

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Л.Н. Белянин**

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОГО УЗЛА И  
ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ.**

Учебно-методическое пособие

Издательство ТПУ

Томск 2008

УДК 621.396.6.049.75.0016-192(075.8)  
ББК 32.844.1Я73  
Б 449

**Белянин Л.Н.**

Б 449 Конструирование печатного узла и печатной платы. Расчет надежности: Учебно-методическое пособие.- Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 77 с.

ISBN

В пособии рассматриваются вопросы конструирования печатных узлов и печатных плат электронной аппаратуры, с которыми сталкиваются студенты при выполнении выпускных квалификационных работ и курсовых проектов, а также методика расчета надежности проектируемых электронных устройств. Приведены правила оформления сборочного чертежа печатного узла и чертежа печатной платы. Пособие предназначено для студентов специальностей 210106 «Промышленная электроника», 200401 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», а также других смежных специальностей приборостроительного профиля всех форм обучения.

УДК 621.396.6.049.75.0016-192(075.8)

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета

Рецензенты

Кандидат технических наук, доцент ТПУ  
И.А. Цехановский

ОАО НПЦ «Полюс» (г. Томск)

ISBN

© Томский политехнический университет, 2008  
© Оформление издательство ТПУ, 2008

## Содержание

Список сокращений	5
Введение	6
1. Общие положения	7
2. Общие требования к конструкции проектируемого изделия	9
3. Разработка печатного узла и печатной платы	11
3.1. Вводные замечания	11
3.2. Формирование исходных данных на конструкторско - технологическое проектирование печатного узла	11
3.2.1. Исходная база	11
3.2.2. Определение класса ЭА по объекту установки	12
3.2.3. Анализ условий эксплуатации	13
3.2.4. Анализ электрической принципиальной схемы	14
3.2.5. Анализ элементной базы	14
3.3. Конструирование печатного узла и печатной платы	16
3.3.1. Выбор типа конструкции узла	16
3.3.2. Выбор типа конструкции печатной платы	17
3.3.3. Выбор класса точности ПП	17
3.3.4. Выбор метода изготовления ПП	19
3.3.5. Выбор материала основания ПП	19
3.3.6. Определение габаритных размеров ПП	20
3.3.7. Расчет элементов проводящего рисунка ПП	22
3.3.8. Размещение ЭРИ	28
3.3.9. Трассировка ПП	30
3.4. Системы автоматизированного проектирования ПП	30
3.5. Анализ печатного узла на электромагнитную и тепловую совместимости и стойкость к механическим воздействиям	31
3.6. Оформление сборочного чертежа ПУ и чертежа ПП	31
3.6.1. Сборочный чертеж печатного узла	31
3.6.2. Спецификация на сборочный чертеж ПУ	33

3.6.3. Чертеж печатной платы	39
4. Расчет надежности	44
4.1. Основные понятия теории надежности	44
4.2. Расчет надежности электронного нерезервированного устройства по внезапным отказам	45
Список рекомендуемой литературы	50
Приложения	
П1 Образцы оформления задания на дипломирование	51
П1 Пример выполнения сборочного чертежа печатного узла	69
П2 Пример выполнения чертежа печатной платы	71
П3 Справочные данные для расчета надежности	73

## Список сокращений

- ВКР – выпускная квалификационная работа
- ГПП – гибкая печатная плата
- ГЖП – гибко-жесткие платы
- ДПП – двухсторонняя печатная плата
- ИМС – интегральная микросхема
- ИЭТ - изделие электронной техники
- КД – конструкторская документация
- КП – контактная площадка
- МПП – многослойная печатная плата
- МСБ – микросборка
- МУПП – многоуровневая печатная плата
- ОПП – односторонняя печатная плата
- ПМК – поверхностно - монтируемый компонент
- ПП – печатная плата
- ПУ – печатный узел (ячейка, электронная плата печатного монтажа)
- САПР – система автоматизированного проектирования
- ТЗ – техническое задание
- ТТ – технические требования
- ТУ – технические условия
- УНБК – унифицированные несущие базовые конструкции
- ЭА – электронная аппаратура
- ЭМС – электромагнитная совместимость
- ЭРИ – электрорадиоизделие
- ЭРЭ - элетрорадиоэлемент

## Введение

Выполнение выпускной квалификационной работы – дипломирование – является важным этапом подготовки специалиста, подводящим итог пятилетней учебе в вузе. Но дипломирование это одновременно и продолжение учебы. И задача каждого студента состоит в том, чтобы не только своевременно и качественно выполнить и защитить дипломный проект, но и в максимальной степени использовать этап дипломирования для получения соответствующих знаний и навыков их практического применения в процессе инженерного проектирования электронных устройств.

Тематика, объем работы, предложенные руководителем выпускной квалификационной работы и назначенными консультантами, а также организация дипломирования должны быть такими, чтобы студент, выполняя проект, побывал в роли системотехника (разработка принципа действия и структуры, разбивка устройства на составные части), схемотехника (выбор, обоснование и расчет схемы электрической принципиальной, выбор и обоснование элементной базы устройства) и конструктора.

Настоящие методические указания могут служить руководством по выполнению конструкторской части дипломного проекта. Они содержат рекомендации по структуре раздела, порядку работы над ним, советы по выполнению конструкторских расчетов и оформлению графической части проекта, а также порядок расчета надежности устройства.

## 1. Общие положения

Выпускная квалификационная работа (ВКР) в технических вузах выполняется, как правило, в форме дипломного проекта. На выполнение проекта в соответствии с линейным графиком обучения в ТПУ выделяется три месяца. Кроме того, еще один месяц (июнь) выделяется на защиту проекта.

Для успешного выполнения и защиты ВКР необходимо, чтобы ее тема, хотя бы в первой редакции, была выдана студенту до начала преддипломной практики вместе с индивидуальным заданием на практику. Сразу после окончания преддипломной практики и защиты отчета студенту должно быть выдано задание на дипломирование на бланке установленного образца, подписанное руководителем и утвержденное заведующим профилирующей (выпускающей) кафедрой. Студент, в свою очередь, получив задание, должен поставить на задании свою подпись и дату, подтвердив тем самым факт получения задания. Наличие подтверждающей подписи заведующего кафедрой означает, что тема, выданная студенту, соответствует профилю подготовки, а объем и сложность подлежащих разработке вопросов – требованиям, предъявленным к ВКР в ТПУ по данной специальности.

Важно, чтобы в задании содержались все необходимые для проектирования исходные данные, в том числе условия эксплуатации устройства, объект установки, массо-габаритные ограничения, вид исполнения (настоечное, стоечное, переносное или др.), тип производства, требования по электробезопасности.

Если на бланке задания установленного образца не удастся разместить все исходные данные, допускается оформлять их в виде приложения к заданию. Приложение подписывается руководителем проектирования и в дальнейшем помещается в расчетно-пояснительную записку сразу за основным бланком задания.

Образцы оформления заданий на дипломное проектирование приведены в приложении.

Конструкторская часть проекта включает в себя разработку печатного узла (электронной платы печатного монтажа) и печатной платы. Заданием на дипломирование должен быть предусмотрен также расчет надежности проектируемого устройства. В расчетно-пояснительной записке вопросы конструирования и расчета надежности объединяются в один раздел. Рекомендуемое название раздела – «Конструирование. Расчет надежности».

В связи с тем, что основной акцент при подготовке в ТПУ инженеров по названным выше специальностям делается на схемотехнику радиоэлектронных средств, полная разработка конструкции устройства в дипломном проекте не предполагается. Студент должен лишь продемонстрировать умение конструировать печатные узлы и печатные платы. Однако, без уяснения общей компоновочной схемы всего устройства, определения количества, типа и расположения портов связи проектируемого устройства с внешними устройствами и питающей сетью, решения вопроса об органах управления, индикации и визуализации, а также выбора типа электрических линий связи между отдельными составными частями проектируемого устройства невозможно выполнить конструкторскую часть дипломного проекта. Более

того, без этого невозможно в полном объеме выполнить и схемотехнический этап проектирования. Поэтому начинать работу над конструкторской частью проекта следует с формулирования требований к конструкции устройства в целом.

С учетом изложенного выше можно рекомендовать следующее содержание раздела.

## Х. Конструирование. Расчет надежности

Х.1 Общие требования к конструкции ...

Х.2 Разработка печатного узла и печатной платы.

Х.3 Расчет надежности ...

Количество и названия пунктов и, если необходимо, подпунктов, входящих в указанные подразделы, определяются студентом исходя из объема и характера излагаемого материала.



## 2. Общие требования к конструкции проектируемого изделия

О необходимости формулирования требований к конструкции в целом уже было указано выше. Студент, опираясь на исходные данные, приведенные в задании, и на результаты системотехнического и схемотехнического этапов проектирования, должен предложить, обосновать и кратко описать принятые решения по следующим вопросам:

- форма, размеры, вариант исполнения устройства, способ его установки и крепления;
- необходимые органы управления, индикации и визуализации устройства;
- количество, назначение и расположение портов проектируемого устройства для связи с внешними устройствами (датчиками, исполнительными органами, источниками питания, компьютерами и др.);
- общая компоновка устройства, в том числе количество, габариты, расположение и способы крепления печатных узлов (ячеек);
- конструкция передней и задней панелей устройства;
- требования по обеспечению внешней и внутренней электромагнитной совместимости (ЭМС);
- требования к внутриблочным электрическим соединениям.

При написании подраздела рекомендуется текст дополнять рисунками. Например, при описании конструкции передней и задней панелей устройства целесообразно поместить схему расположения на ней органов управления, индикации, визуализации, а также электрических соединителей (разъемов), клемм и прочих размещенных на панелях элементах.

Разрабатывать какие-либо листы графического материала по результатам формулирования общих требований к конструкции устройства не требуется, если это особо не оговорено в задании.

Обеспечение ЭМС является общим требованием ко всем электронным, электрическим и электромеханическим устройствам (приборам, аппаратам, машинам). При выполнении проекта студент должен различать:

- внешнюю ЭМС (совместимость данного устройства с другими устройствами, расположенными вблизи и устройствами, питающимися от общей с проектируемым устройством сети);
- внутреннюю ЭМС устройства (совместимость отдельных частей устройства – печатных узлов, установленных на корпусе трансформаторов, дросселей, силовых диодов и транзисторов и пр.), размещенных внутри общего корпуса (кожуха);
- внутреннюю ЭМС электронной платы печатного монтажа (печатного узла).

Для обеспечения внешней ЭМС можно рекомендовать:

- использование металлического корпуса (кожуха) устройства и его заземление;

- защиту линий связи, чувствительных к помехам (например, служащих для подключения к устройству датчиков) путем использования витых пар, проводов в экране, коаксиальных кабелей;
- использование сетевых фильтров для защиты устройства от помех, проникающих в него из сети, а также защиты сети от помех, создаваемых проектируемым устройством.

Студент должен выбрать способы обеспечения внешней ЭМС и кратко описать их.

### **3. Разработка печатного узла и печатной платы**

#### **3.1. Вводные замечания**

Разработка печатного узла (ПУ) (электронной платы печатного монтажа) и печатной платы (ПП) – единый процесс, поскольку, не сконструировав печатный узел, невозможно разработать печатную плату - деталь этого узла, и наоборот, без чертежа печатной платы невозможно полностью завершить оформление сборочного чертежа печатного узла.

Проектирование печатного узла и печатной платы ведется в несколько этапов.

1. Формирование исходных данных на конструкторско-технологическое проектирование печатного узла или изучение и анализ технического задания (ТЗ) на изделие (печатный узел, блок, стойку), если таковое имеется.

2. Выбор варианта конструктивного исполнения печатного узла.

3. Выбор компоновочной структуры узла, вариантов установки электрорадиоизделий (ЭРИ) и поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК).

4. Выбор типа конструкции ПП.

5. Выбор класса точности и метода изготовления ПП.

6. Выбор материала ПП.

7. Разработка компоновочных эскизов ПУ и выбор габаритных размеров ПП.

8. Расчет элементов проводящего рисунка ПП.

9. Размещение ЭРИ.

10. Трассировка ПП.

11. Поверочные расчеты.

12. Окончательное оформление сборочного чертежа ПУ и чертежа ПП.

Этапы 9-12 могут выполняться или с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР), или вручную.

Ниже приводятся краткие методические указания по выполнению перечисленных этапов.

#### **3.2. Формирование исходных данных на конструкторско-технологическое проектирование печатного узла**

##### **3.2.1. Исходная база**

При выполнении выпускной квалификационной работы студенту техническое задание на разработку, как правило, не выдается. В задании на работу содержится лишь краткие исходные данные. Поэтому студент должен сам сформулировать требования к конструкторско-технологическому проектированию печатного узла. Исходной базой для этого могут служить: исходные данные, помещенные в задании на проектирование; результаты системотехнического и схемотехнического проектирования, в частности, схема устройства электрическая принципиальная; общие требования к конструкции устройства в целом, сформулированные студентом ранее.

При этом проводится анализ:

- назначение и область применения или объект установки электронной аппаратуры (ЭА), в состав которой входит разработанный печатный узел;
- условия эксплуатации, влияние воздействующих на ЭА факторов;
- назначение печатного узла (электронного модуля) и способ его крепления в модулях более высокого конструктивного уровня;
- электрическую принципиальную схему узла, его функциональную сложность; параметры, определяющие конструкцию узла и печатной платы (быстродействие, чувствительность, рассеиваемая мощность, частота и т.д.), его элементную базу.

### 3.2.2. Определение класса ЭА по объекту установки

Различают три класса ЭА по объекту установки: наземная, морская и бортовая.

**Класс наземной ЭА** включает в себя следующие группы: стационарная, возимая, носимая и бытовая ЭА. Группа ЭА обуславливает уровень внешних воздействий и конструкторско-технологические ограничения.

Для стационарной ЭА характерна работа в помещении с нормальными климатическими условиями при отсутствии в процессе эксплуатации механических воздействий. Однако на такую ЭА действует вибрация, удары, тряска и линейные перегрузки в нерабочем состоянии при транспортировке.

Для возимой ЭА характерна работа в условиях вибраций, ударов, пыли, избыточной влажности. Она должна иметь ограниченные габариты и массу, обеспечивать простоту и надежность электрических соединений, устойчивость к ударам и вибрациям, к возникновению инея и росы, а также ограниченную мощность потребления. К группе возимой относится ЭА, установленная на всех транспортных средствах, спецавтомобилях и военной технике, перемещающейся по поверхности Земли (на колесном, на гусеничном ходу), включая бронетехнику, передвижные пусковые установки и прочее.

Для носимой ЭА наиболее актуальным является требование миниатюризации. Другие основные требования к такой ЭА: устойчивость к случайным значительным ударам, изменению температуры, к конденсации росы, воздействию инея, дождя, пыли. Особенностью носимой ЭА является зависимость конструкции от габаритов и массы источников питания.

Основными требованиями к бытовой ЭА являются: повышение технологичности конструкции с целью снижения стоимости; снижение габаритов и массы, модульный принцип конструирования, простота эксплуатации, повышение мер безопасности, массовый характер производства.

Для **класса морской ЭА** характерна 100%-ная влажность при повышенной температуре и солевом тумане, при непрерывной вибрации от двигателей, ударных перегрузках, линейных ускорениях, акустических, магнитных и радиационных воздействиях. Морская ЭА должна разрабатываться в тропическом исполнении, предусматривать коррозионную стойкость, плеснестойкость, водо- и брызгозащищенность, защищенность от высокочастотных и низкочастотных электромагнитных полей, обладать высоким уровнем типизации.

**Класс бортовой ЭА** включает в себя группы самолетной, космической и ракетной техники. Особенностями этой аппаратуры является постоянный рост

функциональной сложности при минимальных габаритах и массе, работа в условиях разряженной атмосферы.

Самолетная ЭА, куда входят также ЭА, устанавливаемая на вертолетах, кроме указанных особенностей, испытывает значительные вибрационные, ударные и линейные перегрузки, воздействие перепадов температур, давлений, тепловых ударов, если она расположена вне гермокожухов. Она характеризуется кратковременностью непрерывной работы, измеряемой часами, и длительностью предполетной проверки, поэтому к ней предъявляется требование высокой контролепригодности и ремонтпригодности конструкции.

К космической и ракетной ЭА, помимо общих требований к бортовой аппаратуре, предъявляются дополнительные требования особой ограниченности объема и массы, защиты от совместного действия вибрационных и линейных перегрузок во время старта, чрезвычайно высокой безотказности, высокой ремонтпригодности в предстартовый период, учет специфики больших высот.

Требования к изделиям медицинской техники – приборам и аппаратам зависят от объекта установки. В соответствии с ГОСТ Р 50444-92 в зависимости от воспринимаемых механических воздействий такие изделия подразделяют на пять групп:

1 – стационарные;

2 – носимые, переносные и передвижные, не предназначенные для работы при переносках и передвижениях;

3 – носимые, переносные и передвижные, в пределах медицинского учреждения, предназначенные для работы при переносках и передвижениях;

4 – перевозимые, а также постоянно установленные на подвижных медицинских установках, не предназначенные для работы при перевозках или на ходу;

5 – перевозимые, а также постоянно установленные на подвижных медицинских установках, предназначенные для работы при перевозках или на ходу, подвижные медицинские установки.

При разработке медицинских приборов и аппаратов особое внимание должно быть обращено на обеспечение электробезопасности (ГОСТ 12.2.025 – 76), простоты и удобства эксплуатации.

Скважинная геофизическая аппаратура (работающая в буровых скважинах) по уровню механических воздействий может рассматриваться как бортовая и при этом должна быть рассчитана на широкий (от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ ) диапазон температур окружающей среды и высокое (до 60 МПа) гидростатическое давление (ГОСТ 26116 - 84).

Отдельную категорию составляет взрывозащищенное электрооборудование. Понятие «Электрооборудование» в данном случае включает в себя любое оборудование, в котором используется электрическая энергия (электромеханические, электрические и электронные приборы и аппараты). Это аппаратура, которая по условиям эксплуатации находится во взрывоопасной среде. Взрывоопасная среда может образоваться из смеси определенных газообразных веществ, а также при высокой концентрации горючих веществ в воздухе в виде пыли (угольная пыль в шахтах, на

обогажительных фабриках; мучная пыль на предприятиях, осуществляющих переработку зерна; сахарная пыль на предприятиях, осуществляющих производство и переработку сахара, и т.д.). В техническом задании на разработку ЭА в этом случае должно быть требование о взрывозащищенном исполнении.

Задача конструктора, проектирующего взрывозащищенную ЭА, состоит в том, чтобы исключить любую, в том числе в случае отказа ЭА, возможность инициирования взрыва среды разрабатываемой аппаратурой. Это обеспечивается применением специальных технических решений, касающихся схемотехники, а также конструкции корпуса, кожуха, электрических соединений и устройств заделки кабелей.

Аппаратура во взрывобезопасном исполнении при ее разработке должна подвергаться обязательным испытаниям на взрывобезопасность в соответствии с действующими ГОСТами. Испытания проводятся службами Ростехнадзора.

Общие требования на взрывозащищенное электрооборудование определены ГОСТом Р51330.0-99(МЭК 60079-0-98).

### 3.2.3. Анализ условий эксплуатации

При анализе условий эксплуатации необходимо определить:

- какие дестабилизирующие факторы влияют на ЭА данной группы;
- какие деграционные процессы в проектируемом узле, в том числе в ПП они вызывают;
- какие необходимо применить способы защиты печатного узла от этого влияния.

Обобщенные значения механических воздействующих факторов по классам ЭА и влияние дестабилизирующих факторов на ПП приведены в таблицах [3, с. 70-72].

### 3.2.4. Анализ электрической принципиальной схемы

Анализ электрической принципиальной схемы печатного узла проводится для уяснения возможностей конструктивного исполнения или компоновки с учетом ограничений (тепловых, электрических, магнитных и электромагнитных взаимовлияний ЭРИ).

Как правило, заданием на проектирование предусматривается разработка схемы электрической принципиальной всего проектируемого устройства, или большей ее части. В то время как на конструкторскую проработку предлагается одна электронная плата печатного монтажа (печатный узел). При этом важно, чтобы на конструкторскую проработку была вынесена часть схемы, имеющая функциональную завершенность, и при этом не слишком сложная.

При анализе электрической принципиальной схемы необходимо определить [3, с. 73-75]:

- тип функционального узла (цифровой, аналоговый, аналого-цифровой, выполняемые функции), а также принцип работы;
- параметры, влияющие и усложняющие компоновку ЭРИ, конструкцию узла и ПП, в частности, диапазон рабочих частот, быстродействие, большая рассеиваемая мощность, коэффициент усиления, ширина полосы пропускания, высокая чувствительность, величины действующих напряжений и токов;

- типы электрических цепей (цепи входа и выхода сигналов, шины «земля» и «питание», сигнальные цепи, цепи импульсных и высокочастотных сигналов); наличие гальванически развязанных от корпуса шин общего провода;
  - путь распространения полезного сигнала;
  - теплонапряженные ЭРИ;
  - ЭРИ, чувствительные к внешним электрическим, тепловым и другим воздействиям, в особенности к емкостным и индуктивным помехам;
  - пути возможных кондуктивных, индуктивных и емкостных паразитных связей, а также паразитных связей и наводок за счет гальванической связи элементов схемы;
  - допустимые уровни напряжений и токов сигнала помехи на входах проектируемого узла;
  - напряжение и силу тока источников электропитания;
  - уровни логических нулей и единиц в цифровых устройствах.
- По результатам анализа электрической принципиальной схемы делаются выводы.

### 3.2.5. Анализ элементной базы

При анализе элементной базы изучают:

- совместимость интегральных микросхем (ИМС), ЭРЭ и ПМК по электрическим, конструктивным, электромагнитным, тепловым и другим параметрам, а также по условиям эксплуатации;
- совместимость ЭРИ и ПМК по надежности;
- соответствие ЭРИ и ПМК условиям эксплуатации, хранения, транспортировки, указанным в исходных данных на проектирование.

Электрические, конструктивные и другие параметры, а также условия эксплуатации ЭРИ рекомендуется брать из технических условий на них или справочников издательства «Электронстандарт». При выполнении учебных проектов допускается использовать любую справочную литературу, содержащую необходимые сведения.

По результатам анализа элементной базы заполняется таблица 3.1. и делаются указанные выше выводы.

Таблица 3.1.

Характеристика элементной базы

Наименование ЭРИ	Количество, шт.	Конструктивные параметры						Допустимые условия эксплуатации				
		масса, г	Количество выводов, шт.	Диаметр или ширина и толщина вывода, мм	Штыревые или планарные	Установочная площадь, $\text{м}^2 \cdot 10^{-6}$	Надежность	Диапазон температур, °С	Вибрации		Ударные перегрузки, $\sigma$	Линейные ускорения, $\sigma$
							Частота, Гц		Перегрузка, g			

Сведения, содержащиеся в таблице 3.1. в дальнейшем используются при конструировании печатного узла и печатной платы: определении конструкторской сложности узла; выборе типа, конструкции, класса точности ПП и ее площади; шага координатной сетки; формы и размеров монтажных отверстий и контактных площадок.

В связи с этим ниже приводятся некоторые сведения, которые должен принимать во внимание разработчик еще на этапе схемотехнического проектирования, когда выбираются серии микросхем, типы транзисторов, диодов и, следовательно, типы корпусов этих и других ЭРЭ.

По конструктивному оформлению все ЭРИ (ИЭТ, ЭРЭ и ПМК) различают:

- корпусные с планарными выводами, лежащими в плоскости основания корпуса, с осевыми (отформованными) и штыревыми, перпендикулярными основанию (традиционная элементная база);

- корпусные без выводов, с укороченными планарными или j-образными выводами, уходящими под корпус; в виде матрицы шариковых вводов из припоя и пр.; их называют микрокорпуса или поверхностно-монтируемые компоненты (ПМК);

- бескорпусные ЭРЭ и ИС.

По конструктивно-технологическому признаку в настоящее время различают следующие корпуса:

- металлостеклянные – стеклянное или металлическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки; выводы изолированы стеклом;

- керамические – керамическое основание и крышка, соединенные между собой пайкой;

- пластмассовые – пластмассовое основание и крышка, соединены опрессовкой;

- металлополимерные – подложка с компонентами и выводами помещаются в металлическую крышку и герметизируются заливкой компаундом. Металлическая крышка обеспечивает эффективную влагозащиту, отвод тепла от кристалла, снижает уровень помех.

### **3.3. Конструирование печатного узла и печатной платы**

#### **3.3.1. Выбор типа конструкции узла**

Конструкция печатного узла (ячейки) – модуля первого уровня - в значительной степени связана с конструкцией блока, в который входит разрабатываемый узел.

Выбор варианта конструкции ячейки зависит:

- от общих требований к конструкции проектируемого изделия, которые должны быть сформулированы студентом до начала разработки печатного узла;

- от требований нормативно-технической документации на проектирование и изготовление изделий данной группы;

- от требований обеспечения технологичности конструкции узла.

Различают рамочное и безрамочное исполнение печатного узла, с односторонним или двухсторонним расположением ЭРИ и/или ПМК на плате.



Металлические рамки (каркасы), окаймляющие плату по периметру, применяют для увеличения вибро – и ударопрочности конструкции. Моделью такой конструкции является пластина с жестким закреплением всех сторон. Такое решение находит применение в бортовой ЭА.

Узел, выполненный на ПП без рамки, закрепленной в блоке в четырех точках по углам моделируется пластиной, равномерно нагруженной ЭРИ, со свободным опиранием всех сторон.

Широко применяется вариант закрепления с помощью направляющих вдоль двух противоположных сторон и электрического соединителя, расположенного вдоль третьей стороны. Моделью такой конструкции является пластина со свободным опиранием противоположных сторон и жестким закреплением с третьей стороны.

Пример расчета на вибропрочность и ударопрочность можно найти в [3, с. 512÷518].

Конструкция, масса, габариты ЭА, а также печатного узла и ПП во многом, если не полностью, определяются типом используемой элементной базы и способами ее монтажа.

При принятии решения об одностороннем или двухстороннем расположении ЭРИ и ПМК следует руководствоваться следующими соображениями.

Двухстороннее расположение ЭРИ и ПМК позволяет увеличить количество элементов на плате и упрощает разрешение проблемы, стоящей перед конструктором: чему отдать площадь на ПП – элементам или печатным проводникам?

Плата в таком случае оказывается более насыщенной компонентами. Однако это не приводит к значительному увеличению объемной плотности компоновки блока, т.к. расстояние между соседними платами при двухстороннем расположении ЭРИ и ПМК увеличивается.

Существует специальный стандарт по поверхностному монтажу, в котором представлены основные типы сборок, разбитые на классы:

- тип 1 – ЭРИ и/или ПМК установлены только на верхнюю сторону ПП (называемую стороной А);
- тип 2 - ЭРИ и/или ПМК установлены на обе стороны ПП (сторона А и В).

Для каждого типа сборки существует несколько классов.

Основные классы:

- класс А – ЭРИ монтируемого в отверстия;
- класс В – монтируются ПМК;
- класс С – смешанная сборка (монтируются ЭРИ в отверстия и ПМК).

Каждому типу сборок соответствует своя последовательность сборочно-монтажных операций [3, с. 80,81].

### 3.3.2. Выбор типа конструкции печатной платы

По ГОСТ 23751-86 предусмотрены следующие типы конструкции ПП:

- односторонние ПП;
- двухсторонние ПП;
- многослойные ПП;
- гибкие ПП, ГПП, гибко-жесткие ПП (ГЖП) и гибкие ПП (ГПК);

- проводные печатные платы.

В зависимости от условий эксплуатации ЭА конструктор определяет группу жесткости и соответствующие ей требования к конструкции ПП, материалу основания и необходимости применения дополнительной защиты от климатических, механических и других воздействий.

Группы жесткости для ПП в зависимости от воздействующих факторов по ГОСТ 23752-79 приведены в таблице 3.2. [3, с. 35].

Таблица 3.2.

Допустимые значения воздействующих факторов по группам жесткости.

Воздействующий фактор	Группа жесткости			
	1	2	3	4
Температура, К/°С	Верхнее значение			
	328/55	358/85	373/100	393/120
	Нижнее значение			
	248/-25	233/-40		213/-60
Относительная влажность, %	При температуре до 308К/35 °С		При температуре до 313К/40°С	
	75	98	98	
Перепад температур, К/°С	От 248/-25 до 328/+55	От 233/-40 до 358/+85	От 213/-60 до 373/+100	От 213/-60 до 393/+120
Атмосферное давление, Па (мм рт.ст.)	86 000...106000 (630...800)	53600 (400)		666 (5)

### 3.3.3. Выбор класса точности ПП

ГОСТ 23751-86 устанавливает пять классов точности выполнения элементов конструкции ПП, каждый из которых характеризуется минимальным допустимым значением номинальной ширины проводника ( $t$ ), расстоянием между проводниками ( $S$ ), расстоянием от края просверленного отверстия до края контактной площадки, ширины контактной площадки ( $b$ ), отношением диаметра отверстия к толщине ПП ( $\gamma$ ), а также допусками на ширину печатного проводника, контактной площадки, концевого печатного контакта ( $\Delta t$ ) и на взаимное расположение соседних элементов проводящего рисунка ( $T_1$ ) (см. таблицу 3.3., взятую из [3, с. 25]).

Основными критериями при выборе класса точности ПП являются:

- конструкторская сложность – степень насыщенности поверхности ПП ЭРИ при традиционной элементной базе или число выводов ПМК и шаг их расположения;
- элементная база (дискретные ЭРЭ, ИМС, МСБ, ПМК, бескорпусные ИЭТ);
- тип, число и шаг выводов ЭРИ (штыревые, планарные, безвыводные, j - образные, матричные и пр.);
- быстродействие;
- надежность;
- массогабаритные характеристики;
- стоимость;

- условия эксплуатации;
- максимальные ток и напряжение;
- уровень технологического оснащения конкретного производства.

Таблица 3.3.

Наименьшие номинальные значения основных параметров  
для классов точности ПП

Условные обозначения элементов печатного монтажа	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
$t$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$S$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$b$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma = d/H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
$\Delta t$ , мм (без покрытия)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03
$\Delta t$ , мм (с покрытием)	+0,25; - 0,20	+0,15; - 0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
$T_b$ , мм – ОПП, ДПП, МПП (наружный слой)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02
$T_b$ , мм – МПП (внутренний слой)	0,30	0,15	0,10	0,08	0,05

ПП 1 и 2 классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость; для ПП 3 класса точности необходимо использовать высококачественные материалы, более точный инструмент и оборудование; для ПП 4 и 5 классов – специальные материалы, прецизионное оборудование, особые условия при изготовлении.

В связи с продолжающейся микроминимизацией ЭА названный выше ГОСТ 23751-86, пришедший на смену ГОСТу 23751-79 уже не вполне удовлетворяет современным требованиям. Так, в настоящее время изготавливают ПП по 6 и 7 классам точности с шириной проводников 70...40 мкм [3, с. 83].

#### 3.3.4. Выбор метода изготовления ПП

Разработка технологии изготовления ПП в работе не предполагается, однако студенту рекомендуется выбрать метод изготовления, поскольку он непосредственно связан с типом конструкции, классом точности ПП и характером элементной базы.

При выборе метода рекомендуется пользоваться таблицей, помещенной в [3, с. 86-87].

#### 3.3.5. Выбор материала основания ПП

При выборе материала основания ПП особого внимания требуют:

- предполагаемое механическое воздействие (вибрации, удары, линейные ускорения);
- класс точности ПП (ширина проводников, расстояние между проводниками);
- реализуемые печатным узлом электрические функции;
- объект, на котором устанавливается ЭА;

- быстродействие (частотный спектр сигналов, передаваемых в пределах платы);
- климатические условия эксплуатации;
- стоимость;
- экологическая чистота и безопасность материала для человека и окружающей среды.

Для изготовления оснований ПП используются фольгированные или нефольгированные диэлектрики, керамические или металлические с поверхностным диэлектрическим слоем материалы. При изготовлении МПП используются также склеивающие прокладки - препреги.

В практике проектирования ЭА в качестве материалов основания ПП наибольшее распространение получили следующие фольгированные и нефольгированные диэлектрики:

- гетинакс;
- стеклотекстолит;
- полиимид.

Реже используются лавсан (полиэтилентерефталат) и фторопласт.

Основные характеристики материалов оснований ПП можно найти в [3, с. 45-46]. Марки и толщина производимых в России материалов приведены в таблице [3, с. 43-44], также в [5, с.239-240]).

В наименовании марки материала буквы означают: С – стеклотекстолит; Г-гетинакс; Т – теплостойкий; Н – негорючий или нормированной горючести; Ф – фольгированный; 1 – 2 – облицованный фольгой с одной или двух сторон; цифры 5,9,12, 18, 35, 50, 70, 100, 105 – толщину фольги в мкм.

Наименования, характеристики и область применения импортных материалов фирмы ISOLA (Германия), а также основные параметры материалов этой фирмы можно найти в таблице [3, с. 57 - 59].

При выборе толщины фольги следуют исходить из того, что ее увеличение приводит к увеличению площади поперечного сечения печатных проводников и целесообразно в платах сильноточной аппаратуры.

Материалы с тонкой фольгой позволяют экономить медь, химреактивы для ее травления и находят применение в цифровой микроэлектронной аппаратуре.

Чаще используют фольгированные материалы с толщиной фольги 35 и 50 мкм.

### 3.3.6. Определение габаритных размеров ПП

На данном этапе определяется форма и размеры ПП в плане и ее толщина.

Если в задании на проектирование указана конструкционная система, в которой должно быть выполнено устройство, или заданы габариты ПП, то необходимо выбрать форму и размеры ПП, принятые в этой системе или указанные в задании. Размеры ПП ячеек (печатных узлов), устанавливаемых в аппаратуру с применением унифицированных базовых несущих конструкций (УНБК) приведены в ОСТ 4ГО.410.223 (170×75; 170×110; 170×150; 170×200) и в международных стандартах.

Если габаритные размеры ПП не заданы, необходимо:

- выбрать (рассчитать) типоразмер ПП;
- скомпоновать конструкторско-технологические зоны для размещения на ПП ЭРИ и ПМК, элементов контроля функционирования, элементов

- электрического соединения (например, соединителя), элементов крепления, элементов фиксации ячейки в модулях более высокого конструктивного уровня;
- выбрать толщину ПП;
- определить число слоев и толщину МПП.

На ранних стадиях проектирования и при разработке моноконструкции ПУ площадь ПП  $S_{\Sigma}$  можно определить по формуле [1, с. 129]

$$S_{\Sigma} = K_{S\Sigma} \sum_{i=1}^n S_{yi} + S_B, \quad (3.1)$$

где  $S_{yi}$  - установочная площадь  $i$ -го ЭРИ, ПМК;

$K_{S\Sigma}$  - коэффициент дезинтеграции;

$n$  - количество ЭРИ, ПМК;

$S_B$  - площадь вспомогательных зон, предназначенных для размещения соединителей, направляющих, элементов фиксации, индикации и т.д.

Установочную площадь компонента находят как площадь прямоугольника, размеры которого определяются внешними предельными очертаниями установочной проекции компонента на поверхность ПП, включая отформованные выводы.

Коэффициент  $K_{S\Sigma}$  в формуле (3.1) учитывает тот факт, что на плате должны разместиться не только основные компоненты, но также печатные проводники и вспомогательные зоны для установки других элементов, указанных выше. Кроме того, должны быть обеспечены необходимые зазоры между корпусами соседних ЭРИ и ПМК для обеспечения теплоотвода, доступности к элементам роботов и манипуляторов. Величина коэффициента  $K_{S\Sigma}$  берется в пределах 1-3 в зависимости от назначения, условий эксплуатации и метода сборки проектируемого ПУ.

Расстояние между корпусами двух соседних ЭРИ на ПП должно быть не менее 1 мм, а расстояние по торцу - не менее 1,5 мм.

При проектировании ПП необходимо стремиться к тому, чтобы в пределах платы все линии связи были электрически короткими [1]. Наибольшую длину на плате будет иметь проводник, связывающий контакты в двух противоположных углах платы. Считая, что любые участки такого проводника параллельны сторонам платы, максимальную длину проводника можно определить как сумму двух разных сторон ПП

$$L_{\max} = a + b, \quad (3.2)$$

где  $a$  и  $b$  - длины сторон ПП.

Полученное значение  $L_{\max}$  сравнивают с длиной волны  $\lambda$  самой высокочастотной составляющей спектра сигналов, передаваемых в пределах платы.

Если  $L_{\max} \leq \lambda$ , то все линии связи на плате считаются электрически короткими.

Для цифровых устройств можно воспользоваться другим правилом, не требующими определения частотного спектра сигналов. Определяется время распространения сигнала по самой длинной в пределах платы линии связи  $t_{l\max}$

и сравнивается с длительностью фронта импульсов передаваемых сигналов  $\tau_{\phi}$ . Линии считаются электрически короткими, если  $t_{lmax} < 0,1\tau_{\phi}$ . Величина  $\tau_{\phi}$  берется из справочных данных на цифровые микросхемы выбранной серии (время переключения).

Зная площадь ПП, максимально допустимую длину проводника, задаваясь соотношением сторон ПП, выбирают ее линейные размеры, руководствуясь ГОСТ 10317-79 (табл. 3.4).

Таблица 3.4.

Линейные размеры ПП

Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
20	30	60	90	100	120	140	150
	40		100		130		200
30	40		140	110	150	150	150
		160	170		170		
40	60	75	75	120	120		180
45	75		90		140	200	
	80		170		150	170	
50	60	80	130	120	160	160	200
	80		140		170	180	
	100	90	90		180	170	200
	150		120		288	280	
60	60	90	150	130	200	200	360
	80		170				

Соотношение линейных размеров сторон ПП должно быть 1:1; 2:1. Предельные отклонения на сопрягаемые размеры контура ПП должны быть не выше 12 квалитета, на несопрягаемые – не выше 14 квалитета по ГОСТ 25347-82.

3.3.7. Расчет элементов проводящего рисунка ПП

3.3.7.1. Номинальный диаметр  $d$  монтажных металлизированных и неметаллизированных отверстий устанавливают из следующего соотношения:

$$d - |\Delta d_{но}| \geq d_{э} + r, \tag{3.3}$$

где  $\Delta d_{но}$  - нижнее предельное отклонение диаметра отверстия (определяется по табл. 3.5);

$d_{э}$  - максимальное значение диаметра вывода ЭРИ, устанавливаемого на ПП (для прямоугольного вывода за диаметр принимается диагональ его сечения);

$r$  - разность (гарантированный зазор) между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным диаметром вывода устанавливаемого ЭРИ; ее выбирают в пределах 0,1...0,4 мм при ручной установке ЭРИ и в пределах 0,4...0,5 мм – при автоматической).

Расчетное значение  $d$  следует округлить в сторону увеличения до целых десятых долей миллиметра из ряда предпочтительных диаметров отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм.

Далее следует убедиться в том, что полученный диаметр металлизированного монтажного отверстия не меньше, чем минимально допустимый диаметр  $d_0$  для данной толщины ПП. Диаметр  $d_0$  определяют из соотношения

$$d_0 \geq H \cdot \gamma, \quad (3.4)$$

где  $H$  - толщина ПП;

$\gamma$  - отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине ПП (см. табл. 3.3).

3.3.7.2. Ширина печатного проводника зависит от электрических, конструктивных и технологических требований.

Для проводников, формирующих сигнальные цепи, главным являются требования по тепловыделениям. Необходимо, чтобы перегрев проводника относительно окружающей среды за счет выделяющегося в нем джоулевого тепла не превысил допустимого уровня.

При расчетах ширины печатного проводника сечение проводника принимается прямоугольным, факт искажения сечения за счет подтравливания во внимание не принимается.

Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника  $t$ , мм, рассчитывают по формуле

$$t = t_{\min D} + |\Delta t_{\text{но}}|, \quad (3.5)$$

где  $t_{\min D}$  - минимально допустимая ширина проводника, рассчитываемая в зависимости от допустимой плотности тока (токовой нагрузки);

$\Delta t_{\text{но}}$  - нижнее предельное отклонение ширины печатного проводника (см. табл. 3.3).

Величину  $t_{\min D}$  определяют по формуле

$$t_{\min D} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot h}, \quad (3.6)$$

где  $I_{\max}$  – действующее значение максимального тока, протекающего в проводниках (определяют из анализа электрической принципиальной схемы);

$j_{\text{доп}}$  – допустимая плотность тока;

$h$  – толщина печатного проводника.

Значение допустимой плотности тока выбирается:

- для медной фольги -  $(100 \dots 250) \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> ( $100 \dots 250$  А/мм<sup>2</sup>);

- для гальванической меди -  $(60 \dots 100) \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> ( $60 \dots 100$  А/мм<sup>2</sup>).

Как видно, допустимая плотность тока в данном случае более чем на порядок превосходит таковую в обмотках трансформаторов, дросселей и других подобных устройств, поскольку конструкция печатного проводника обеспечивает почти идеальные условия теплоотвода.

Более конкретные значения допустимой плотности тока в печатных проводниках можно найти в таблице [3, с.112].

Для проводников, формирующих шины питания и общего провода, кроме требований по тепловыделениям, учитывают требования по падению напряжения на них и обеспечения электромагнитной совместимости

(уменьшения кондуктивных паразитных связей). Как правило, требования, накладываемые на ширину печатного проводника исходя из допустимого уровня падения напряжения на нем и кондуктивных паразитных связей, являются более жесткими по сравнению с требованиями по тепловыделениям.

Минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого падения напряжения на нем  $U_{don}$ , если конструкция проводника состоит из одного слоя меди, определяют следующим образом:

$$t_{minD} = \frac{\rho I_{max} l}{h U_{don}}, \quad (3.7)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление слоя меди (см. табл. 3.6) [3, с.113];

$l$  – максимально допустимая длина проводника (задается схемотехником, исходя из частотных характеристик ПУ).

Броски тока, вызванные работой цифрового устройства, вызовут броски питающего напряжения, если не предусмотреть блокирующие конденсаторы по цепям питания. Поэтому необходимо, чтобы  $U_{don} \leq U_{зпв}$  (здесь  $U_{зпв}$  - запас помехоустойчивости ИМС, определяемый по справочнику). При выполнении учебных расчетов можно принять  $U_{don} = (0,1...0,2)U_{п}$  (здесь  $U_{п}$  - напряжение питания ИМС) [3, с.113].

Таблица 3.5.

Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий

Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Предельные отклонения диаметра $\Delta d_{но}$ , $\Delta d_{во}$ , мм				
		по классам точности				
		1	2	3	4	5
До 1,0 включительно	Без металлизации	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,0025$
	С металлизацией без оплавления	+0,05 -0,15	+0,05 -0,15	0; -0,10	0; -0,10	0; -0,075
	С металлизацией с оплавлением	+0,05 -0,18	+0,05 -0,12	0; -0,13	0; -0,13	0; -0,13
Свыше 1,0	Без металлизации	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	С металлизацией без оплавления	+0,10 -0,20	+0,10 -0,20	+0,05 -0,15	+0,05 -0,15	+0,05 -0,15
	С металлизацией с оплавлением	+0,10 -0,23	+0,10 -0,23	+0,05 -0,18	+0,05 -0,18	+0,03 -0,18

Таблица 3.6.

Удельное объемное сопротивление различных металлов

Металл	Удельное объемное сопротивление, $\times 10^{-8}$ , Ом·м
Медная фольга	1,72
Гальваническая медь	1,90
Химическая медь	2,80
Олово	12,00
Серебро	1,59
Золото	2,22
Никель	7,80
Палладий	10,80



Если конструкция проводника состоит из нескольких слоев меди и дополнительного покрытия, удельные сопротивления которых значительно отличаются одно от другого, и их толщины соизмеримы, то минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого падения напряжения на нем рассчитывают по формуле

$$t_{\min D} = \frac{I_{\max} \sum_{i=1}^k \rho_i / h_i}{U_{\text{дон}}}, \quad (3.8)$$

где  $h_i$  и  $\rho_i$  - толщина и удельное объемное сопротивление  $i$ -го слоя проводника (табл. 3.6);  $k$  - число слоев.

Допустимую плотность тока рекомендуется умешать:

- на 15% для печатных проводников, расположенных на расстоянии, равном или меньшем их ширины;

- на 40% для печатных проводников из гальванической меди на тонкомерной фольге;

- в 2 раза для печатных проводников из химически осажденной меди по аддитивной технологии.

3.3.7.3. Размеры контактных площадок назначаются в результате поиска компромисса между стремлением обеспечить надежность закрепления компонента, с одной стороны и стремлением уменьшить площадь, занимаемую площадкой, - с другой. Контактные площадки могут иметь различную форму.

При использовании ЭРИ со штыревыми выводами предпочтительной является круглая форма. Квадратную форму контактной площадки часто применяют для того, чтобы обозначить монтажные отверстия под вывод микросхемы с номером 1 и тем самым облегчить сборку печатного узла.

Наименьшее номинальное значение диаметра контактной площадки определяют по формуле [3, с.114]

$$D = d + \Delta d_{BO} + 2b + \Delta t_{BO} + 2\Delta d_{mp} + [T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{HO}^2]^{0.5}, \quad (3.9)$$

где  $\Delta d_{BO}$  - верхнее предельное отклонение диаметра отверстия (см. табл. 3.5);

$b$  - гарантийный поясок (см. табл. 3.3);

$\Delta d_{mp}$  - величина подтравливания диэлектрика в отверстии (0,03 мм – для МПП, 0 – для ОПП, ДПП, ГПК);

$t_{BO}$  - верхнее предельное отклонение ширины проводника (см. табл. 3.3; берется приведенное со знаком плюс значение  $\Delta t$ );

$t_{HO}$  - нижнее предельное отклонение ширины проводника (см. табл. 3.3; берется приведенное со знаком минус значение  $\Delta t$ ).

$T_d$  - позиционный допуск расположения осей монтажных отверстий (см. табл. 3.7);

$T_D$  - позиционный допуск расположения центров КП (см. табл. 3.8).

Таблица 3.7.

Позиционные допуски расположения осей монтажных отверстий ( $T_d$ )

Размер ПП по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения отверстий ( $T_d$ ), мм, по классам точности				
	1	2	3	4	5
До 180 включительно	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
Свыше 180 до 360 включительно	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
Свыше 360	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10

Таблица 3.8.

Позиционные допуски расположения центров КП ( $T_D$ )

Вид изделия	Размер ПП по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения центров КП ( $T_D$ ), мм, по классам точности				
		1	2	3	4	5
ОПП, ДПП, ГПК, МПП (наружный слой)	До 180 включительно	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
	Свыше 180 до 360 включительно	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
	Свыше 360	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
МПП (внутренний слой)	До 180 включительно	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
	Свыше 180 до 360 включительно	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
	Свыше 360	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

Расчетное значение диаметра контактной площадки следует округлить в большую сторону до десятых долей миллиметра.

Для контактных площадок с формой, отличной от круглой, минимальный диаметр определяется диаметром вписанной окружности с центром в узле координатной сетки.

При расчете диаметра площадки под отверстие с зенковкой вместо значения  $d$  и  $\Delta d_{BO}$  в формуле (3.9) следует подставлять диаметр зенковки  $d_z$  и верхнее предельное отклонение диаметра зенковки  $\Delta d_{BOZ}$ .

При выполнении проекта студент может определить наименьшее номинальное значение диаметра контактной площади  $D$ , рассчитав его по формуле (3.9) или взять его из таблицы, приведенной в [3, с.114-115].

Конструктор вправе назначить диаметр контактной площади больше, чем  $D$ , если посчитает это целесообразным.

Варианты решения проблемы узких мест на плате представлены на рис.3.1.

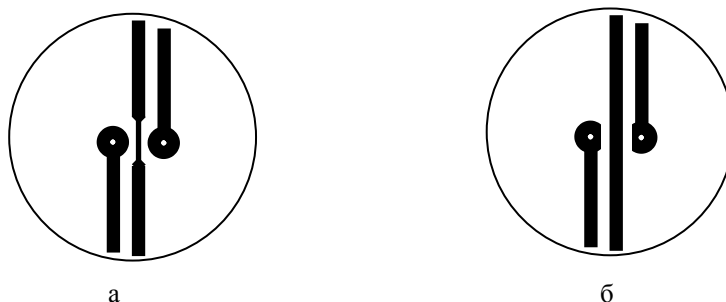


Рис.3.1. Варианты решения проблемы узких мест ПП:

а – путем заужения печатного проводника; б – путем заужения контактных площадок

При использовании поверхностно-монтируемых компонентов контактные площадки выбирают в форме прямоугольника или в форме, полученной объединением прямоугольника и двух полукругов вдоль коротких сторон, при этом  $R = \frac{b}{2}$  (рис. 3.2).

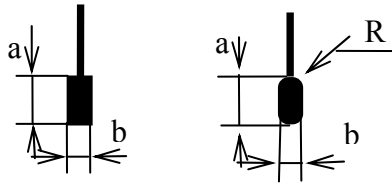


Рис. 3.2. Формы контактных площадок для установки ПМК

Значения обозначенных на рисунке 3.2 размеров, а также взаимное расположение контактных площадок для установки конкретного ПМК берут из стандартов (русские компоненты) или рекомендаций фирм-разработчиков этих компонентов (зарубежные компоненты) [3, с.462-477]. При этом контактная площадка должна быть привязана к координатной сетке. Продольная осевая линия площадки прямоугольной формы должна совпадать с линией сетки. Короткие стороны такой площадки также должны совпадать с линиями сетки (т.е., размер  $a$  у площадки прямоугольной формы должен быть кратным шагу сетки). У площадки с закругленными концами продольная ось также должна совпадать с линией сетки, а центры закруглений должны располагаться на пересечении линий сетки.

3.3.7.4. Расстояние между элементами проводящего рисунка устанавливают в зависимости от электрических, конструктивных и технологических требований.

Наименьшее номинальное расстояние  $S$  между элементами проводящего рисунка (между двумя проводниками)

$$S = S_{\min D} + \Delta t_{BO} + \frac{T_l}{2}. \quad (3.10)$$

Здесь  $T_l$  - позиционный допуск расположения печатных проводников относительно соседнего элемента проводящего рисунка, который учитывается лишь при наличии проводников в узком месте (см. табл. 3.3);  $\Delta t_{BO}$  - верхнее предельное отклонение ширины проводника (см. табл. 3.3);  $S_{\min D}$  - минимально допустимое расстояние между двумя соседними проводниками.

Величина  $S_{\min D}$  зависит от приложенного напряжения и условий эксплуатации и выбирается по табл. 3.9. и 3.10. [3, с.31,32].

Допустимое рабочее напряжение между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП, включая ГПК, зависит от расстояния между ними, материала основания ПП и не должно превышать значений, приведенных в табл. 3.9.

Таблица 3.9.

Значения рабочего напряжения в зависимости от расстояния между элементами рисунка, расположенными в соседних слоях.

Расстояние между элементами рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	
	Фольгированный гетинакс	Фольгированный стеклотекстолит
От 0,1 до 0,2 включительно	-	25
»0,2    »0,3    »	-	50
»0,3    »0,4    »	75	100
»0,4    »0,5    »	150	200
»0,5    »0,75    »	250	350
»0,75    »1,5    »	350	500
»1,5    »2,5    »	500	650

Допустимые рабочие напряжения между элементами проводящего рисунка находящимися на наружном слое ПП, зависят от расстояния между элементами печатного монтажа, материала основания ПП, от условий эксплуатации и не должны превышать значений, приведенных в табл. 3.10.

### 3.3.8. Размещение ЭРИ

Размещение ЭРИ на плате предшествует трассировке линий связи и во многом определяет эффективность трассировки.

Элементы следует размещать так, чтобы, с одной стороны, была обеспечена наибольшая плотность элементов на плате, а с другой - обеспечены наилучшие условия для трассировки, электромагнитная и тепловая совместимость, автоматизация сборки, контактирования и контроля. Поскольку многие из перечисленных требований противоречивы, конструктор должен определить приоритеты в зависимости от вида, назначения, условий эксплуатации и других факторов, указанных в техническом задании на проектирование.

Посадочные места всех ЭРИ, размещенных на плате, должны быть привязаны к координатной сетке – ортогональной сетке, определяющей места расположения соединений ЭРИ с ПП. Подробнее о координационной сетке см. п.3.6.3.

Начать следует с разделения всей площади ПП на следующие конструкторско-технологические зоны:

- зона размещения ЭРИ;
- зона размещения элементов электрического соединения ПУ со схемой прибора или блока (соединителя, монтажных лепестков, контактных площадок, колодок для установки гибких печатных кабелей, тканых или опрессованных плоских ленточных проводов);

- зона расположения элементов крепления ячейки и контроля (контрольные колодки с контактными площадками и штырями, одиночные пистоны и контакты);

- зоны, предназначенные для установки печатного узла в блок;

- зона для размещения дополнительных элементов крепления узла (при необходимости).

Далее следует разместить элементы электрического соединения данного ПУ с внешними устройствами. Указанную электрическую связь осуществляют применением контактных соединений двух видов: неразъемных (выполняемых пайкой, сваркой, накруткой, обжимкой) и разъемных (выполняемых различными типами электрических соединителей).

Таблица 3.10.

Значения рабочего напряжения в зависимости от расстояния между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое.

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значения рабочего напряжения, В							
	при нормальных условиях		При относительной влажности (93±3)% и температуре (40±2)°С в течение 48 ч		при пониженном атмосферном давлении			
					53600 Па (400 мм рт. ст.)		666 Па (5 мм рт. ст.)	
	ГФ*	СФ**	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ
От 0,1 до 0,2	-	25	-	15	-	20	-	10
»0,2 »0,3	30	50	20	30	25	40	20	30
»0,3 »0,4	100	150	50	100	80	110	30	50
»0,4 »0,7	150	300	100	200	110	160	58	80
»0,7 »1,2	300	400	230	300	160	200	80	100
»1,2 »2,0	400	600	300	360	200	300	100	130
»2,0 »3,5	500	830	360	430	250	400	110	160
»3,5 »5,0	660	1160	500	600	330	560	150	210
»5,0 »7,5	1000	1500	660	830	500	660	200	250
»7,5 »10,0	1300	2000	830	1160	560	1000	230	300
»10,0 »15,0	1800	2300	1160	1600	660	1160	300	330

\*Гетинакс фольгированный.

\*\*Стеклотекстолит фольгированный.

В первом случае электрические соединения платы с проводами, жгутами и плоскими ленточными проводами могут быть получены с помощью монтажных лепестков – штырей, впаянных в металлизированные отверстия на ПП, пустотелых заклепок, обычных металлизированных монтажных отверстий либо специальных контактных площадок (для ленточных кабелей и шлейфов).

Во втором случае используются электрические соединители косвенного или прямого сочленения. В соединителях прямого сочленения на плате выполняют печатные концевые контакты, которые при установке печатного

узла в блок соединяются с розеткой. Соединители косвенного сочленения устанавливаются и крепятся на ПП с помощью винтов или другим предусмотренным конструкцией соединителя способом. Если тип соединителя в задании на проектирование не указан, его выбор должен сделать студент.

При выборе типа электрического соединения учитывают назначение соединителя, электрические параметры и их предельные значения, в частности, диапазон частот, максимальный рабочий ток и рабочее напряжение, условия эксплуатации, габариты, массу, надежность, совместимость с элементной базой, количество контактов. Некоторые справочные данные по отечественным и зарубежным соединителям можно найти на [3, с.97-102; 480-489].

При размещении ЭРИ на плате аналогового устройства определяющим требованием, как правило, является обеспечение электромагнитной совместимости. Поэтому компоненты аналоговой схемы следует располагать на плате в последовательности, в которой они изображены на схеме<sup>\*</sup>; компоненты, относящиеся к одному каскаду, должны быть расположены ближе к осевой линии, общей для каскада. Каскады должны размещаться один за другим по ходу прохождения сигнала. Вход и выход схемы должны быть максимально разнесены во избежание возникновения паразитных связей и изменения параметров усилительных каскадов. Не допускается менять местами расположение элементов различных каскадов.

В связи с большим разнообразием форм и размеров компонентов аналоговых устройств фиксированные места для компонентов на плате не выделяются.

При размещении компонентов цифровых узлов основным требованием является обеспечение наилучших условий для трассировки и автоматизации сборки. Как правило, используется регулярная структура фиксированных посадочных мест. Например, элементы размещаются на плате рядами с определенным шагом. Шаг размещения элементов указан в нормативной документации на них (например, на серию микросхем). Всю цифровую схему делят на группы тесно связанных между собой (т.е. имеющих большое число связей) элементов. Группу, которая имеет наибольшее число связей с соединителями или контактными площадками внешних связей, размещают ближе к ним. Затем размещают группу, которая имеет наибольшее число связей с первой и т.д. В цифровых узлах отдельные логические элементы можно менять местами, поскольку это существенно не снижает их помехоустойчивость.

### 3.3.9 Трассировка ПП

Трассировка может выполняться вручную или с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) ПП.

При ручной трассировке (разводке) ПП исходным документом является схема электрическая принципиальная, вычерченная без использования жгутов (шин) проводников. При трассировке ПП с количеством слоев два и более печатные проводники, расположенные в одном слое изображаются линиями одного цвета, проводники другого слоя – другого цвета. Изображение платы

---

<sup>\*</sup> Здесь предполагается, что схема электрическая принципиальная выполнена правильно, т.е. правильно размещены элементы схемы.

выполняют в увеличенном масштабе. Первым шагом является нанесение сетки и местоположений монтажных отверстий и контактных площадок поверхностно-монтируемых компонентов.

Следует стремиться к оптимальному варианту, при котором обеспечивается минимальная длина проводников и количество переходов проводника с одного слоя на другой. В случае невозможности получить приемлемый вариант разводки необходимо вернуться к этапу размещения элементов и внести изменения в расположение элементов на плате.

При использовании САПР ПП трассировка соединений производится с использованием алгоритмических методов, классификацию которых можно найти в [3, с. 122].

### **3.4. Системы автоматизированного проектирования ПП**

Система автоматизированного проектирования (САПР) ПП представляет собой сложный комплекс технических средств, операторов и обеспечения: методического, математического, лингвистического, информационного и организационного. САПР ПП применяются для автоматизации проектирования и подготовки производства ПП, начиная с прорисовки электрической принципиальной схемы, размещения ЭРИ, ПМК и других этапов, трассировки соединений и заканчивая выводом на печать конструкторской и технологической документации на ПП и разработкой управляющих файлов для сверлильно-фрезерных станков, фотоплоттеров, фотокоординатографов. Таким образом, САПР ПП представляют собой сквозные системы конструкторского и технологического проектирования.

Студент должен сам решить, какие методы проектирования - ручные или автоматизированные использовать при разработке печатного узла. Решающими факторами при выборе метода являются сложность печатного узла (конструкция ПП, класс точности, размер), наличие навыков ручной трассировки, уровень владения методами автоматизированного проектирования.

### **3.5. Анализ печатного узла на электромагнитную и тепловую совместимость и стойкость к механическим воздействиям**

После размещения компонентов и трассировки соединений ПП целесообразно провести названный анализ путем выполнения поверочных расчетов, чтобы выявить недостатки и внести необходимые коррективы\*. Рекомендуется выполнить:

- анализ электромагнитной совместимости (в литературе эта проблема называется также проверкой целостности сигналов и перекрестных искажений в высокочастотных схемах);
- расчет вибропрочности;
- расчет ударопрочности;

---

\* При выполнении выпускной квалификационной работы поверочные расчеты ПП следует производить только при наличии такого требования со стороны руководителя проектирования и консультанта по конструкторской части проекта.

- тепловой анализ печатного узла;
- расчет надежности\*\*.

Для анализа электромагнитной совместимости и тепловой совместимости можно использовать программные продукты ряда фирм, краткие характеристики которых можно найти в [3, с. 133, 142, 143].

Методики расчетов на действие вибрации и удара и расчета теплового режима с примерами приведены в [3, с. 512-523].

### **3.6. Оформление сборочного чертежа ПУ и чертежа ПШ**

#### **3.6.1. Сборочный чертеж печатного узла**

Печатный узел – сборочная единица. Сборочный чертеж на печатный узел должен выполняться в соответствии с ГОСТ.

Сборочный чертеж печатного узла (ячейки) выполняется в масштабе 1:1, 2:1, 2.5:1 или 4:1. Формат листа (листов), на котором размещается чертеж, количество листов и масштаб определяются разработчиком в зависимости от габаритов ПУ и степени его сложности. Сборочный чертеж в дальнейшем используется технологами для разработки технологического процесса сборки, поэтому он должен давать полное представление о составе сборочной единицы, взаимном расположении ее элементов и способов установки и крепления этих элементов. На чертеже должны быть обозначены все места паек. Для этого на чертеже изображаются проекции узла, а при необходимости – разрезы, виды по стрелке. На чертеже наносят габаритные, установочные и присоединительные размеры. Всем элементам должны быть присвоены позиционные обозначения.

Вместе с тем, печатный узел, как сборочная единица обладает рядом особенностей, отличающих его от других изделий машиностроения и приборостроения. В частности, узел представляет собой, как правило, печатную плату (по форме - пластину), на которой установлено большое количество элементов, основная часть из которых - стандартные ЭРИ. По этой причине детальная прорисовка на проекциях всех элементов и фрагментов узла не только не способствует быстрому уяснению вопросов, важных для технологов, но и, наоборот, затеняет чертеж и усложняют его чтение. Основную информацию содержит проекция узла, где печатная плата изображена в плане. Виды сбоку менее информативны. Поэтому на виде сбоку печатного узла допускается ЭРИ не прорисовывать, а обозначить лишь зону размещения ЭРИ с выделением, при необходимости, компонентов, определяющих максимальную высоту печатного узла.

Электрорадиоизделия изображаются упрощенно по ГОСТу. Печатные проводники и переходные отверстия не изображаются. Сборочный чертеж должен давать полное представление о размещении, способах установки и крепления всех без исключения компонентов.

При выборе способа установки компонентов должны приниматься во внимание объект установки и условия эксплуатации узла. Конструктор может воспользоваться вариантами установки, предусмотренными действующими ГОСТами, ОСТАми и ТУ, либо предложить другой способ. В первом случае

---

\*\* Расчет надежности спроектированного печатного узла является обязательной составной частью раздела «Конструирование. Расчет надежности».



варианты установки указываются в технических требованиях на сборочном чертеже. Во втором случае помещаются местные разрезы или виды по стрелке, дающие полное представление о способе установки и крепления данного компонента.

Всем элементам печатного узла должны быть присвоены позиционные обозначения. Однако, поскольку элементам схмотехники на схеме электрической принципиальной ранее уже были присвоены обозначения, допускается на сборочных чертежах указывать только эти обозначения.

Соответствие этих обозначений присвоенным номерам позиций элементов определяется по спецификации, в которой в колонке «Поз» проставляются по нарастающей номера позиций элементов, а в колонке «Примечание» - обозначение этих же элементов на схеме электрической принципиальной.

У элементов, не относящихся к числу элементов схмотехники (печатная плата, установочные и крепежные детали, отдельные объемные проводники и пр.) номера позиций указываются в соответствии с общими требованиями на сборочный чертеж.

На свободном поле листа, как правило, над штампом помещаются технические требования (ТТ) на сборочный чертеж. В требованиях содержится та информация, которую конструктор желает довести до технолога и которую передать с помощью изображений проекций, разрезов, видов, условных обозначений нельзя. Это текст, разбитый на пункты.

Ниже приводятся примеры записи пунктов технических требований на сборочный чертеж.

1. Электромонтаж выполнять согласно АБВГ. XXXXXX.021ЭЗ.
2. \*Размеры для справок.
3. Установку элементов производить в соответствии с ОСТ4. ГО.010.30-81:
  - элементы поз. 8,9,11..16,21 - по варианту Па, высота установки  $3^{+1}$  мм;
  - элементы поз. 18, 23 – по варианту Va;
  - элементы поз. 38...46- по варианту VШа;
  - остальные - по чертежу.
4. Паять припоем ПОС - 61 ГОСТ 21931-76.
5. Элементы поз. 18, 23 ставить на клей ВК-9 ОСТ4 ГО.029.204.
6. Высота выступающих концов выводов не более 1 мм.
7. Резьбовые соединения контрить эмалью ЭП-51 красной ОСТ 3-6326-87.
8. Плату покрыть лаком УР-231 ТУ 6-10-863-84. Деталь поз. 2, резисторы R1-R6, лепестки 1-12 от покрытия предохранить.
9. Печатные проводники условно не показаны.
10. Заводской номер маркировать краской ЧМ, черный, ТУ 029-02-859-78. Шрифт 2,5 по НО.010.007.
11. Клеймо ОТК.
12. Остальные технические требования по ОСТ 4. ГО.070.015.

Пример выполнения сборочного чертежа печатного узла приведен в приложении П2.

### 3.6.2. Спецификация на сборочный чертеж ПУ

Спецификация представляет собой таблицу, содержащую перечень всех составных частей, входящих в данное изделие, и конструкторских документов,

относящихся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям (деталям, не имеющим составных частей).

Спецификацию выполняют на отдельных листах формата А4 (210×297 мм). На рис. 3.3 показано исполнение листа 1, а на рис. 3.4 – всех последующих.

Если спецификация содержит всего лишь один лист, то в графе штампа «Листов» пишут 1, а в графе «Лист» ничего не указывают.

Спецификация на сборочный чертеж печатного узла состоит из разделов, которые располагаются в следующей последовательности:

- «Документация»;
- «Сборочные единицы»;
- «Детали»;
- «Стандартные изделия»;
- «Прочие изделия»;
- «Материалы»;
- «Комплекты».

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						<u>Документация</u>		
	A1				АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ СБ	Плата задающего генератора	1	
						Сборочный чертеж		
	A1				АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ ЭЗ	Плата задающего геренатора	1	
						Схема электрическая принципиальная		
					АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ ПЭЗ	Плата задающего геренатора		
						Перечень элементов	3	
						<u>Сборочные единицы</u>		
Подп. и дата	A2	1			АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ-01СБ	Трансформатор	1	
						<u>Детали</u>		
	A1	2			АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ-02	Плата печатная	1	
	A4	3			АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ-03	Лепесток	1	
	A4	4			АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ-04	Хомут	2	
Взам.инв.№		5			АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ-05	Шайба	1	
Подп. и дата								
Ине. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ СБ		
	Разраб.					Лит	Лист	Листов
	Пров.						1	4
	Н.контр.							
	Утв.					Плата задающегогенератора		

Рис. 3.3. Образец оформления спецификации на ПУ. Лист 1







Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают тонкой линией. Ниже каждого заголовка должна быть оставлена одна свободная строка, выше - не менее одной.

В разделе «Документация» перечисляется вся документация, относящаяся к проектируемому печатному узлу.

В разделе «Сборочные единицы» перечисляются составные части печатного узла, относящиеся к категории «Сборочные единицы». К ним относятся, например, трансформаторы, дроссели, контурные катушки и другие изделия, на которые разработаны сборочные чертежи. Обозначение сборочного чертежа заносится в графу «Обозначение». Несмотря на то, что разработка таких сборочных чертежей заданием на дипломное проектирование не предусматривается, студент должен присвоить им обозначение и вписать их в соответствующую графу. Если в составе ПУ таких нет, раздел опускается.

В разделе «Детали» перечисляются составные части ПУ, относящиеся к категории «Детали». На них в процессе проектирования разрабатываются чертежи. Обозначения этих чертежей заносятся в графу «Обозначение». К категории «Детали» относятся печатная плата, кронштейны, хомуты и другие детали, специально разработанные для применения в составе ПУ.

В разделе «Стандартные изделия» перечисляются все составные части ПУ, на которые имеются ГОСТы. Это винты, гайки, шайбы, шпильки, штифты и пр. Для изготовления этих деталей не требуются чертежи. Они изготавливаются непосредственно по ГОСТам. Поэтому графа «Обозначение» в данном разделе не заполняется. Изделия заносятся в раздел по алфавиту, по возрастанию диаметра резьбы, по возрастанию номера ГОСТа и т.д. Сначала пишут обозначение, а затем номер ГОСТа. Например: Винт В.1,6-6g ×8.48.016 ГОСТ 17475-72.

В этом же разделе можно помещать перечень ЭРИ и ПМК, если на них имеются ГОСТы. Однако предпочтительнее перечисление ЭРИ и ПМК провести в разделе «Прочие изделия».

В этом случае в разделе «Прочие изделия» в графе «Наименование» для отечественных ЭРИ и ПМК указываются наименование, тип и ТУ, а для импортных - наименование, тип и фирма-производитель. Если по каким-либо причинам ни ТУ, ни фирма-производитель указаны быть не могут, то необходимо указать фирму, где данное ЭРИ можно приобрести.

При заполнении раздела «Прочие изделия» следует руководствоваться следующими правилами:

- изделия записываются в порядке, определяемым их названием (названия выстраиваются в алфавитном порядке), в названии группы сначала записывают имя существительное, а затем имя прилагательное и т.д.;
- перед названием каждой группы оставляют, по меньшей мере, одну свободную строку;
- графы «Формат» и «Обозначение» не заполняют;
- внутри каждой группы ЭРИ или ПМК записывают либо в алфавитном порядке, либо по возрастанию номинала или номера ГОСТа или ТУ;
- номер ГОСТа или ТУ на резисторы, транзисторы и другие ЭРИ, которые при разном номинале имеют одинаковое наименование и одинаковые ТУ или ГОСТ, можно записать вначале, т.е. до начала перечисления

элементов сразу после названия группы и далее его уже не повторять, например

#### Резисторы

C2-33H-0,125 ОЖО.467.093ТУ

C2-33H-0,125-36Ом±10%

C2-33H-0,125-200кОм±10%

и т.д.;

- желателно резервировать строки и номера позиций;
- в графе «Кол» указывают количество элементов с одинаковым номиналом или названием (например, для микросхем); эти ЭРИ или ПМК имеют один номер позиции, который указывают в графе «Поз»;
- в графе «Примечание» указывают обозначение ЭРИ, присвоенное им на схеме электрической принципиальной (ровно столько, сколько перечислено в одной строке), например, VD1-VD6 или VD7 или VD8, VD9;
- в разделе «Материалы» не указывают припой, клей, лак и прочие материалы, количество которых невозможно определить заранее конструктору и оно устанавливается технологами; указания о применении этих материалов дают в ТТ на чертеже.

#### 3.6.3. Чертеж печатной платы

Печатная плата (ПП) - деталь. Номенклатура конструкторских документов на ПП на стадии разработки рабочей документации включает (ГОСТ 2.102-68):

- чертеж ПП;
- сборочный чертеж (для МПП);
- спецификацию (для МПП);
- теоретический чертеж (геометрическая форма ПП и координаты расположения основных частей);
- габаритный чертеж – контурное изображение ПП с габаритными, установочными и присоединительными размерами (может быть совмещен с чертежом ПП);
- упаковочный чертеж;
- технические условия по ГОСТ 2.114-95;
- программу и методику испытаний по ГОСТ 2.106-96;
- таблицы для проверки монтажа и координат отверстий (вместо таблиц допускается включать в комплект КД на ПП программы автоматизированного контроля ПП);
- расчеты;
- инструкции;
- прочие документы;
- эксплуатационные документы.



Ниже излагаются правила выполнения чертежей односторонних и двусторонних ПП. Правила выполнения чертежей многослойных ПП можно найти в [3].

Чертежи однотипных ПП выполняются групповым или базовым способом: по ГОСТ 2.113-75 и ГОСТ 2.417-91. В групповых и базовых конструкторских документах содержатся данные о двух и более ПП, обладающих общими конструктивными признаками при некоторых различиях между собой.

Чертеж ПП может размещаться на листах, число которых может составлять от 1 до 6.

На листе 1 должны присутствовать основные проекции платы без топологического рисунка с габаритными размерами и общетехнические требования. Допускается располагать на листе 1 таблицу контактных площадок и отверстий, а для малогабаритных плат – проекции ПП с топологическим рисунком стороны А или стороны Б, или сторон А и Б.

На листах 2 и 3 располагают топологический рисунок с контактными площадками стороны А и стороны Б соответственно.

На листах 4 и 5 располагают совмещенные слои защиты и маркировки сторон А и Б.

На листе 6 размещается таблица контактных площадок, отверстий и элементов проводящего рисунка.

Если таблицы контактных площадок и отверстий размещены на 1- или 2-м листах комплекта КД, то лист 6 может отсутствовать.

При выполнении дипломного проекта студент должен стремиться разместить чертеж печатной платы на одном листе, совмещая при этом изображение платы с проставленными габаритными размерами и топологический рисунок стороны А или стороны Б (или А и Б).

В этом случае для изображения односторонней ПП достаточно двух ее проекций, а для изображения двухсторонней ПП – трех проекций (вид на сторону А, вид с торца и вид на сторону Б).

Как и на любом чертеже детали на чертеже ПП должны быть проставлены все размеры, содержатся требования по взаимному расположению поверхностей, шероховатости поверхностей; должен быть указан материал.

У ПП почти все размеры являются выполняемыми (исполнительными), т.е. обеспечиваются в процессе ее изготовления. Исключение составляет толщина платы. Этот размер определяется толщиной заготовки - листового диэлектрика, поэтому проставляется справочно (без допуска).

Размеры на чертеже ПП могут быть указаны одним из следующих способов:

- обычным способом, т.е. в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307-68;
- нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат;
- нанесением координатной сетки в полярной системе координат;
- комбинированным способом при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной и полярной системе координат;
- в виде таблицы координат элементов проводящего рисунка.

Ввиду специфических особенностей ПП, как детали (пластина с большим количеством отверстий и контактных площадок), первый способ почти не применяется. Причина состоит в том, что выносные и размерные линии,

используемые при этом способе для указания положений центров отверстий, контактных площадок и их диаметров или ширины при большом количестве отверстий затеняют чертеж и делают его трудночитаемым.

Большее распространение получил комбинированный способ, когда положение центров отверстий и печатных проводников задается координатной сеткой, параметры отверстий контактных площадок - с помощью таблиц, а размеры, определяющие контур ПП – обычным способом.

Идея использования координатной сетки состоит в том, чтобы центры всех отверстий и контактных площадок располагать только на пересечении линий сетки. Тогда для обозначения местоположения отверстия достаточно указать лишь два номера пересекающихся линий сетки. Очевидно, что шаг сетки должен быть увязан с размерами, определяющими расположение выводов размещаемых на плате ЭРИ.

Шаг координатной сетки гарантирует совместимость ПП, ИЭТ, ЭРЭ, изделий квантовой электроники, электротехнических изделий, т.е. всех ЭРИ, которые монтируют в узлах координатной сетки на ПП.

Основным шагом координатной сетки до 1 января 1998 года был шаг 2,5 мм; дополнительными – 1,25; 0,625 мм. С 1 января 1998 года для размещения соединений на ПП основным шагом координатной сетки является шаг 0,50 мм в обоих направлениях. Если сетка с номинальным шагом 0,50 мм не удовлетворяет требованиям конкретной конструкции, то должна применяться сетка с основным шагом 0,05 мм. Для конкретных конструкций, используемых элементную базу с шагом 0,625 мм, допускается применение шага сетки 0,625. Шаг координатной сетки выбирают в соответствии с шагом большинства ЭРИ, устанавливаемых на ПП.

Предпочтительными являются следующие шаги координатной сетки:

- $n \cdot 0,05$  мм при  $n=5, 10, 15, 20, 25$ ;
- $n \cdot 0,5$  мм при  $n=1, 2, 5, 6, 10$ .

Допустимые шаги координатной сетки – дюймовые шаги, которые применяют в конструкции ПП, использующих ЭРИ с шагом, кратным 2,54 мм (2,54 мм; 1,27 мм; 0,635 мм).

Координатную сетку наносят или на всё поле чертежа, или часть поверхности ПП, или рисками по периметру контура ПП, или на некотором расстоянии от него тонкими линиями. Чтобы линии сетки не затеняли чертеж, допускается наносить их через одну или через три. При таком разрежении линий сетки еще можно на глаз без большого напряжения определить номера линий сетки, соответствующие центрам отверстий.

Линии сетки нумеруются. За начало отсчета в прямоугольной системе координат принимают:

- левый или правый нижний угол ПП;
- левую или правую нижнюю точку, образованную линиями построения;
- центр крайнего левого или правого нижнего отверстия.

Шаг координатной сетки в полярной системе координат задают по углу и диаметру.

Круглые контактные площадки с отверстиями, в том числе имеющие зенковку, и контактные площадки произвольной формы, размеры которых не указаны, изображают на чертеже одной окружностью. Размеры и форму

контактных площадок указывают в технических требованиях чертежа. Отверстия, близкие по диаметру, изображают окружностью одного диаметра с обязательным указанием условного знака в соответствии с рис. 3.3.


Условное обозначение	Диаметр отверстия	Форма КП	Диаметр КП $D$ , мм	Наличие металлизации в отверстиях	Количество отверстий
	0,7	Круглая	1,3	Есть	3
	0,9	Квадратная	1,5	Есть	19
	0,9	Круглая	1,5	Есть	251
	1,0	Круглая	1,6	Есть	14
	1,6	Круглая	2,3	Есть	16
	2,5H12	–		Нет	7

Рис. 3.3. Форма таблицы отверстий и контактных площадок на чертеже ПП

В приведенной на рис. 3.3. таблице указывают диаметр отверстия, его условный знак, форму и размеры контактных площадок, наличие металлизации в отверстиях, количество отверстий. Допуски на диаметры отверстий могут быть указаны здесь же, либо в технических требованиях на чертеж.

Проводники на чертеже можно обозначить одной линией, являющейся осью симметрии проводника, или двумя линиями (широкие проводники). Если на плате используются несколько типов печатных проводников различной ширины, то их условные обозначения и ширину указывают в таблице (см. рис. 3.4.).




Условное обозначение	Ширина проводника, мм
	0,3
	0,6
	2,0

Рис. 3.4. Форма таблицы печатных проводников

Если число разновидностей печатных проводников по ширине невелико (одна - две), то ширина проводников может быть указана в технических требованиях на чертеже или непосредственно на чертеже проекции обычным способом. При изображении проводников двумя линиями, совпадающими с линиями координатной сетки, числовое значение ширины на чертеже ПП не указывают.

Отдельные элементы рисунка ПП (проводники, экраны, изоляционные участки) допускается выделять на чертеже штриховкой, зачернением.

Ту информацию, которую на чертеже невозможно отобразить графически или условно, помещают в технических требованиях. Последние размещают над основной надписью (штампом) на первом листе.

Ниже приводятся наиболее часто используемые варианты пунктов технических требований.

1. Печатную плату изготовить .....методом.

2. Печатная плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79.
3. Шаг координатной сетки ....мм.
4. Линии сетки нанесены через три.
5. Проводники выполнять шириной ... (с допуском) мм.
6. Расстояние между проводниками не менее ... мм.
7. Допускается в узких местах занижение размера контактных площадок до ...мм; или допускается в узких местах занижение ширины печатных проводников до ...мм.
8. \*Размеры для справок.
9. Покрытие - олово-синец, оплавленное по ГОСТ 9.306-85.
10. Масса покрытия ...кг (пункт помещается только в случае покрытия драгоценными металлами).
11. Маркировку ПП располагают на свободных местах платы. Если маркировка выполняется в одном технологическом цикле с печатным проводящим рисунком, то допускается применять любой шрифт. При этом в ТТ чертежа способ маркировки не указывают. Маркировку располагают на чертеже с одной или двух сторон. Ее принято делить на основную и дополнительную.

Основную маркировку наносят в обязательном порядке. В нее входит:

- обозначение ПП и ее шифр (выполняют шрифтом не менее 2,5 мм; все остальные маркированные символы, приведенные ниже – шрифтом не менее 2 мм);
- дата изготовления (год, месяц);
- обозначение слоя МПП.

Дополнительную маркировку наносят при необходимости. Она включает:

- порядковый или заводской номер ПП;
- позиционное обозначение ЭРИ;
- изображение посадочных мест ЭРИ (для ручной сборки ПУ);
- обозначение первого вывода ЭРИ;
- цифровое обозначение контрольных точек;
- обозначение вывода полярного ЭРИ (знак «+»);
- клеймо ОТК;
- клеймо представителя заказчика и др.

Пример выполнения чертежа печатной платы приведен в приложении ПЗ. В этом примере вместо технических требований на чертеж сделана ссылка на технические условия. В учебном проекте, разрабатываемом студентом, технические требования на чертеже должны быть помещены полностью.

## 4. Расчет надежности

### 4.1. Основные понятия теории надежности

**Надежность** – одно из важнейших свойств изделий, в том числе электронных устройств, которое определяет их эксплуатационную пригодность. Показатели надежности являются техническими параметрами изделия наряду с точностью, коэффициентом полезного действия, массо-габаритными характеристиками и пр. Техническое задание на разработку любого изделия должно содержать раздел (подраздел) с требованиями по надежности.

**Признаки**, по которым оценивается надежность изделия, называются критериями. Основными критериями надежности являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Только все перечисленные критерии в совокупности могут дать полное представление о надежности изделия. Количественные характеристики определяются количественными значениями критериев надежности и называются показателями (см. таблицу 4.1).

Таблица 4.1.

Критерии и показатели надежности

Критерии надежности	Показатели надежности
Безотказность	Вероятность безотказной работы Интенсивность отказов Наработка на отказ
Долговечность	Ресурс Срок службы
Ремонтпригодность	Среднее время восстановления Вероятность выполнения ремонта в заданное время Средняя стоимость технического обслуживания
Сохраняемость	Средний срок сохраняемости

На надежность изделия влияют многочисленные факторы, имеющие место на этапах его проектирования, производства и эксплуатации. Соответственно различают расчетную, производственную и эксплуатационную надежности. В идеальном случае значения расчетной, производственной и эксплуатационной надежности должны совпадать.

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности проектируемого изделия по известным характеристикам надежности составляющих элементов конструкции и компонентов системы с учетом условий эксплуатации. В дальнейшем элементы конструкции и компоненты, рассматриваемые в теории надежности, будем называть элементами расчета надежности, или, коротко, элементами. Основным показателем безотказности изделия является вероятность безотказной работы  $P(\tau)$  – безразмерная величина, зависящая от времени наработки  $\tau$  и изменяющаяся в пределах от 0 до 1.

Понятие надежности связано с отказами. **Отказ** – событие, заключающееся в нарушении работоспособности. При этом под

работоспособностью понимают такое состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Отказы классифицируют по характеру их возникновения на внезапные и постепенные, независимые и зависимые, по внешним проявлениям – на очевидные и скрытые, по объему – на полные (авария) и частичные, по длительности действия – на окончательные (устойчивые) и перемещающиеся (временные).

Для нерезервированных систем на основном временном участке работы, когда приработка изделия завершена и производственные дефекты, если такие выявились, устранены, а износ еще не наступил

$$P(\tau) = \exp\left(-\sum_{i=1}^m (\lambda_i \tau)\right), \quad (4.1)$$

где:  $m$  – число элементов;  $\lambda_i$  - интенсивность отказа  $i$ -го элемента.

То есть, вероятность безотказной работы уменьшается во времени по экспоненциальному закону от значения 1. При этом интенсивность отказов системы

$$\Lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i, \quad (4.2)$$

а среднее время наработки до отказа

$$T = 1/\Lambda. \quad (4.3)$$

При выполнении проекта студенту предлагается провести расчет вероятности безотказной работы нерезервированного, невосстанавливаемого (неремонтируемого) проектируемого устройства по внезапным отказам. Соответствующая методика расчета приведена ниже. Если в задании на проектирование указаны требования по надежности и выполнить их без применения резервирования невозможно, то необходимые расчетные формулы для основных типов резервирования можно найти, например, в [ 6, с. 301-305].

## 4.2 Расчет надежности электронного нерезервированного устройства по внезапным отказам

4.2.1. Определяются интенсивности отказов элементов и компонентов с учетом условий эксплуатации устройства по формуле

$$\lambda_i = \lambda_{oi} K_1 K_2 K_3 K_4 a_i(t_K, K_H), \quad (4.4)$$

где  $\lambda_{oi}$  - номинальная интенсивность отказов  $i$  – го элемента или компонента (элемента расчета надежности);  $K_1$  и  $K_2$  – поправочные коэффициенты на воздействие механических факторов;  $K_3$  – поправочный коэффициент на воздействие влажности;  $K_4$  – поправочный коэффициент на давление воздуха;  $a_i(t_K, K_H)$  – поправочный коэффициент на температуру поверхности компонента ( $t_K$ ) и коэффициент нагрузки  $K_H$ . Значения номинальных интенсивностей отказов компонентов берутся из технических условий на данный компонент или из справочников, содержащих такие сведения. В учебном проектировании допускается использовать усредненные значения интенсивностей для определенных групп компонентов. Значения

номинальных интенсивностей отказов основных компонентов, взятые из [6, с. 303, 304], приведены в Приложении (см. таблицу П4.1.).

Поправочные коэффициенты  $K_1 \dots K_4$  определяются по таблицам П4.2., П4.3., П4.4., помещенным в Приложении. Таблицы взяты из [6, с. 304, 305].

Поправочные коэффициенты  $a_i(t_K, K_H)$  определяются по графикам для основных групп компонентов, также приведенным в Приложении (рис. П4.1., П4.2., П4.3., П4.4., П4.5.) [6, с. 307].

Здесь важно правильно задаться температурой поверхности корпуса компонента  $t_K$ . Для этого студенту необходимо провести рассуждения, в которых должны рассматриваться четыре температуры:

- температура  $t_C$  окружающей среды, т.е. среды, окружающей проектируемое устройство (как правило, эта температура указывается в задании на проектирование);

- температура  $t_{KY}$  корпуса (кожуха) устройства;

- температура среды (воздуха или другого газа)  $t_{CK}$  внутри корпуса (кожуха);

- температура  $t_{Ki}$  поверхности корпуса конкретного  $i$  – го компонента.

Очевидно, что, поскольку основным источником тепловыделений в устройстве являются различные компоненты (резисторы, диоды, транзисторы, интегральные схемы и пр.), а рассеивается тепло в окружающей среде за пределами устройства, в стационарном тепловом режиме

$$t_C < t_{KY} < t_{CK} \leq t_{Ki}. \quad (4.5)$$

Равенство  $t_{CK} = t_{Ki}$  имеет место для элементов или компонентов, расположенных внутри устройства и не выделяющих тепло. Например, практически не выделяют тепло конденсаторы.

Определить значения температур  $t_{Ki}$  с достаточной степенью достоверности можно либо путем проведения полного теплового расчета, либо экспериментально на макете устройства. Поскольку проведение таких расчетов и экспериментов заданием на выпускную квалификационную работу не предусмотрено, студент должен задаться температурами  $t_{Ki}$  всех элементов и компонентов, опираясь при этом на приведенные выше рассуждения.

Коэффициенты электрической нагрузки (нагружения)  $K_{Hi}$  компонентов определяются отношением значения контролируемого параметра (тока, напряжения или мощности) рассматриваемого компонента к максимально возможному (допустимому) по техническим условиям значению этого параметра. В качестве контролируемого параметра для конкретного компонента берется тот, от которого в наибольшей степени зависит надежность компонента. Контролируемые параметры и формулы вычисления коэффициентов нагрузки для основных электрорадиоизделий (ЭРИ) приведены в таблице 4.2, взятой из [6, с. 306].

В расчетно-пояснительной записке необходимо привести примеры расчета  $\lambda_i$  для конкретных компонентов: хотя бы одного пассивного (резистора, конденсатора, диода и др.) и одного активного (транзистора или микросхемы). При этом необходимые для этого данные следует брать из задания на проектирование и из разделов пояснительной записки, посвященных схемотехническому проектированию.

## Коэффициенты нагрузки компонентов

Компоненты	Контролируемые параметры	Коэффициент нагрузки $K_n$	Рекомендуемые значения в режимах	
			импульсный	статистический
Микросхемы	Входной ток микросхем, включенных на выходе, $I_{вхi}$ Максимальный выходной ток $I_{вых\ max}$ Число нагруженных входов $n$	$\frac{\sum_{i=1}^n I_{вхi}}{I_{вых\ max}}$	-	-
Транзисторы	Мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_k$	$P_k / P_{k\ доп}$	0,5	0,2
Полупроводниковые диоды	Обратное напряжение $U_o$	$U_o / U_{o\ доп}$	0,5	0,2
Конденсаторы	Напряжение на обкладках $U$	$U / U_{доп}$	0,7	0,5
Резисторы	Рассеиваемая мощность $P$	$P / P_{доп}$	0,6	0,5
Трансформаторы	Ток нагрузки $I_n$	$I_n / I_{n\ доп}$	0,9	0,7
Электрические соединители	Ток $I_k$	$I_k / I_{k\ доп}$	0,8	0,5

Количество элементов и компонентов, составляющих конструкцию проектируемого устройства, как правило, достаточно велико. Поэтому для сокращения объема расчета и компактного представления полученных результатов рекомендуется все  $m$  элементов устройства разбить на  $L$  групп, каждая из которых (с номером  $N$ ) объединяет элементы одного типа с одинаковыми номинальными интенсивностями отказов, а также работающих в одинаковых условиях эксплуатации и одинаковых режимах. Допускается объединять в группу элементы и компоненты, у которых параметры различаются не более чем на 10 %.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 4.3. Показан пример ее заполнения.

4.2.2. Определяется интенсивность отказов и вероятность безотказной работы системы.

Интенсивность отказов системы  $\Lambda$  с учетом разбиения всего количества элементов на группы определяется

$$\Lambda = \sum_{N=1}^L \lambda_N, \quad (4.6)$$

где  $\lambda_N$  - интенсивность отказа  $N$  - ой группы элементов (берутся из таблицы 4.3);

$L$  – количество групп.

По найденному значению  $\Lambda$  определяется закон изменения вероятности безотказной работы устройства во времени и её значение на заданное время наработки  $\tau_H$ , если это предусмотрено заданием.



В расчетно-пояснительной записке необходимо привести график зависимости  $P(\tau)$  для проектируемого устройства.

Таблица 4.3

## Интенсивность отказов компонентов проектируемого изделия

Номер группы элементов в N (N=1...L)	Наименование элементов	Схемное обозначение элементов	Кол-во элементов в группе $n_N$	Интенсивность отказов в нормальном режиме $\lambda_{ON} \times 10^6$ , 1/час	Температура корпуса элемента группы $t_{KN}$ , °C	Коэффициент нагрузки $K_{HN}$	Поправочный коэффициент $a_N(t_{KN}, K_{HN})$	Интенсивность отказов элементов группы с учетом внешних условий $\lambda_{ON} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \times 10^6$ , 1/час	Интенсивность отказов элементов группы в рабочем режиме $\lambda_N \times 10^6$ , 1/час	Интенсивность отказов группы элементов $\lambda_N \cdot n_N \times 10^6$ 1/час
1	Конденсаторы керамические	C2, C3, C15, C19, C20	5	0,15	45	0,5	0,2	0,3	0,06	0,3
L										

Примечание: L – количество групп элементов;  $n_N$  – количество элементов в группе с номером N.

## Список рекомендуемой литературы

1. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. Учебник для радиотехнических специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1990. -432 с.
2. Конструирование радиоэлектронных средств. /В.Ф. Борисов, О.П. Лавренков, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова. – М.: Изд-во МАИ, 1996. – 380 с.
3. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
4. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Э.Г. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
5. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: учебник для вузов/ под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. –М.: Радио и связь, 1989. -624 с.
6. Костиков В.Г., Парфенов Е.М., Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование. Учебник для вузов. –М.: Радио и связь, 1998. - 344 с.; или 2-е изд. –М.: Горячая линия – Телеком, 2001. -344 с.
7. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Стандарт организации СТО ТПУ 2.5.01-2006.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
 «Томский политехнический университет»  
 Кафедра промышленной и медицинской электроники



Специальность 210106

«Промышленная электроника»

Утверждаю

Зав. кафедрой ПМЭ

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

(подпись)

## З А Д А Н И Е

по дипломному проектированию (работе) студента группы XXXX

Ф.И.О. Петрова Ивана Сергеевича

1. Тема работы: Система автоматического контроля узла учета товарной нефти

(утверждена приказом по ВУЗу от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_)

2. Срок сдачи работы на кафедру: \_\_\_\_\_

3. Назначение и область применения разработки: в соответствии с приложением к заданию

4. Технические требования: в соответствии с приложением к заданию

5. Требования к математическому моделированию, макетированию: нет

6. Подлежит разработке в проекте следующая документация:

А. Расчетно-пояснительная записка.

Введение;

1) Обзор технической литературы;

2) Разработка схемы системы электрической структурной;

3) Выбор и обоснование схемы электрической принципиальной;

4) Расчет принципиальной схемы;

5) Программа работы микроконтроллера;

6) Конструирование. Расчет надежности;

7) Организационно-экономическая часть;

8) Производственная и экологическая безопасность;

Заключение.

Б. Чертежи.

1) <i>Схема электрическая структурная</i>	- 1 лист ф.А1;
2) <i>Схема электрическая принципиальная</i>	- 1÷2 листа ф.А1;
3) <i>Схема электрическая соединений</i>	- 1 лист ф.А1;
4) <i>Алгоритм работы микроконтроллера</i>	- 1 лист ф.А1;
5) <i>Сборочный чертеж печатного узла</i>	- 1 лист ф.А1;
6) <i>Чертеж печатной платы</i>	- 1 лист ф.А1.

В. Демонстрационные иллюстрации . Плакат по экономической части – 1 лист ф.А1.

7. Консультанты по работе (указать Ф.И.О., раздел консультирования, должность, место работы)

1) <i>Конструирование. Расчет надежности. – Доц. кафедры ТПС ТПУ</i> .....;
2) <i>Организационно-экономическая часть – Ст.пр.кафедры Менеджмента ТПУ</i> .....;
3) <i>Производственная и экологическая безопасность – Доц.кафедры ЭБЖД ТПУ</i> .....

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель работы (указать Ф.И.О., должность, место работы) \_\_\_\_\_  
*Доц.кафедры ПМЭ ТПУ* .....

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Задание принял к исполнению (дата \_\_\_\_\_)

Студент \_\_\_\_\_ (подпись)

## **Приложение**

к заданию по дипломному  
проектированию ст-ту гр. ХХХХ  
Петрову И.С.

Исходные данные для разработки системы автоматического контроля узла  
учета товарной нефти

- 1 Назначение, область применения системы
  - 1.1 Система автоматического контроля узла учета товарной нефти предназначена для автоматического подсчета расхода и суммарного объема нефти, проходящего через узел ее учета, определения температуры и давления нефти, а также защиты узла учета нефти от аварийных режимов работы путем управления электроклапанами, перекрывающими трубопровод.
  - 1.2 Область применения системы – предприятия нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности.
- 2 Функциональные и технические требования к разработке
  - 2.1 Система должна включать в себя:
    - датчики, необходимые для определения расхода, температуры и давления;
    - вторичный прибор;
    - электроклапаны;
    - персональный компьютер (ПК) оператора, служащий для визуализации процесса работы системы и управления системой.
  - 2.2 Диапазоны изменения давления, температуры и расхода нефти в трубопроводе:
    - диапазон изменения давления, кПа(атм) – от 270 до 750 (от 2,66 до 7,4);
    - диапазон изменения температуры, °С – от +5 до +45;
    - диапазон изменения расхода, м<sup>3</sup>/ч – от 150 до 500.
  - 2.3 Диапазон измерения давления, температуры и расхода нефти в трубопроводе.  
Диапазоны измерения параметров совпадают с диапазонами изменения этих параметров.
  - 2.4 Допустимые погрешности измерений  
Суммарные (основные и дополнительные) абсолютные погрешности измерений в заданных условиях не должны превышать:
    - по давлению, кПа (атм) – ±5 (±0,05);
    - по температуре, °С – ±0,25;
    - по расходу, м<sup>3</sup>/ч – ±0,5.
  - 2.5 Система должна обеспечивать измерение суммарного объема нефти, прошедшего через трубопровод за период времени, равный 30 суток.
  - 2.6 Система должна обеспечивать сохранение информации о суммарном объеме нефти за каждые 30 суток в энергонезависимой памяти в течение 5 лет.

- 2.7 Система должна обеспечивать автоматическое перекрытие трубопровода с помощью электроклапана при наступлении следующих событий:
- при увеличении давления в трубопроводе до 750 кПа;
  - при увеличении температуры нефти до 45°C.
- 2.8 Система должна обеспечивать принудительное перекрытие трубопровода по сигналу с ПК оператора.
- 2.9 Система должна обеспечивать индикацию:
- наличия сигнала с датчика давления;
  - наличия сигнала с датчика температуры;
  - наличие сигнала с датчика расхода;
  - состояние электроклапана;
  - наличие связи с ПК оператора.
- 2.10 Система должна обеспечивать обнуление величины суммарного расхода нефти по сигналу ПК оператора.
- 2.11 Период обновления текущих значений давления, температуры и расхода нефти должен быть не более 1 с.
- 2.12 Параметры технической нефти:
- плотность, Г/мл – не более 0,95;
  - кинематическая вязкость, мм<sup>2</sup>/с – не более 10.
- 2.13 Диаметр трубопровода, мм – 150.
- ### 3 Условия эксплуатации
- 3.1 Система должна быть рассчитана на эксплуатацию в закрытых отапливаемых помещениях при следующих параметрах окружающей среды:
- температура в месте установки датчиков давления, температуры, расхода, а также электроклапана, °С – от +30 до +50;
  - температура в месте установки вторичного прибора, °С – от + 5 до +20;
  - атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.) – 101,3±4 (760±30);
  - влажность в месте установки датчиков давления, температуры, расхода, а также электроклапана, % – не более 95 при температуре окружающей среды 35°C;
  - влажность в месте установки вторичного прибора, % – не более 80 при температуре окружающей среды 25°C;
  - окружающая вторичный прибор среда не содержит паров агрессивных или взрывоопасных жидкостей, газов и пыли.
- 3.2 Какие-либо механические воздействия на датчики и приборы системы контроля в процессе ее эксплуатации отсутствуют.
- ### 4 Питающие напряжения и потребляемая мощность
- 4.1 Питание системы – от однофазной сети переменного тока напряжением 220±33 В частотой 50±0,5 Гц с содержанием гармоник до 5%.
- 4.2 Потребляемая системой мощность – минимально возможная.
- ### 5 Требования к конструктивному исполнению

- 5.1 Вторичный прибор должен быть выполнен в виде стационарного блока с габаритными размерами не более, мм:
- ширина – 150;
  - высота – 150;
  - длина (глубина) – 300.
- 5.2 Конструкция вторичного прибора должна обеспечивать его установку в шкаф КИП аппаратного блока типа «ОЗНА-1» производства ОАО «Акционерная компания ОЗНА».
- 5.3 На лицевой панели вторичного прибора разместить элементы индикации и коммутационные устройства управления; на задней панели – соединители для связи с датчиками, питающей сетью, ПК оператора, а также колодку предохранителя.
- 5.4 Предусмотреть возможность изъятия из вторичного прибора и повторной установки в него энергонезависимой памяти с данными по суммарному расходу нефти.
- 5.5 Тип производства вторичного прибора – мелкосерийный.
- 6 Другие требования
- 6.1 Длина кабелей, связывающих датчики со вторичным прибором, м – 10.
- 6.2 Длина кабеля, связывающего вторичный прибор с ПК оператора, м – 800.

Руководитель проектирования,  
доцент каф. ПМЭ ТПУ

(подпись)

(Фамилия И.О.)



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
 «Томский политехнический университет»  
 Кафедра промышленной и медицинской электроники



Специальность 210106

«Промышленная электроника»

Утверждаю

Зав. кафедрой ПМЭ

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

(подпись)

## З А Д А Н И Е

по дипломному проектированию (работе) студента группы XXXX

Ф.И.О. Иванова Ивана Петровича

1. Тема работы: Устройство управления испытательным стендом

(утверждена приказом по ВУЗу от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_)

2. Срок сдачи работы на кафедру: \_\_\_\_\_

3. Назначение и область применения разработки: в соответствии с приложением к заданию

4. Технические требования: в соответствии с приложением к заданию

4.1. Функциональные и технические требования к разработке, входные и выходные электрические параметры, метрологические требования и т.д.: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

4.2. Требования к конструктивному исполнению: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

4.3. Условия эксплуатации: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

4.4. Другие требования: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

5. Требования к математическому моделированию, макетированию: нет

6. Подлежит разработке в проекте следующая документация:

А. Расчетно-пояснительная записка.

Введение;

1) Автоматизация калибровки и испытаний прецизионных гироскопических измерителей угловой скорости. Структура комплекса и требования к составным частям;

2) Разработка структурной и принципиальной электрических схем цифровой части устройства управления;

3) Алгоритм и программа работы устройства управления;

4) Конструирование. Расчет надежности;

5) Техничко-экономическое обоснование НИР;

6) Безопасность и экологичность проекта;

Заключение.

Б. Чертежи.

1) Схема комплекса электрическая структурная - 1 лист ф.А1;

2) Схема стенда электрическая принципиальная - 1 лист ф.А1;

3) Схема устройства управления электрическая принципиальная  
- 1 ÷ 2 листа ф.А1;

4) Сборочный чертеж печатного узла - 1 лист ф.А1;

5) Чертеж печатной платы - 1 лист ф.А1.

В. Демонстрационные иллюстрации.

1) Алгоритм работы устройства управления - 1 лист ф.А1;

2) Линейный график выполнения работ - 1 лист ф.А1.

7. Консультанты по работе (указать Ф.И.О., раздел консультирования, должность, место работы)

1) Конструирование. Расчет надежности. – Доц. кафедры ТПС ТПУ

.....;

2) Организационно-экономическая часть – Ст.пр.кафедры Менеджмента ТПУ .....

3) Производственная и экологическая безопасность – Доц.кафедры ЭБЖД ТПУ .....

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель работы (указать Ф.И.О., должность, место работы) \_\_\_\_\_

Доц.кафедры ПМЭ ТПУ .....

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Задание принял к исполнению (дата) \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ (подпись)

**Приложение**  
к заданию по дипломному  
проектированию ст-ту гр. ХХХХ  
Иванову И.П.

Исходные данные для проектирования устройства управления стандом

1 Назначение

Устройство управления является составной частью автоматизированного комплекса для калибровки и испытаний прецизионных гироскопических измерителей угловой скорости в нормальных условиях и предназначено для управления испытательным стандом ХЦ2.787.001 в ручном и автоматическом (по командам от ЭВМ) режимах. Устройство управления должно обеспечивать перевод платформы станда из любого одного (из числа шестнадцати предусмотренных конструкцией станда) углового пространственного положения в любое другое путем соответствующих переключений оператором органов управления на передней панели пульта в ручном режиме управления или по командам от ЭВМ в автоматическом режиме.

2 Основные технические данные станда ХЦ2.787.001

2.1 Количество степеней свободы вращения платформы станда – 3.

2.2 Количество фиксированных пространственных положений платформы, обеспечиваемых стандом – 16, в том числе:

- количество фиксированных положений платформы относительно внутренней рамы карданова подвеса – 8;
- количество фиксированных положений внутренней рамы карданова подвеса относительно наружной – 2.

2.3 Напряжение питания переменного тока электродвигателей привода станда – однофазное  $40 \pm 2$  В частотой  $1000 \pm 50$  Гц. Форма питающего напряжения – синусоидальная.

2.4 Максимальное действующее значение переменного тока частотой 1000 Гц, потребляемого стандом при одновременном развороте по двум осям – не более 0,8 А.

2.5 Подключение устройства управления к станду – с помощью электрического соединителя (разъема) типа 2РМПД27Б24Ш1В1 (см. схему станда ХЦ2.787.001 электрическую принципиальную).

2.6 Другие сведения о станде – см. «Техническое описание и инструкция по эксплуатации комплекса «Меридиан» (ХЦ2.787.001 ТО)».

3 Функциональные требования к устройству управления

3.1 Устройство управления должно обеспечивать перевод платформы станда в любое из шестнадцати фиксированных пространственных положений вращением ее вокруг внутренней оси подвеса и промежуточной оси в любой последовательности или одновременно.

3.2 В устройстве управления должны быть предусмотрены два режима работы:

- ручной (с управлением с помощью кнопок и переключателей, размещенных на передней панели устройства);
  - автоматический.
- 3.3 Должна быть предусмотрена индикация режима на передней панели устройства управления и на экране дисплея.
- 3.4 Для обеспечения нормального взаимодействия стенда, устройства управления и ЭВМ должны быть предусмотрены соответствующие служебные сигналы.
- 3.5 Связь устройства управления с ЭВМ должна осуществляться через последовательный стандартный СОМ-порт; устройство управления должно быть рассчитано на совместную работу с персональным компьютером типа IBM PC.
- 4 Режим работы, быстроедействие
- 4.1 Режим работы устройства – длительный, со временем непрерывной работы до 8 часов.
- 4.2 Время выхода устройства на режим с момента подачи питания – не более 1 мин.
- 4.3 Время перевода платформы стенда из любого одного положения в любое другое – не более 15 с.
- 5 Условия эксплуатации и хранения
- 5.1 Устройство управления должно быть рассчитано на эксплуатацию в закрытом отапливаемом помещении (цехе или лаборатории) при температуре окружающей среды от +5°C до +40°C, атмосферном давлении  $100 \pm 4$  кПа ( $750 \pm 30$  мм рт.ст.) и относительной влажности воздуха до 98% при температуре 25°C.
- 5.2 Устройство управления при эксплуатации размещается на столе либо устанавливается в специальной стойке, размещенной вблизи стенда в условиях отсутствия вибрации и ударов.
- 5.3 Предельные условия транспортировки и хранения:
- температура окружающей среды от минус 50°C до +50°C;
  - относительная влажность воздуха до 95% при температуре 25°C.
- 6 Питание устройства и потребляемая мощность
- 6.1 Устройство управления должно быть рассчитано на питание от однофазной сети переменного тока напряжением  $220 \pm 22$  В частотой  $50 \pm 0,5$  Гц и содержанием гармоник до 5%.
- 6.2 Потребляемая устройством мощность – минимально возможная.
- 7 Требования к конструкции
- 7.1 Устройство управления, включая источник его питания, должно быть выполнено в виде пульта, размещаемого на столе, или закрепляемого в стойке.
- 7.2 Для связи устройства управления со стендом и подключения его к сети использовать электрические соединители (разъемы) серии 2РМ.
- 7.3 Конструкция устройства управления должна быть рассчитана на единичный тип производства.
- 8 Требования к массе и габаритам
- 8.1 Должны быть обеспечены минимальная масса и габариты устройства.

9 Требования по безопасности

9.1 По требованиям электробезопасности устройство должно соответствовать классу защиты 1.

10 Другие требования

10.1 Тип производства устройства – мелкосерийный.

Руководитель проектирования,  
доцент каф. ПМЭ ТПУ

(подпись)

(Фамилия И.О.)

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
 «Томский политехнический университет»  
 Кафедра промышленной и медицинской электроники



Специальность 200401

«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»

Утверждаю

Зав. кафедрой ПМЭ

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

(подпись)

## З А Д А Н И Е

по дипломному проектированию (работе) студента группы XXXX

Ф.И.О. \_\_\_\_\_ Синицыной Ольги Владимировны

1. Тема работы: Ультразвуковая ванна для изучения интенсификации процессов растворения конкрементов

(*утверждена приказом по ВУЗу от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_*)

2. Срок сдачи работы на кафедру: \_\_\_\_\_

3. Назначение и область применения разработки: Проведение исследований по интенсификации процессов растворения конкрементов с применением ультразвука.  
Область применения – экспериментальная медицина.

4. Технические требования: в соответствии с приложением к заданию

4.1. Функциональные и технические требования к разработке, входные и выходные электрические параметры, метрологические требования и т.д.: \_\_\_\_\_

4.1.1. Объем ультразвуковой ванны, мл – 400;

4.1.2. Полезная мощность излучателя, Вт – регулируется в пределах 100÷150;

4.1.3. Частота излучения, Гц – регулируется в пределах 18÷22;

4.1.4. Обеспечить стабилизацию мощности при изменении частоты;

4.1.5. Питание – от однофазной сети напряжением 220±22В, частотой 50±0,5 Гц и содержанием гармоник до 5%;

4.1.6. Жидкость, заполняющая ванну – физраствор.

4.2. Требования к конструктивному исполнению: собственно ванна и электронный блок размещаются на столе и соединяются между собой кабелем длиной не менее 1м.

4.3. Условия эксплуатации: По механическим воздействиям установка относится к группе I по ГОСТ Р50444-92; Климатическое исполнение – УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150. (температура окружающей среды +10÷+35°С при влажности до 80% при температуре +25°С)

4.4. Другие требования: Для защиты питающей сети предусмотреть сетевой фильтр. По электробезопасности устройство должно соответствовать классу 01 (ГОСТ Р50257.0). Тип производства – единичное.

5. Требования к математическому моделированию, макетированию: нет

6. Подлежит разработке в проекте следующая документация:

А. Расчетно-пояснительная записка.

*Введение:*

- 1) *Медицинские аспекты возникновения желчекаменной болезни;*
- 2) *Обзор методов лечения желчекаменной болезни;*
- 3) *Постановка задачи;*
- 4) *Физические основы применения ультразвука;*
- 5) *Измерение интенсивности акустических колебаний в жидкостях;*
- 6) *Структурная схема экспериментальной установки;*
- 7) *Электрическая принципиальная схема экспериментальной установки;*
- 8) *Разработка пьезоэлектрического излучателя ультразвуковых колебаний;*
- 9) *Конструирование. Расчет надежности;*
- 10) *Организационно-экономическая часть;*
- 11) *Производственная и экологическая безопасность;*

*Заключение.*

Б. Чертежи.

- 1) *Схема установки электрическая структурная - 1 лист ф.А1;*
- 2) *Схема установки электрическая принципиальная - 1÷2 листа ф.А1;*
- 3) *Сборочный чертеж печатного узла - 1 лист ф.А1;*
- 4) *Чертеж печатной платы - 1 лист ф.А1;*
- 5) *Чертеж общего вида пьезоизлучателя 0,5÷1 лист ф.А1.*

В. Демонстрационные иллюстрации.

- 1) *Плакат по организационно-экономической части - 1 лист ф.А1;*
- 2) *Демонстрационный лист - 1 лист ф.А1.*

7. Консультанты по работе (указать Ф.И.О., раздел консультирования, должность, место работы)

- 1) *Конструирование. Расчет надежности. – Ст.пр. кафедры ТПС ТПУ*  
.....;
- 2) *Организационно-экономическая часть – Доц. кафедры Менеджмента ТПУ*  
.....;
- 3) *Производственная и экологическая безопасность – Доц.кафедры ЭБЖД ТПУ* .....

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель работы (указать Ф.И.О., должность, место работы) \_\_\_\_\_

*Доц. кафедры ПМЭ ТПУ* .....

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Задание принял к исполнению (дата) \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ (подпись)

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
 «Томский политехнический университет»  
 Кафедра промышленной и медицинской электроники



Специальность 210106

«Промышленная электроника»

Утверждаю

Зав. кафедрой ПМЭ

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

(подпись)

## З А Д А Н И Е

по дипломному проектированию (работе) студента группы XXXX

Ф.И.О. Сидорова Сергея Александровича

1. Тема работы: Скважинный вторичный источник питания

(утверждена приказом по ВУЗу от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_)

2. Срок сдачи работы на кафедру: \_\_\_\_\_

3. Назначение и область применения разработки: в соответствии с приложением к заданию

4. Технические требования: в соответствии с приложением к заданию

4.1. Функциональные и технические требования к разработке, входные и выходные электрические параметры, метрологические требования и т.д.: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

4.2. Требования к конструктивному исполнению: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

4.3. Условия эксплуатации: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

4.4. Другие требования: \_\_\_\_\_  
в соответствии с приложением к заданию

5. Требования к математическому моделированию, макетированию: **нет**

6. Подлежит разработке в проекте следующая документация:

А. Расчетно-пояснительная записка.

Введение



- 1) Обзор принципов и схем построения вторичных источников питания и обоснование выбранного варианта;
  - 2) Разработка электрической структурной схемы источника;
  - 3) Расчет принципиальной схемы;
  - 4) Расчет импульсного трансформатора;
  - 5) Конструирование. Расчет надежности;
  - 6) Организационно-экономическая часть;
  - 7) Производственная и экологическая безопасность;
- Заключение.

Б. Чертежи.

- 1) Схема источника электрическая структурная - 1 лист ф.А1;
- 2) Схема источника электрическая принципиальная - 1÷2 листа ф.А1;
- 3) Чертеж печатного узла - 1 лист ф.А1;
- 4) Чертеж печатной платы - 1 лист ф.А1.

В. Демонстрационные иллюстрации.

- 1) Эюры напряжений, поясняющие принцип работы - 1 лист ф.А1;
- 2) Плакат по организационно-экономической части - 1 лист ф.А1.

7. Консультанты по работе (указать Ф.И.О., раздел консультирования, должность, место работы)

- 1) Конструирование. Расчет надежности. – Доц. кафедры ТПС ТПУ  
.....;
- 2) Организационно-экономическая часть – Ст.пр.кафедры Менеджмента  
ТПУ .....
- 3) Производственная и экологическая безопасность – Доц.кафедры ЭБЖД  
ТПУ .....

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель работы (указать Ф.И.О., должность, место работы) \_\_\_\_\_

Доц.кафедры ПМЭ ТПУ .....

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Задание принял к исполнению (дата) \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ (подпись)

**Приложение**  
к заданию по дипломному  
проектированию ст-ту гр. ХХХХ  
Сидорову С.А.

Исходные данные для разработки вторичного скважинного источника питания  
гироинклинометра

1 Назначение и область применения

1.1 Источник питания предназначен для питания аппаратуры, размещенной внутри скважинного прибора гироскопического инклинометра для исследования глубоких нефтяных и газовых скважин.

1.2 Область применения источника – разведка и добыча нефти и газа.

2 Функциональные и технические требования к источнику

2.1 Вторичный источник питания (ВИП) должен обеспечивать на выходах напряжения постоянного тока, указанные в таблице

Таблица

№ п/п	Номинальное значение напряжения на выходе ВИПа, В	Допустимое отклонение от номинального значения, В	Допустимый уровень пульсации напряжения, МВ	Допустимый ток нагрузки, А
1	+5	$\pm 0,25$	10	1,26
2	-5	$\pm 0,25$	10	0,14
3	+15	$\pm 0,75$	20	0,74
4	-15	$\pm 0,75$	20	0,24
5	+19	$\pm 1,9$	1000	0,35
6	-19	$\pm 1,9$	1000	0,35
7	+26	$\pm 1,3$	1000	0,07
8	-26	$\pm 1,3$	1000	0,02
9	+70	$\pm 2,3$	2000	0,35

Источники « $\pm 5В$ », « $\pm 15В$ », « $\pm 19В$ », « $\pm 26В$ » попарно должны иметь общие провода, которые в секциях электроники скважинного прибора будут соединены с корпусом.

2.2 Суммарная мощность нагрузки ВИПа, Вт – не более 62.

2.3 Характер нагрузки ВИПа – активно-емкостная.

2.4 Допустимые отклонения выходных напряжений от номинального значения – см.таблицу.

2.5 Допустимый уровень пульсации выходных напряжений – см.таблицу.

2.6 ВИП должен иметь защиту от перегрузок по току по цепи питания, которая должна срабатывать при превышении потребляемого источником тока его номинального значения в 1,2 раза.

2.7 Питание ВИПа и всего скважинного прибора осуществляется от наземного стабилизированного и регулируемого по напряжению источника питания постоянного тока. Связь скважинного прибора с наземной аппаратурой осуществляется с помощью стандартного одножильного каротажного кабеля по ГОСТ 6020-82. Последний используется также для двухстороннего обмена цифровой информацией между скважинным прибором и наземной аппаратурой.

Напряжение на входе ВИПа –  $200 \pm 10$  В. Минус источника соединен с броней кабеля, а броня – с корпусом скважинного прибора.

## 2.8 Условия эксплуатации ВИПа

### 2.8.1 Сведения об объекте установки ВИПа.

ВИП размещается внутри скважинного прибора и образует отдельную секцию блока электроники. Аппаратура скважинного прибора защищена от окружающей среды стальным цилиндрическим охранным кожухом с наружным диаметром 100 мм и внутренним 86 мм.

Внутреннее пространство скважинного прибора заполняется воздухом при давлении  $100 \pm 3,9$  кПа ( $760 \pm 30$  мм рт.ст), температуре  $+20^\circ\text{C}$  и влажности до 80% при температуре  $+25^\circ\text{C}$ .

2.8.2 Температура окружающей среды в скважине в процессе эксплуатации,  $^\circ\text{C}$   
– от минус 10 до  $+100$ .

2.8.3 По механическим факторам, действующим на скважинный прибор, последний относится к группе МС2-3 ГОСТ 26116-84. ВИП должен обеспечивать работоспособность с сохранением параметров в пределах допусков, заданных в настоящем Приложении, в условиях вибрации с частотой 10-70 Гц при ускорениях до  $35 \text{ м/с}^2$  и ударов с максимальным ускорением  $150 \text{ м/с}^2$  и длительностью удара 6-12 мс при количестве ударов в минуту 10-50 и общем числе ударов 2000.

## 2.9 Условия транспортирования и хранения

2.9.1 Температура окружающей среды при транспортировании и хранении скважинного прибора,  $^\circ\text{C}$   
– от  $-50$  до  $+50$ .

2.9.2 ВИП должен сохранять работоспособность и параметры в пределах допусков, заданных в настоящем Приложении, после воздействия в транспортном положении вибрации с частотой 4-72 Гц и максимальном ускорении  $30 \text{ м/с}^2$ , а также ударов при числе ударов в минуту 80-120 и максимальном ускорении  $30 \text{ м/с}^2$ .

## 2.10 Режим работы, быстродействие

2.10.1 Режим работы ВИПа – непрерывный. Продолжительность непрерывной работы, час  
– не более 8.

2.10.2 Время установления рабочего режима ВИПа при нахождении скважинного прибора в скважине, мин  
– не более 2.

## 2.11 Требования по массе и габаритам

2.11.1 Узел ВИПа по габаритам не должен выступать за пределы цилиндра диаметром 73 мм при длине не более 230 мм.

2.11.2 Масса ВИПа – минимально возможная.

## 2.12 Требования по надежности

2.12.1 Нарботка на отказ ВИПа, часов  
– 200.

2.12.2 Средний срок службы ВИПа, лет  
– 6.

## 2.13 Другие требования

2.13.1 Сопrotивление изоляции между корпусом и изолированными по постоянному току цепями ВИПа в нормальных условиях должно быть, МОм  
– не менее 20.

Руководитель проектирования,  
доцент каф. ПМЭ ТПУ

(подпись)

(Фамилия И.О.)









## П4. Справочные данные для расчета надежности

Таблица П4.1.

### Интенсивности отказов компонентов

Компоненты	$\lambda_0 \times 10^6, 1/\text{ч}$
Микросхемы со средней степенью интеграции	0,013
Большие интегральные схемы	0,01
Транзисторы германиевые:	
до 2 мВт	0,4
до 20 мВт	0,7
до 200 мВт	0,6
свыше 200 мВт	1,91
Транзисторы кремниевые:	
до 150 мВт	0,84
до 1 мВт	0,5
до 4 мВт	0,74
Диоды германиевые	0,157
Диоды кремниевые	0,2
Конденсаторы:	
бумажные	0,05
керамические	0,15
слюдяные	0,075
стеклянные	0,06
электролитические	0,035
воздушные переменные	0,034
Резисторы:	
композиционные	0,043
пленочные	0,03
проволочные	0,087
угольные	0,045
Трансформаторы:	
входные	1,09
выходные	0,09
звуковой частоты	0,02
высокочастотные	0,045
Трансформаторы питания	0,025
Автотрансформаторы	0,06
Дроссели	0,34
Катушки индуктивности	0,02
Обмотки электродвигателя	0,08
Реле	0,25n
Соединители	0.062n
Переключатели кнопочные	0.07n
Гнезда	0.01
Зажимы	0.0005
Провода соединительные	0.015
Кабели	0.475
Изоляторы	0.05
Аккумуляторы	7,2
Батареи заряжаемые	1,4
Электродвигатели:	
асинхронные	8,6
синхронные	0,359
вентиляторные	2,25
Антенны	0,36
Волноводы:	
жесткие	1,1



гибкие	2,6
Предохранители	0,5
Выводы высокочастотные	2,63
Плата печатной схемы	0,7
Пайка монтажа:	
печатного	0,01
навесного	0,03
объемного	0,02
Микрофоны динамические	20
Громкоговорители динамические	4
Датчики оптические	4,7
Примечание: n – число контактов	

Таблица П4.2.

### Коэффициенты влияния механических воздействий

Условия эксплуатации аппаратуры	Вибрация $K_1$	Ударные нагрузки $K_2$	Суммарные воздействия $K_\Sigma$
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Корабельные	1,3	1,05	1,37
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54
Самолетные	1,46	1,13	1,65

Таблица П4.3.

### Коэффициенты влияния влажности

Влажность, %	Температура, °С	Поправочный коэффициент $K_3$
60...70	20...40	1,0
90...98	20...25	2,0
90...98	30...40	2,5

Таблица П4.4

### Коэффициенты влияния атмосферного давления

Давление кПа	Поправочный коэффициент $K_4$
0,1...1,3	1,45
1,3...2,4	1,40
2,4...4,4	1,36
4,4...12	1,35
12...24	1,3
24...32	1,25
32...42	1,2
42...50	1,16
50...65	1,14
65...80	1,1
80...100	1,0

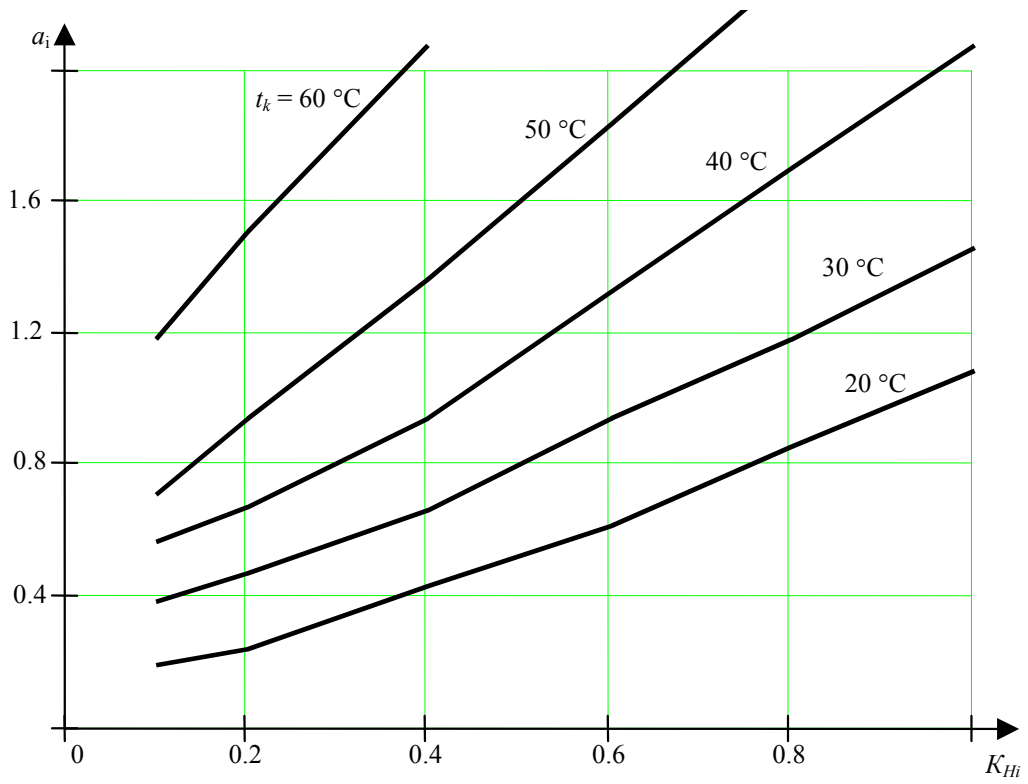


Рис. П4.1. Зависимость  $a_i(t_{ki}, K_{Hi})$  для транзисторов

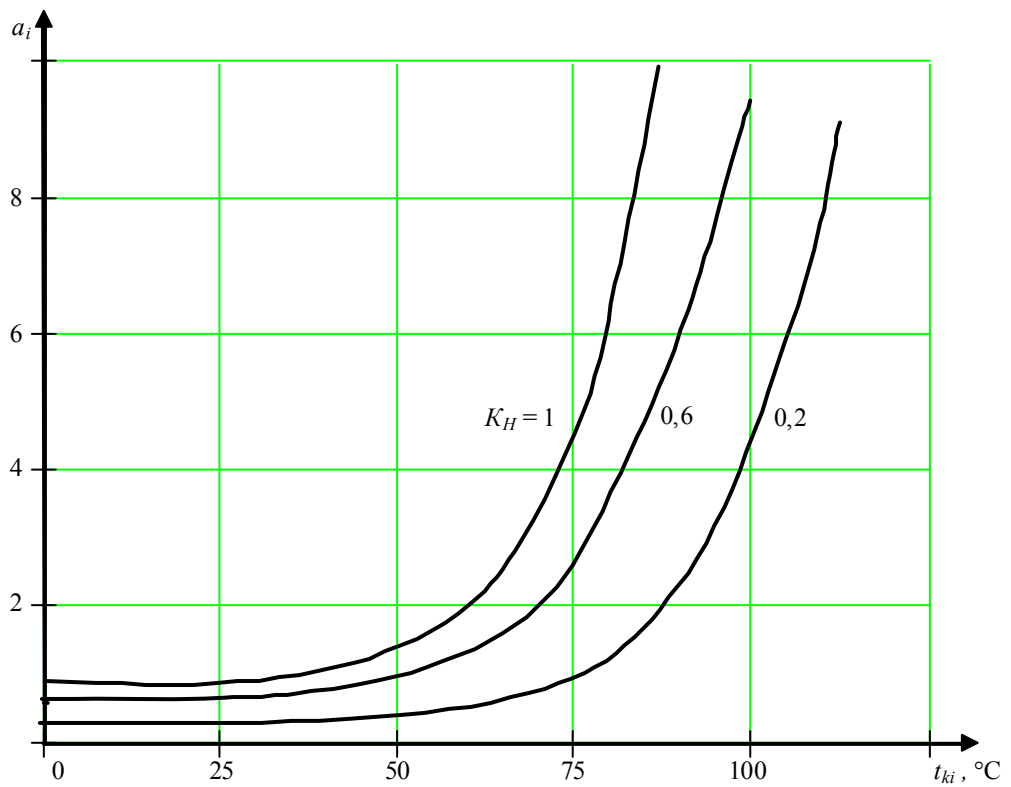


Рис. П4.2. Зависимость  $a_i(t_{ki}, K_{Hi})$  для полупроводниковых диодов

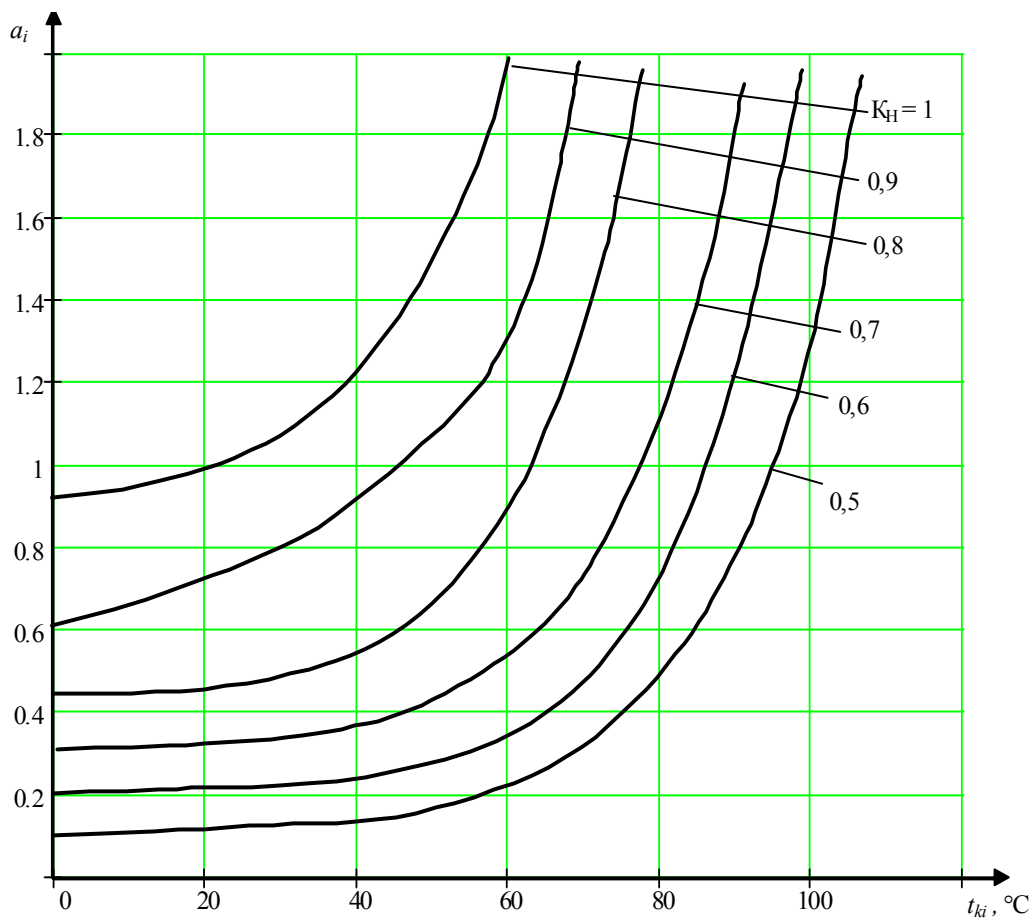


Рис. П4.3. Зависимость  $a_i(t_{ki}, K_{Hi})$  для конденсаторов

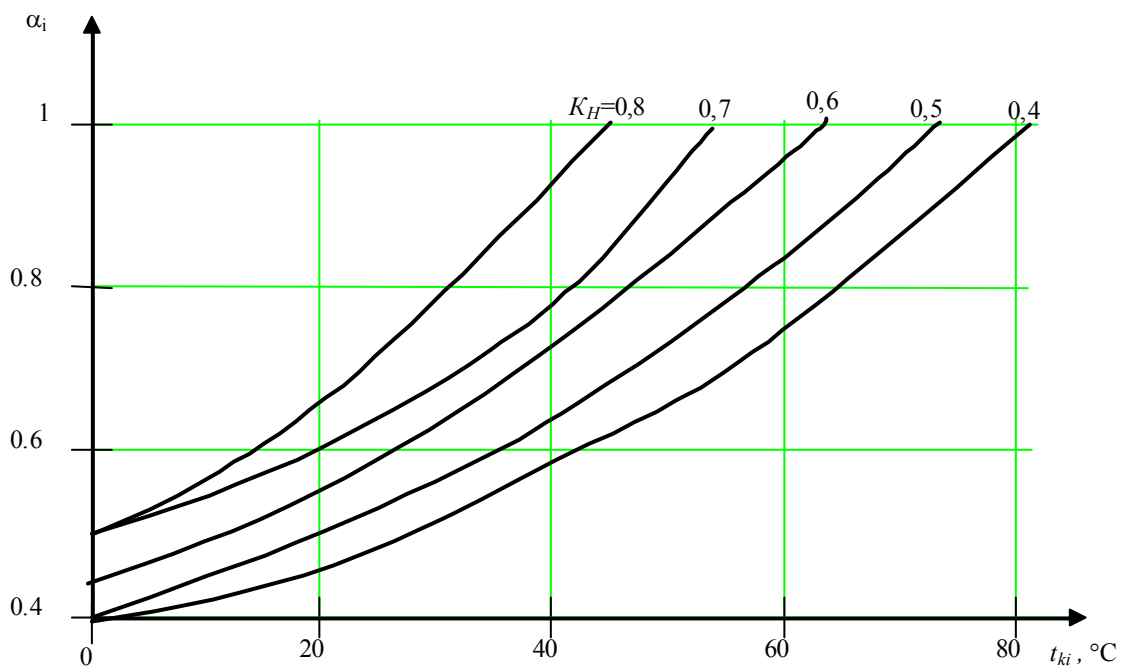


Рис. П4.4. Зависимость  $a_i(t_{ki}, K_{Hi})$  для резисторов ( $a_i < 1$ )

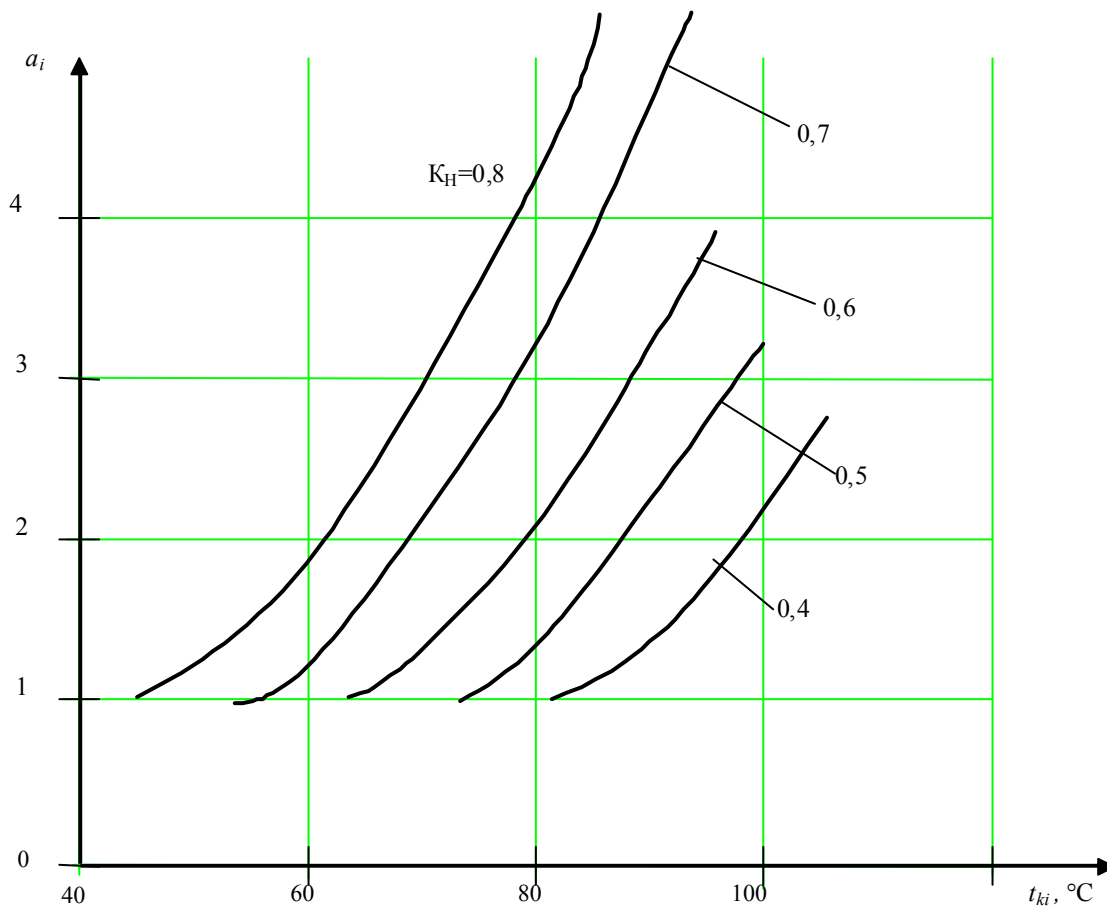


Рис. П4.5. Зависимость  $a_i(t_{ki}, K_{Hi})$  для резисторов ( $a_i > 1$ )

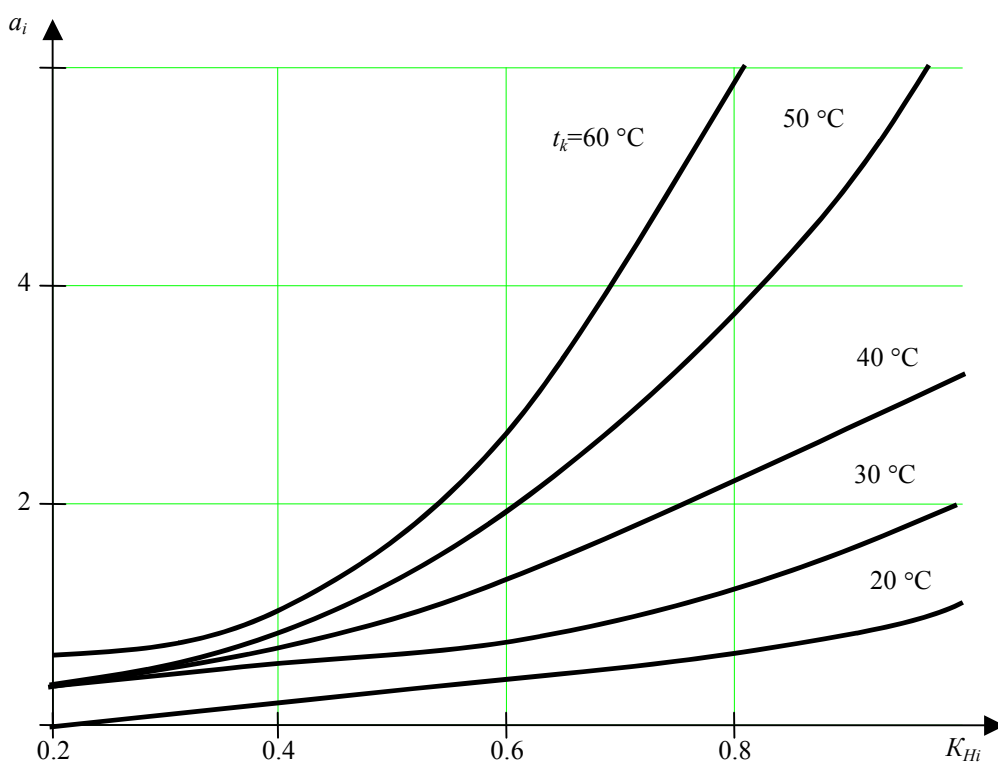


Рис. П4.6. Зависимость  $a_i(t_{ki}, K_{Hi})$  для трансформаторов

**Лев Николаевич Белянин**

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОГО УЗЛА И  
ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ.**

Учебно-методическое пособие

Научный редактор  
доктор технических наук, профессор Г.С. Евтушенко

Редактор

Подписано к печати  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная  
Печать RISO. Усл. печ. л. . Уч.- изд. л. 5.42.  
Тираж экз. Заказ . Цена  
Издательство ТПУ. 634050, Томск, пр. Ленина, 30.