист 1 Листов 1
П.Боров			2/1
Т. Конопко			
Р.Хасов			
П.Панов			
			МГТУ им. Н.Э. Баумана ИУ4 - 103
			Фотоаппарат

Код изделия:

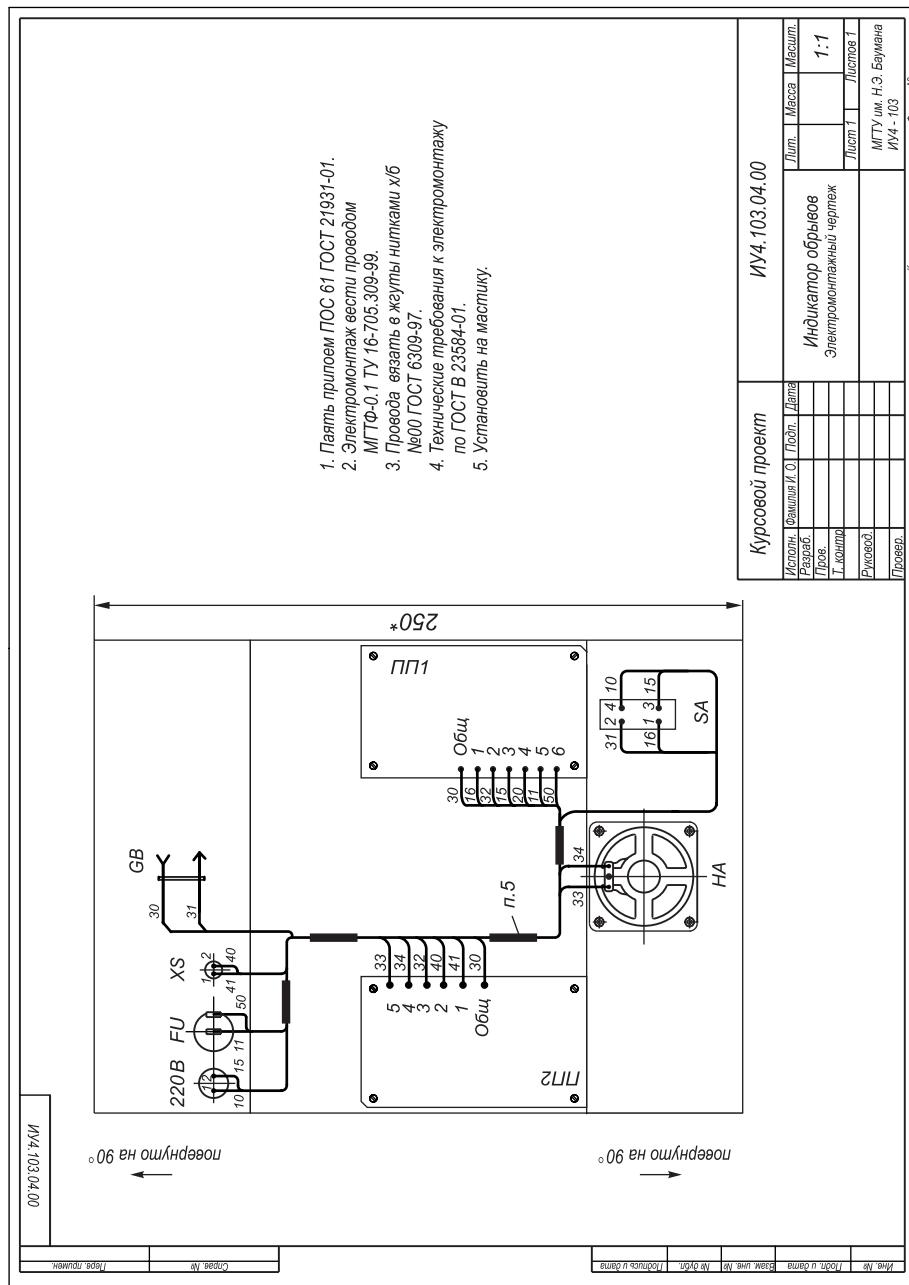
**Рис. П7. Плата ПП2. Сборочный чертеж**

## Приложения



**Рис. П8. Плата ПЛ2**

## Приложения



**Рис. П9.** Индикатор обрывов. Электромонтажный чертеж

## Приложения

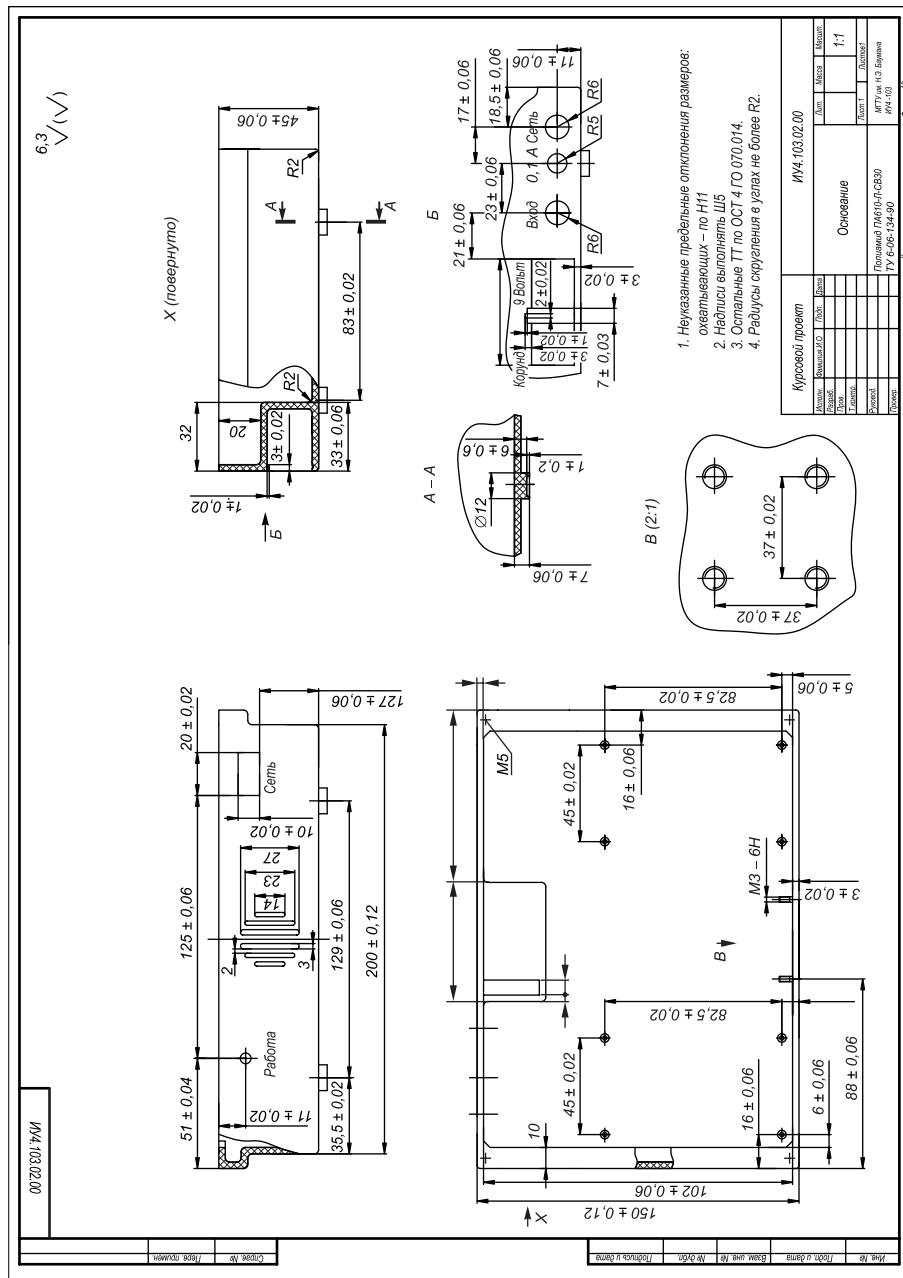


Рис. П10. Основание

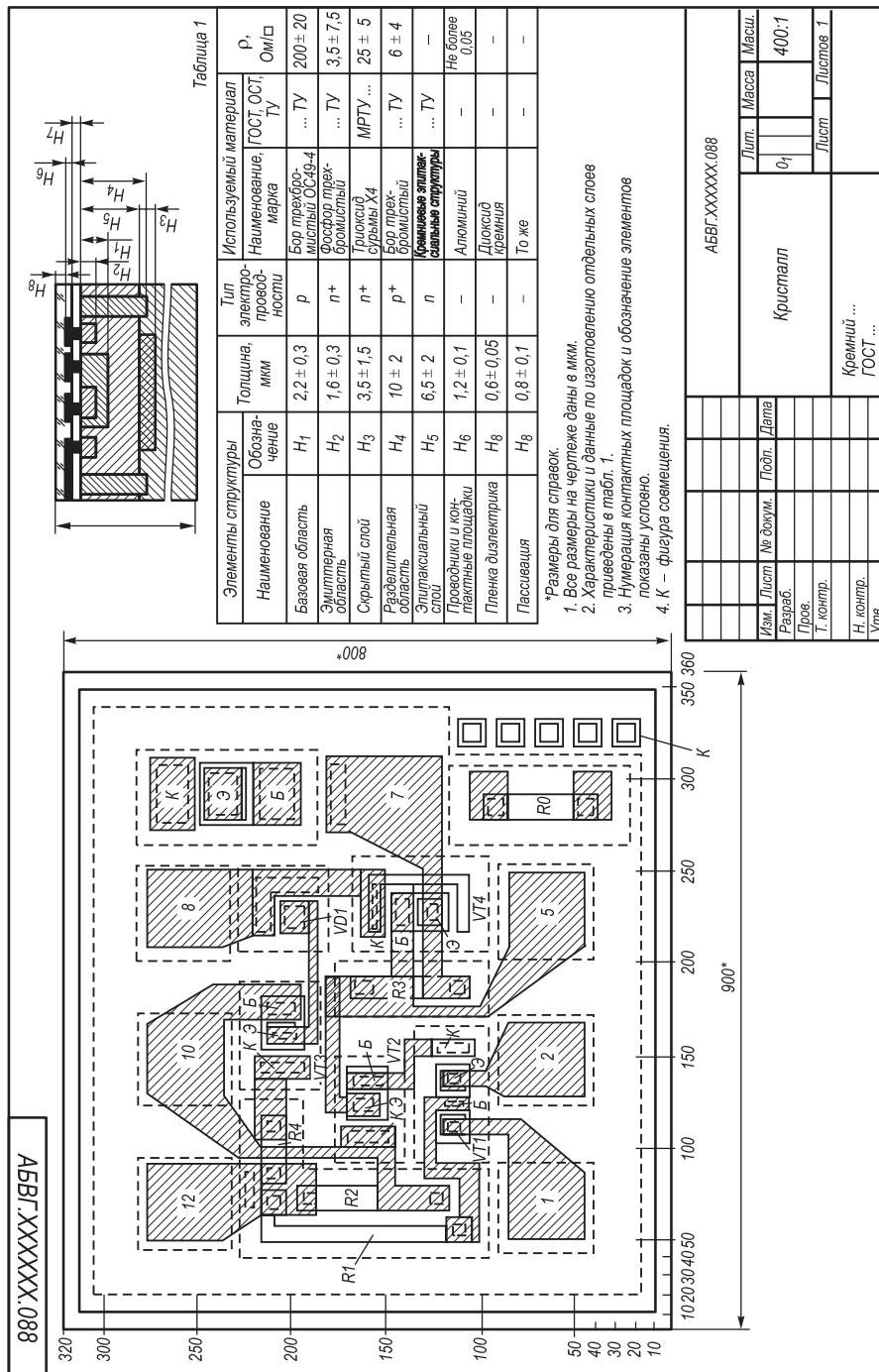


Рис. П11. Кристалл

\*Размеры для справок.

1. Литейные уклоны не более 10° кроме указанных на чертеже.
  2. Кристаллы поз. 2 крепить к стапелювой подложке поз. 3 и подложку крепить к выводной рамке поз. 1 kleem ВК-32-200.
  3. Проеvodник поз. 4 присоединять к контактным площадкам на кристалле и к выводам выводной рамки методом термокомпрессии.
  4. Нумерация выводов показана условно.
  5. Колпачок 202-14-6 ГОСТ 7467-99

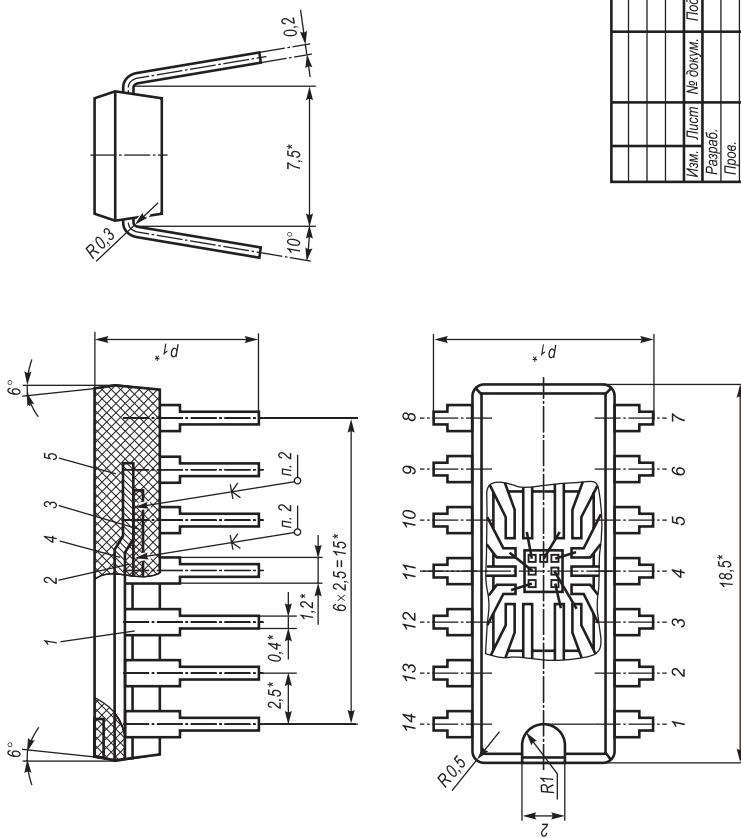


Рис. П12. Микросхема. Сборочный чертеж

## Приложения

**Рис. П13.** Маршрутно-операционная карта на примере операций сушки приклеенных ЭРЭ и установки их на плату

В — номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код или наименование операции; Г — обозначение документов, применяемых при выполнении операции; Д — код или наименование оборудования; Е — информация по трудозатратам (Проф — код профессии; Р — разряд исполнителей; КР — количество исполнителей; КОИД — количество одновременно обрабатываемых деталей; ЕН — единица нормирования; ОП — объем производственной партии; Т<sub>пз</sub> — норма подготовительно-заключительного времени; Т<sub>шт</sub> — норма штучного времени); О — содержание операции (перехода); Т — информация о применяемой технологической оснастке; Л/М — наименование применяемых материалов; Н/М — нормы расхода материалов; Р — режим обработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация / В.Г. Алексеев и др. — М.: Высшая школа, 1984.
2. Алексеев В.Г., Лукин К.Б., Напалков Э.С. Алгоритмизация проектирования технологических процессов производства ЭВА и РЭА. — М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1985.
3. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. — М: ГНТП «Безопасность», МИБ СТС, 1996.
4. Билибин К.И., Гриднев В.Н. Проектирование маршрутных и операционных технологических процессов в технологии приборостроения. — М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1987.
5. Ленточные провода и кабели в радиоэлектронной аппаратуре / К.И. Билибин и др. — М.: Радио и связь, 1984.
6. Проектирование и оптимизация технологических процессов и систем сборки радиоэлектронной аппаратуры / П.И. Буловский и др. — М.: Радио и связь, 1989.
7. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры / И.П. Бушминский и др.; Под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. — М.: Радио и связь, 1989.
8. Введение в эргономику / Под ред. В.П. Зинченко. — М.: Советское радио, 1974.
9. Власов А.И. Современное состояние и тенденции развития теории и практики активного гашения волновых полей // Приборы и системы управления. 1997. № 11. С. 59—70.
10. СанПиН 2.2.2.542—96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарные правила и нормы. — М.: Информационно-издательский Центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996.
11. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. — М.: Высшая школа, 1991.
12. Дмитров В.Н. Опыт внедрения CALS за рубежом и в России // Автоматизация проектирования. 1997. № 3.
13. Единая система конструкторской документации: Справочное пособие. — М.: Издательство стандартов, 1989.
14. Единая система технологической документации: Справочное пособие. — М.: Издательство стандартов, 1992.

## Список литературы

---

15. Правила оформления конструкторской документации электронной аппаратуры. Методические указания к дипломному проектированию / А.В. Еланцев и др. В 2-х ч. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1994.
16. Зинченко В.П. Эргономика и информатика // Вопросы философии, 1986. № 7.
17. Коледов Л.Я. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок. — М.: Радио и связь, 1989.
18. Львович Я.Е., Фролов В.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА. — М.: Радио и связь, 1986.
19. Методы и критерии оценки функционального комфорта. — М.: ВНИИТЭ, 1978.
20. Мюллер С. Модернизация и ремонт персональных компьютеров. — М.: Восточная Книжная Компания, 1996.
21. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. — М.: Высшая школа, 1990.
22. Павловский В.В., Васильев В.И., Гутман Т.Н. Проектирование технологических процессов изготовления РЭА. — М.: Радио и связь, 1982.
23. Парфенов О.Д. Технология микросхем. — М.: Высшая школа, 1986.
24. Парфенов О.Д. Расчет и конструирование интегральных транзисторов. Методические указания к курсовому проектированию по курсу «Микроминиатюризация электронно-вычислительных средств». — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994 г. и 1998 г.
25. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. — М.: Высшая школа, 1986.
26. Справочник технолога-приборостроителя / Под ред. П.В. Сыроватченко. В 2 т. — М.: Машиностроение, 1980.
27. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. — Л.: Машиностроение, 1988.
28. Ушаков Н.Н. Технология производства ЭВМ. — М.: Высшая школа, 1991.
29. Фрумд. CALS-технологии как основа вхождения разных стран в 21-й век. Материалы семинара APLS. — Лондон, 1996.
30. Ханке Х.-И. Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры: Пер. с нем. / Под ред. В.Н. Черняева. — М.: Энергия, 1980.
31. Чайнова Л.Д. Функциональный комфорт. Компоненты и условия формирования. Техническая эстетика. 1983 г. № 1. С. 21—23.
32. Чернышев А.А. Теоретические основы конструирования и надежности электронных средств. — М.: Радио и связь, 1998.
33. Эргономика в определениях. — М.: ВНИИТЭ, 1980.
34. Янг М. Visual C++ 4 для профессионалов. — М.: ЭНТРОП, 1977.
35. Bullinger Hans-Jorg: Ergonomie: Product — und Arbeitsplatzgestaltung. — Stuttgart: Teubner, 1994.
36. CALS. Jarl S. Magnusson Torbjorn Holm. — Stockholm, 1996.
37. <http://www.ixbt.com>.
38. <http://www.rittal.de>.

## **Предметный указатель**

- Базовая несущая конструкция 58, 60  
Безотказность РЭА 137
- Вероятность безопасной работы 35, 138  
Волоконно-оптическая линия передачи 148, 167
- Герметизация 109, 291  
Гибридно-пленочная интегральная схема 229
- Деталь 187  
Диагностика ЭА 438
- Единая система конструкторской документации 18  
Единая система технологической документации 18  
Единая система технологической подготовки производства 18
- Жесткость конструкции 94  
Жизненный цикл 15
- Заземление 175  
Защитное покрытие 105  
Зрительное восприятие 496
- Изделие 187  
Интегральная микросхема 228  
Интенсивность отказов 138  
Испытания ЭА 462
- Качество ЭА 205  
Климатическая зона 38  
Климатические факторы 37, 38
- Коммутационная плата 228, 272, 284  
Комплекс 187  
Комплект 187  
Конструктивная иерархия 56  
Конструкторская документация 18  
Конструкционный материал 96, 103  
Конструкция 12, 101  
Контакт 147, 179  
Контроль ЭА 438  
Коэффициент жесткости 94
- Линия передачи 147, 150, 154
- Механические факторы 37, 42  
Микросборка 66, 228, 272  
Микросварка 287  
Микросхема 56, 228  
Многослойная печатная плата 308, 334  
Модуль 56  
Монокристалл 230
- Надежность ЭА 136, 143  
Настройка ЭА 430  
Научно-исследовательская работа 15
- Опытно-конструкторская разработка 15  
Охлаждение ЭА 117
- Пайка 277  
Печатная плата 59, 308  
Показатели конструкции 34  
Полупроводниковая интегральная схема 228  
Принципиальная схема 29, 33  
Прочность конструкции 88

## *Предметный указатель*

---

- Рабочее место человека-оператора 505  
Радиационные факторы 37, 44  
Регулировка ЭА 430  
Резервирование 142  
Ресурс ЭА 137
- Сборочная единица 187  
Система человек—машина 485  
Средняя наработка на отказ 139  
Стандартизация 60  
Структурная схема 28  
Схема 27  
Схемная документация 27
- Тепловая проводимость 114  
Технические условия 20  
Технический проект 15  
Техническое задание 14  
Технологические документы 21  
Технологическая инструкция 24  
Технологическая подготовка производства 15  
Технологический процесс 12, 188, 190  
Технологичность 36, 192  
Технология производства 12  
— сборочная 15  
Типизация модулей 57
- Типовой элемент замены 57  
Толстопленочная технология 268, 274  
Тонкопленочная технология 257  
Топология 232  
Точность параметров ЭА 205
- Уровень модульности 57  
Условное графическое обозначение 27  
Устойчивость конструкции 88
- Формообразование 358  
Фотолитография 247, 266  
Фоторезист 232, 247  
Фотошаблон 232  
Функциональная схема 29
- Художественное конструирование 531  
Человеческий (субъективный) фактор 482
- Экранирование 132, 134, 135  
Электронная аппаратура 8, 9  
Электрорадиоэлемент 57  
Эргодизайн 482, 484  
Эргономика 482  
Эскизное проектирование 14

*Учебное издание*

**Информатика в техническом университете**

**Билибин Константин Иванович**

**Власов Андрей Игоревич**

**Журавлева Людмила Васильевна**

**Макарчук Владимир Васильевич**

**Мысловский Эдуард Викентьевич**

**Парфенов Олег Дмитриевич**

**Пирогова Елена Вячеславовна**

**Шахнов Вадим Анатольевич**

**Шерстнин Вячеслав Викторович**

**КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

*Редактор Н.Е. Овчаренко*

*Художники В.Н. Константинов, С.С. Водчиц*

*Корректор Г.С. Беляева*

*Технический редактор Н.В. Быкова*

*Компьютерная верстка С.Ч. Соколовского*

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 17.99.02.953.Д.005683.09.04 от 13.09.2004 г.

Подписано в печать 26.07.05. Формат 70×100/16. Печать офсетная.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печ. л. 35,5 + 0,5 цвет. вклейка.

Усл. печ. л. 46,8. Уч.-изд. л. 45,98.

Тираж 2000 экз. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Отпечатано с оригинал-макета в ППП «Типография «Наука»  
121099, Москва, Шубинский пер., 6