# Управление тепловым режимом ЭВС (лекции 41 – 44)

## Основные законы теплообмена. Теплообмен теплопроводностью

ИЭТ электронных средств функционируют в строго ограниченном диапа­зоне. Уход температуры за указанные пределы приводит к необратимым структур­ным из­менениям компонентов.

Температура воздействует и на электронные схемы, изменяя параметры сигналов. При повышенной температуре снижаются диэлектрические свойства материалов, ускоряется коррозия материалов, контактов.

При по­нижении температуры затвердевают и растрескиваются резиновые детали, повыша­ется хруп­кость материалов.

Разницы в коэффициентах линейного расширения мате­риалов мо­гут привести к разрушению залитых смолами конструкций, как следствие к нарушению электрических соединений, меняется характер посадок, ослабляются крепления.

Нормальным тепловым режимом ЭС называют такой, который обеспечивает изменение параметров и характеристик конструкций, схем, ЭРЭ, материалов в пре­делах указанных в ТУ.

Высокая надежность и длительный срок службы ЭС будут га­рантированы, если температура среды внутри ЭС нормальная (20÷25°С) и изме­ня­ются не более, чем на 2°С/ч.

Обеспечение нормального теплового режима приво­дит к усложнению конструкции, увеличению габаритов и массы, введению допол­нитель­ного оборудования, затратам электрической энергии.

Задача обеспечения работоспособности ЭС при низких температурах реша­ется нагревом в течение некоторого времени помещения с одновременным включе­нием аппаратуры для прогрева.

При достижении внутри ЭС нормальной темпера­туры приступают к ее эксплуатации.

Из-за перегрева ЭС может воз­никнуть не­обходимость в ее охлаждении, поэтому чаще всего конструктору приходится решать задачу удаления избытка теплоты.  Для этого используют естественное воздушное и принудительное охлаж­де­ние. При высоких требованиях к стабильности параметров схем используется термо­статирование узлов и блоков.

*Методы охлаждения.*

*Теплопередача -* это контактное охлаждение, которое называется – кондукцией и происходит при наличии хорошего контакта нагретого тела с более холодным телом обеспечивается его высокой теплопроводностью и достаточной теплоемкостью.

Для качественного контакта необходимо:

- небольшое термическое сопротивление контакта:

,

где Sθ - теплопроводящая поверхность;

b - толщина стенки;

λθ - коэффициент теплопроводности, характеризующий свойства материала стенки:

- хороший теплообмен охлаждаемой части конструкции с окружающей средой;

- большие теплопроводность и теплоемкость охлаждающей части конструкции.

|  |  |
| --- | --- |
| Среда, материал | Коэффициент теплопроводности  λθ•103 Вт/(см•°С) |
| Металлы | 455÷3900 |
| Жидкости | 0,9÷5 |
| Газы | 0,1÷0,5 |

Охлаждающую часть рекомендуется выполнять из теплопроводного металла (меди, латуни, алюминия) с размерами, обеспечивающими теплообмен с окружающей средой.

В качестве охлаждающей детали в конструкции обычно используют базовую деталь (шасси, корпус), к которой прикрепляются отдельные греющиеся элементы.

В конструкциях с заливкой изоляционными материалами тепло от нагревающегося элемента через заливочный материал передается корпусу или шасси, а при отсутствии их сразу к окружающей среде.

Для увеличения теплопроводности в заливочные компаунды добавляются в качестве наполнителя порошки с большой теплопроводностью.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Коэффициент теплопроводности заливочных материалов, наполнитель в % | Коэффициент теплопроводности |
| Компаунд с алюминиевым порошком | 80 | 25 |
| Компаунд с медным порошком | 90 | 16 |
| Эпоксидная смола | 0 | 2,0 |

Контактное охлаждение эффективно при небольших размерах изделия и мощности рассеяния не более 20 Вт.

*Конвекция -* это один из методов теплозащиты, который осуществляется при помощи четырех способов охлаждения:

- естественного воздушного;

- принудительного воздушного;

- жидкостного;

- испарением.

*Естественное воздушное охлаждение,* достигается за счет отбора тепла от нагретого изделия окружающим воздухом.

Тепло отбирается тем больше, чем больше разница между температурами поверхности нагретого изделия и окружающего воздуха.

*Принудительное воздушное охлаждение* осуществляется за счет разницы температур изделия и воздуха плюс скорость движения воздуха, т.е. замена уже нагревшихся частей воздуха более холодными.

*Жидкостное охлаждение* обеспечивается заменой воздуха жидкостью, величина теплопроводности которой примерно на порядок больше, чем у газов. Как правило, жидкостное охлаждение является принудительным.

*Охлаждение испарением* происходит в том случае, когда охлаждающая жидкость имеет возможность испаряться.

*Радиация* — это охлаждение излучением*,* которое используется только при температурах выше 100°С, при низких температурах эффективность этого метода ничтожно мала.

*Эффект Пельтье* это термоэлектрическое охлаждение, то есть прохождение тока через границу двух различных проводников.

В проектировании электронных средств и приборостроении чаще всего применяют контактноеохлаждение и конвекционное (естественное и принудительное).

*Естественное охлаждение* применяется в электронных средствах с плотностью тепловых потоков от охлаждаемых поверхностей не более 0,05 Вт/см2. Теплонагруженные элементы охлаждаются за счет естественной конвекции воздуха, теплопроводности и излучения, это самый простой способ охлаждения.

Конструкция таких ЭС требует рациональной компоновки.

При компоновке необходимо учитывать, выде­ляемую мощность и требования равномерного распределения ее по всему объему ЭС.

Компо­ненты и печатные платы с большой теплоотдачей нужно располагать в верх­ней части ЭС или вблизи стенки. Критичные к перегреву компоненты в нижней части, - защищать тепловыми экранами.

Блестящий экран, разделяющий теплонагру­женные и чувствительные к перегреву модули, снижает лучистый тепловой поток почти вдвое. Для выравнивания температуры внутри блока теплонагруженные мо­дули должны иметь высокую степень черноты. Для этого рекомендуется на внутренние поверхности корпуса наносить лакокрасочные покрытия. Например, для выравнивания тепла при кассетной компоновке плат, рекомендуемые зазоры должны быть не менее 30мм.

Электронные средства выполняется в корпусах следующих типов:

- перфорированных;

- не герметичных;

- герметичных;

- с принудительной вентиляцией.

Форма перфорированных отверстий может быть различной:

- круглой;

- квадратной;

- прямоугольной;

- в виде желюзи.

Круглые отверстия рекомендуется выполнять диаметром – 4, 6, 8 и 10 мм, квадратные - 4×4 мм, прямоугольные - 3×25, 4×50 мм.

Чем меньше размеры вентиляционных отверстий, тем меньше вероятность по­падания внутрь внешних помех. Суммарная площадь отверстий в дне и крышке должна составлять 20÷30% от площади прибора.

Входные вентиляционные отверстия рекомендуется располагать в основании изделия, выходные – в крышке. Основание корпуса изделия рекомендуется, располагать над поверхностью стола не менее чем на 30 мм, при необходимости можно использовать амортизаторы.

Для защиты изделия от пыли, с внутренней стороны корпуса устанавливают металлические сетки. В отдельных случаях, вместо сеток часто основание устройства защищают пылезащитными фильтрами.

Циркуляция воздуха в приборах и стойках с герметичным корпусом происходит за счет разности плотностей воздуха, нагретого внутри ЭС и более хо­лодного воздуха у стенок кожуха. Перегрев будет уменьшаться с увеличением зазора между пластинами. У основания прибора в герметичном корпусе движение воздуха практически отсутствует.

## Тепловые модели конструкций ЭВС

Для теплового расчета необходимы сведения о конструкции изделия и состоянии окружающей среды. Поэтому тепловой расчет выполняется после того, когда проведен этап предварительной компоновки.

Далее должна быть выбрана тепловая модель (тепловая схема), на основании которой будет производиться тепловой расчет внутри изделия.

На основании выбранной тепловой модели (тепловой схемы) подбирается методика теплового расчета ЭС, которая определяется выбранным предварительно способом охлаждения.

При расчете должны быть использованы следующие исходные данные:

- тепловая модель электронного средства;

- суммарная мощность, выделяющаяся в ЭС;

- мощность ИЭТ;

- температура окружающей среды;

*-* давление, окружающей среды;

- давление воздуха внутри корпуса ЭС;

- геометрические характеристики ЭС - длина, ширина, высота (диаметр);

- размеры печатной платы в ЭС - длина, ширина, толщина;

*-* расстояние между крайними платами в ЭС;

*-* коэффициент перфорации корпуса ЭС;

*-* количествопечатных плат в блоке*;*

*-* зазормежду печатными платами, ТЭЗами;

*-* общая площадь внешнейповерхности ЭС.

Характеристики вентилятора и блока, охлаждаемого принудительно:

- производительность вентилятора (при внутреннем перемещении воздуха);

- расход охлаждающего воздуха;

- коэффициент полезного действия вентилятора;

- расстояние от торца печатной платы до центра рассчитываемого элемента в направлении движения воздуха;

- количество элементов в сечении канала.

Теплофизические характеристики элементов конструкции ЭС:

- коэффициент теплопроводности диэлектрика печатной платы;

- коэффициент теплопроводности материала, заполняющего зазор между ИЭТ и печатной платой.

В результате расчета определяется перегрев ИЭТ и температура среды вокруг этих элементов.

Основным критерием верности выбранного способа охлаждения является поддержание максимальной температуры внутри блока не превышающей максимальной температуры наименее термоустойчивого элемента.

Наиболее часто расчет осуществляется для охлаждения способом естественной конвекции воздуха.

В случае получения неудовлетворительного результата необходимо применение перфорации и желюзи, которые снижают температуру перегрева.

Для расчета теплового режима элементов, находящихся внутри блочной конструкции, необходимыми исходными данными являются:

- число теплопроводящих элементов N, каждый из которых (с номером i) характеризуется определяющей высотой hi;

- поверхностью охлаждения Soi;

- мощностью тепловыделения Pi;

- площадью основания шасси Sш на котором располагаются элементы.

Элемент - это любой источник тепловой энергии (процессор, конденсатор и т.д.).

*Определение основных параметров эквивалентной модели.*

Коэффициент заполнения блока:

 ,

где ;

- Vi – объем i-го элемента;

- N число теплопроводящих элементов.

Нагретой зоной называется та часть внутреннего пространства, в которой располагаются тепловыделяющие элементы.

Высота нагретой зоны (эквивалентной):

 .

Эквивалентная поверхность охлаждения расчетной модели элемента:

.

Расчетная модель элемента представляет собой параллелепипед с выстой hэ и квадратным основанием.

Сторона основания расчетной модели элемента:

.

Величина промежутков между расчетными моделями элементов:

.

Для значительного снижения теплового сопротивления между корпусом элемента и окружающей средой и уменьшении перегрева элемента применяются для теплонагруженных элементов радиаторы. Обеспечение допустимого теплового режима элементов увеличивает их надежность и время безотказной работы.

## Применение радиаторов

Для современных ЭС характерна тенденция уменьшения габаритов при возрастании потребляемой мощности, что приводит к необходимости создания эффективных малогабаритных теплоотводов.

За время развития электронных средств было разработано большое количество различных типов радиаторов.

Широкое применение получили радиаторы, различающиеся по виду и площади поверхности теплообмена.

Радиаторы бывают:

- пластинчатые,

- ребристые,

- петельно-проволочные,

- штыревые,

- желюзийные,

- игольчатые.

Конструкция радиаторов зависит от вида конвекции:

- естественным путем;

- вынужденным с помощью нагнетателей (вентиляторов).

При проектировании радиаторов встречаются два способа:

- при заданной мощности элемента за счет поверхности радиатора необходимо снизить температуру элемента до некоторого допустимого значения;

- при неизменной температуре поверхности радиатора за счет ее оребрения необходимо увеличить рассеиваемую мощность.

На практике чаще применяют первый способ.

В общем случае исходными данными для расчета конструкции радиатора следует считать:

- суммарную мощность устанавливаемых на радиаторе теплонагруженных элементов;

- температурное сопротивление корпус элемента - радиатор;

- максимальную температуру корпуса теплонагруженного элемента;

- температуру окружающей среды;

- степень черноты поверхности радиатора;

- коэффициент теплопроводности материала радиатора;

- предполагаемую ориентацию радиатора в пространстве.

Ограничением при расчете могут служить габаритные размеры ЭС.

Для изготовления радиаторов обычно применяют алюминий, магний, и их сплавы в виде штампованных (алюминий и его сплавы) или литых деталей, крашенных или оксидированных в черный цвет с матовой поверхностью для увеличения теплоотдачи за счет излучения.

Для обеспечения электрической изоляции лучше изолировать радиатор, чем полупроводниковый прибор.

В случае наличия в изделии большого количества теплонагруженных элементов (усилители мощности, мощные блоки питания и т.п.) радиаторы целесообразно выполнять в виде боковых или задних панелей.

При этом на панели устанавливаются все элементы и обеспечивается их электрическая изоляция.

Следует отметить, что расчеты дают только минимальные размеры радиатора и при необходимости они могут быть увеличены.

## Выбор метода охлаждения. Выбор теплоотвода. Определение величины расхода воздуха на охлаждение

Для организации теплообмена стоечных конструкций применяется принудительное воздушное охлаждение в стойках с тепловыделением не более 0,5 Вт/см2.

Для охлаждения применяют автономные вентиляторы, системы вентиляторов и подачу воздуха от центрального кондиционера.

При использовании вентиляторов подача воздуха происходит снизу-вверх и сверху вниз.

По первой схеме воздух забирается у пола, по второй – у потолка.

В первом случае возникает запыленность, во втором - запыленность меньше, но больше требуется охлаждающего воздуха.

При этом применяют схемы вентиляции:

- приточную;

- вытяжную;

- приточно-вытяжную.

Принудительная вентиляция по принципу действия может быть приточной либо вытяжной.

При приточной схеме, вентилятор ставят на входе охлаждающего воздуха.

При вытяжной – на выходе.

При приточной схеме, вентилятор ставят на входе охлаждающего воздуха, эффективность и производительность его работы обеспечивается за счет

пониженной температуры и образовавшейся более плотной окружающей средой.

Но часть воздуха может уходить через отверстия в корпусе.

При приточной вентиляции вентилятор работает на приток холодного очищенного воздуха в нагретую зону устройства.

В этом случае вентилятор устанавливается в нижней части устройства у вентиляционного окна, а нагретый воздух выходит в верхней части устройства через перфорацию или вентиляционное отверстие.

Вытяжная схема вентиляции применяется в аппаратуре с большим аэродинамическим сопротивлением. При вытяжной схеме вентиляции вентилятор работает на вытяжку горячего воздуха из нагретой зоны.

В этом случае вентилятор размещают в верхней части устройства, а забор воздуха обеспечивается снизу устройства через перфорацию или вентиляционное окно.

Вытяжная вентиляция обеспечивает большую скорость воздушного потока охлаждения непосредственно в локальной зоне перегрева, т.е. в этом случае вентилятор работает в зоне высоких температур.

Приточно-вытяжная схема позволяет повысить напор охлаждающего воздуха.

Конструктивно вентиляторы устанавливаются либо непосредственно в прибор, либо на корпусе или на каркасе стойки в специальных блоках, снабженных элементами коммутации и фильтрации.

В блоках размещаются один или несколько вентиляторов, пылезащитный фильтр, элементы сигнализации неисправного состояния.

Воздух, удаляемый из устройств, поступает либо в помещение, либо в атмо­сферу.

Недостатком приточо-вытяжной схемы является повышенная запыленность ЭС, появление вибраций из-за работы вентиля­торов и неравномерность распределения охлаждающего воздуха. Конструктивно такое охлаждение реализуется просто.

Система вентиляции может быть централизованной, когда внутрь устройства подается очищенный и холодный воздух от отдельной вентиляционной установки или забортный воздух объекта установки ЭС от патрубков внешнего воздухозабора.

Теплопроводящее основание ячеек может заканчиваться воздуховодом, через который прогоняется воздух принудительной вентиляцией.

Если удельная поверхность охлаждения не более 30 см2/Вт, то применяются жидкостные или испарительные системы охлаждения.

В жидкостных системах охлаждения вместо воздуха или газа используют жидкость с температурой испарения большей, чем температура нагрева ЭС. Для улучшения жидкостного охлаждения создают принудительное движение жидкости с помощью насоса охлаждения. Жидкость или воздух могут принудительно охлаждать теплопроводы мощных элементов конструкции (радиаторы охлаждения или теплоотводящие основания ячеек). Жидкость прогоняется через каналы радиатора охлаждения или теплоотводящего основания.

В испарительных системах создают условия испарения жидкости с поверхности нагретой зоны. Для этого применяют жидкости, температура нагрева, которых равна температуре испарения. Для конденсации испарённой жидкости используют элементы локального охлаждения, например, радиаторы.

Испарительная система в простейшем случае реализуется в виде теплоотводящей трубы для охлаждения теплонагруженных элементов. Теплоотводящие трубы представляют собой герметичные сосуды, с различными размерами и формой, тепловое сопротивление которых близко к нулю. Для того чтобы сконденсированная жидкость из зоны охлаждения возвращалась в зону нагрева, внутренние стенки трубы покрыты пористым материалом, например, стекловолокно или пористые пластмассы с включенными металлическими шариками. Теплоотводящая труба выполняется из меди круглого или прямоугольного сечения, один конец её может устанавливаться под ИЭТ. Тепловая труба внутри полая, частично заполнена жидкостью, температура испарения, которой меньше предельно допустимой для ИЭТ.

Для конденсации паров жидкости другой конец трубы должен охлаждаться, например, радиатором охлаждения. Радиатор охлаждения может находится вне зоны плотной компоновки ЭРЭ. Роль радиатора может выполнять несущая стенка конструкции.

Для устройств большой мощности тепловых потерь, а также работающих в тяжелых условиях высоких температур, запыленности, загрязненности атмосферы применяют систему охлаждения, используя совместно принципы испарения жидкости, движения жидкости и вентиляции.

Например, в холодильных установках, такие системы работают автономно. Недостатками этих систем являются их значительные габариты и энергопотребление.

Уменьшить температуру в нагретой зоне, можно отбирая тепло с помощью полупроводниковых термоэлементов, использующих эффект Пельтье. (при прохождении тока на границах дух разных сред проводников, происходит на одном конце среды поглощение тепла, а на другом, его выделение).

В зависимости от интенсивности теплового потока, полупроводниковые термоэлементы соединяют в батареи.

“Холодные” пластины термобатареи могут использоваться для охлаждения мощных ЭРЭ или для организации герметичной зоны охлаждения или термостатирования устройства, например, микротермостаты для кварцевых генераторов.

“Горячие” пластины термобатареи охлаждают естественной вентиляцией возможно с применением радиатора.

Для обеспечения необходимого теплового режима электронного средства, необходимо выбрать способ охлаждения, который учитывает особенности конструкции ЭС, условия эксплуатации и тепловые потери элементов схемы и устройства в целом.

При проектировании ЭС, необходимо выбрать такую систему охлаждения, которая обеспечит допустимый тепловой режим работы элементов и наилучшие показатели качества.

Задача выбора способа тепловой защиты ЭС относится к классу так называемых трудно решаемых задач, поэтому для её решения целесообразно применить методы и технологии экспертных систем.

В подобных задачах оперируют в основном с символьной, а не числовой информацией, (т.е. используют лингвистические переменные).

Кроме того, алгоритмический подход в таких задачах мало приемлем.

Применение экспертных систем (частный случай применения методов искусственного интеллекта) ускоряют работу специалиста, предотвращают грубые ошибки, но предлагаемые системой проектные решения носят приближенный, ориентировочный характер, и окончательное решение конструктор принимает после выполнения инженерных расчетов.

Структурный анализ системы тепловой защиты ЭС позволил выявить три дополняющих друг друга средства охлаждения:

- отвод тепла от корпуса ЭС;

- общее охлаждение;

- локальное охлаждение.

Структуру конструкций ЭС, в том числе и структуру системы тепловой защиты, удобно представлять в виде И–ИЛИ–дерева, которое является частным случаем семантической сети.

Указанные выше три средства охлаждения образуют первый ярус этого дерева, состоящий из И–вершин. В свою очередь, каждая из этих вершин порождает дочерние ИЛИ–вершины.

В негерметичном корпусе количество теплоты Q, Ккал, получаемое воздухом массой σB при увеличении его температуры на ∆Т, равно:

Q = сσв∆Т,

где с – удельная теплоемкость воздуха;

Q – количество теплоты;

σB – масса воздуха;

∆Т – увеличение температуры.

Расход воздуха на охлаждение:

Vр = 860kутP/сρв∆Т, м3/ч

где P – потребляемая мощность, кВт;

kут = 1,25 – коэффициент запаса, учитывающий утечку охлаждающего воздуха через не плотности в конструкции;

ρB – плотность воздуха.

В системах охлаждения применяются как осевые, так и центробежные вентиляторы. Для выбора вентилятора необходимо ознакомиться с его характеристиками и знать аэродинами­ческое сопротивление охлаждаемого ЭС. Подбираемый вентилятор должен обеспе­чивать производительность, большую расчетного расхода воздуха. Бесшумность работы устройства обеспечивается, если окружная скорость не превышает 25÷30 м/с.

Во избежание попадания в ЭС пыли с охлаждающим воздухом его фильт­руют. Материалом фильтра является резиновая крошка, минеральная вата, стеклово­локно, фильтровальная ткань. К фильтрам должен обеспечиваться легкий доступ для периодической замены или для чистки.

Для больших ЭС стоечных конструкций со значительным тепловыделением можно рекомен­довать подачу охлаждающего воздуха от центрального кондиционера по системе воздухопроводов, если такие есть.

*Водно-воздушная система охлаждения -* В стоечных конструкциях, отвод теп­ла от модулей осуществляется поступающим в стойку от центрального кондицио­нера или автономных вентиляторов воздухом или хладагентом, протекающим по трубам к охладителям. Охладитель выполняется в виде системы горизонтально ориентированных параллельно проходящих трубок, расположенных под каждым модулем. Для эффективного смешивания воздуха и быстрой передачи теплоты охла­ж­дающей жидкости в стойку вводится вентилятор.

*Проточная схема охлаждения* конструктивно проста, но требует большого рас­хода жидкого хладагента. Введение в схему охлаждения теплообменника, в кото­ром происходит охлаждение жидкого хладагента, позволяет получить замкнутую систему охлаждения и снизить расход хладагента.

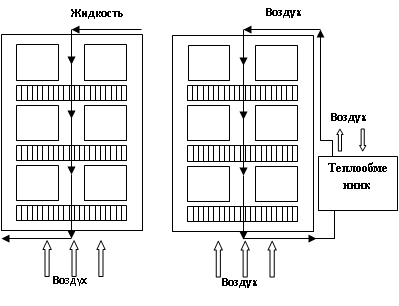


Рис. . Проточная схема охлаждения

На выбор способа охлаждения влияют:

- режимы работы ЭС;

- конструктивное исполнение;

- рассеиваемая мощность;

- объект установки;

- окружающая среда.

Режим работы ЭС характеризует длительности включенного и выключенного состояния.

Различают три режима работы:

- длительный;

- кратковременный;

- кратковременно-повторный.

Длительный режим характерен для стационарных ЭС, которые находятся во вклю­ченном состоянии в течение многих часов.

Кратковременный режим характерен для бортовых ЭС, время работы, которых не превышает нескольких минут.

При проектировании ЭС с длительным временем включенного состояния воз­никает необходимость в разработке принудительной системы охлаждения.

Для ап­паратуры разового использования с кратковременным режимом работы, можно обойтись без принудительной системы охлаждения.

Предварительные данные о системе охлаждения позволяют получить тепловой анализ платы. Для этого по каждой плате составляется перечень тепловыделяющих ком­понентов, устанавливаются рассеиваемые мощности и максимально допустимые температуры. Платы раз­мещаются по критерию минимального их перегрева. Определяется хладагент.

Рассчитываются плотности qs и qv тепловых потоков компонентов. На основе этих данных выделяются критичные к перегреву компоненты, которые ставятся на теплоотводы. Выбираются системы охлаждения.

Допустимая плотность теплового потока негерметичного ЭС.

|  |  |
| --- | --- |
| **Способ охлаждения** | **Плотность теплового потока qs Вт/см2 не более** |
| Естественная конвекция  и излучение | 0,05 |
| Вынужденная конвекция | 0,5 |
| Водо-воздушное охлаждение | 0,65 |

Допустимая плотность теплового потока при внутреннем охлаждении герметичного ЭС.

|  |  |
| --- | --- |
| **Способ охлаждения** | **Плотность теплового потока  qV Вт/см2, не более** |
| Естественная конвекция и излучение | 0,02 |
| Вынужденная конвекция | 0,45 |
| Водно-воздушное охлаждение | 0,6 |

Если хладагентом является воздух, то надо определить его количество, максимально возможную температуру на выходе системы охлаждения, проверить запыленность и наличие в нем агрессивных примесей. Поставить фильтры.

Для охлажде­ния теплого воздуха до необходимой температуры в систему охлаждения может вводится конди­ционер.

При отсутствии на объекте воздуха в необходимом количестве можно исполь­зовать хладагент (вода) по схеме водно-воздушного охлаждения.

Отсутствие на объекте воздуха или жидкости требует отвода тепла на холодные массивные элементы несущих конструкций.

Параметры и ха­рактеристики технических средств систем охлаждения должны быть согласованы с энергетическими возможностями объекта эксплуатации.

Если на объекте не ока­жется источников электропитания требуемых напряжений и мощности, то возникает необходимость во введении в конструкцию источников питания систем охлажде­ния.

Выбранный способ охлаждения необходимо подтвердить соответствующими тепловыми расчетами.

Существующие методики тепловых расчетов разнообразны, но в большинстве из них теплонагруженные компоненты совместно с конструктивными элементами, на которые они установлены, моделируются условной нагретой зоной.

Нагретая зона ЭС конструктивно выполнена в виде набора печатных плат.