

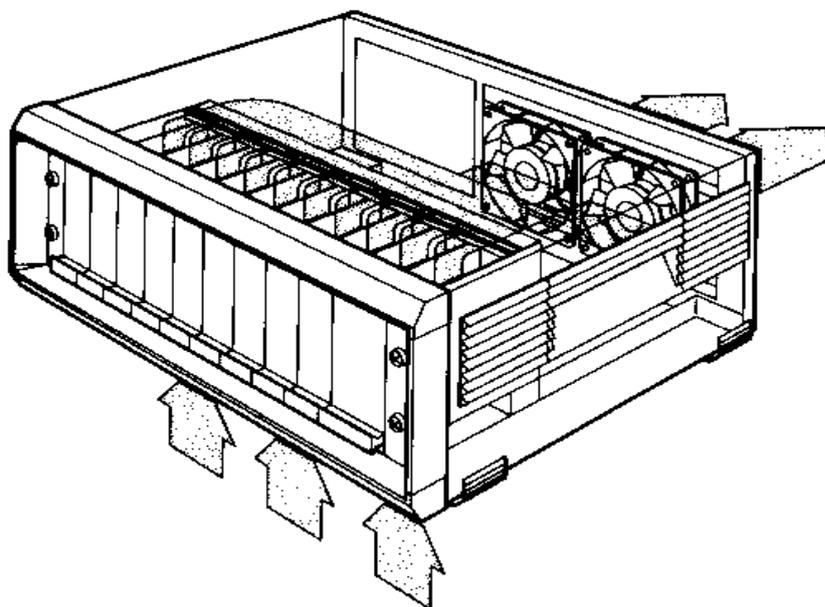


Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры

А.К.Кондаков

РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ РЭС

Методическое пособие для выполнения практического занятия
для студентов радиотехнического факультета по дисциплине
«Основы конструирования и технологии производства
радиоэлектронных средств»



Томск 2012

РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ РЭА

Цель, поставленная в данном пособии, научить студентов производить ориентировочный расчет влагозащиты. Расчетные выражения, представленные в пособии, позволяют решить следующие задачи в зависимости от конкретного технического задания:

- а) определение толщины влагозащитающего покрытия;
- б) определение долговечности РЭА;
- в) определение влагосодержания в РЭА по истечении определенного времени;
- г) выбор материала влагозащитающего покрытия;
- д) определение параметров атмосферы, при которых данная конструкция может сохранять работоспособность в течение заданного времени.

1. Общие положения

Надежность работы РЭА в значительной мере определяется её влажностным режимом. Особенно сильно влажность влияет на такие характеристики надежности, как долговечность и сохраняемость. Под **долговечностью** понимают свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние изделия определяется либо невозможностью его дальнейшей эксплуатации, либо недопустимым снижением эффективности, либо требованиями безопасности и оговаривается в технической документации. Показателями долговечности могут служить ресурс или срок службы. Под **сохраняемостью** понимают свойство изделия сохранять значения установленных показателей его качества в заданных пределах в течение и после сохранения и транспортирования. Показателем сохраняемости может быть средний срок сохраняемости.

Учет влияния на надежность различных дестабилизирующих факторов (влажности, температуры, старения и т.д.) в зависимости от конструктивных параметров составляет основу расчета конструктивной надежности. При таком расчете рассматриваются физические процессы, которые происходят в элементах конструкции под влиянием дестабилизирующих факторов и приводят к разрушению или отказу.

В настоящее время удается рассчитывать с определенными допущениями влияние различных дестабилизирующих факторов на показатели долговечности. Однако до сих пор нет достаточно полных сведений о суммарном воздействии дестабилизирующих факторов на надежность конструкций.

Цель настоящего пособия - научить студентов производить ориентировочный расчет толщины влагозащитных покрытий, обеспечивающих требуемую долговечность деталей и узлов РЭА. Если же толщина покрытия задана, то по указанной методике можно выбрать материал, обеспечивающий требуемую долговечность, а если заданы материал и толщина покрытия, то рассчитывается долговечность изделия. Исходными данными для расчета служат предельно допусти-

мая относительная влажность воздуха для наиболее высокой температуры, при которой работает изделие, и начальная концентрация влаги в защищаемом изделии, а также тип защищаемых элементов и места их расположения в защищаемом изделии.

В качестве показателя долговечности используется срок службы изделия. Приведенная методика позволяет ориентировочно оценить и показатель сохранности (средний срок сохранности). В этом случае в исходных данных и в самом расчете следует вместо относительной влажности при эксплуатации использовать предельно допустимую относительную влажность воздуха при наиболее высокой температуре хранения изделия.

2. Рекомендации по выбору материалов для влагозащиты с помощью покрытий .

Наиболее дешевым и массовым методом защиты изделий от повышенной влажности является герметизация с помощью органических полимерных материалов. Однако этот вид герметизации обладает тем недостатком, что не может обеспечить бессрочного сохранения элементами рабочих свойств ввиду отсутствия сплошности в их строении. Правильным критерием, позволяющим давать оценку материала как герметика, может служить коэффициент влагопроницаемости D' . Для использования в качестве герметиков можно рекомендовать материалы с $D' < 3 \cdot 10^{-8} \text{ г/см} \cdot \text{торр} \cdot \text{ч}$ (1 торр = 1 мм рт.ст.).

В практике производства РЭА применяется несколько способов защиты полимерными материалами (пропитка, заливка, опрессовка, обволакивание и консервация). Пропитка и заливка осуществляются лаками и компаундами; обволакивание и опрессовка – компаундами, пластмассами и плёнками; консервация – полимерными пленками.

Влажностные характеристики лаков приведены в табл. 1. В таблице приняты следующие обозначения: D – коэффициент диффузии, D' – коэффициент влагопроницаемости, h - коэффициент растворимости.

Из приведенных данных видно, что наилучшие влагозащитные свойства у лака Э4100, на втором месте по этим свойствам лак СБ-1-С, на третьем - бакелитовый лак, на четвертом - лак УР-231, на пятом лак ЛЭФ-6.

Таблица 1 - Влажностные характеристики лаков

Лаки	$D \text{ см}^2/\text{ч}$	$D' \text{ г}/(\text{см} \cdot \text{торр} \cdot \text{ч})$	$h \text{ г}/(\text{см}^3 \cdot \text{торр})$
СБ-1-С	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
УР-231	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Э-4100	$7,6 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$
ЛЭФ-6	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
К-47	-	$3,8 \cdot 10^{-8}$	-
Бакелитовый	-	$2,0 \cdot 10^{-9}$	-
Нитролак	-	$1,2 \cdot 10^{-7}$	-

Лак К-47 и нитролак не могут быть рекомендованы для целей влагозащиты ввиду большой величины коэффициента влагопроницаемости.

В табл. 2 приведены значения D' , h и D для большого количества компаундов, пластмасс и резин. Из таблицы видно, что эпоксидные компаунды обладают высокими влагозащитными свойствами; введение пластификатора (тиокола) резко ухудшает эти свойства.

Кремнийорганические компаунды и фторосилаксановые резины имеют невысокие влагозащитные свойства. Обращают на себя внимание хорошие влажностные характеристики пластиков на стекловолокне в качестве подложки. Перенос влаги здесь происходит по связующему веществу (лак ЭД-6) с огибанием волокон материала подложки (стекловолокна), что увеличивает путь диффузии, снижая значение коэффициента диффузии D . Использование в подложках из слоистых пластиков (гетинакс или текстолит) бумаги или текстиля приводит к большим значениям коэффициента растворимости влаги в материале, что ведет к непригодности этих материалов для использования в качестве влагозащиты, несмотря на малые значения коэффициента диффузии. Резины имеют коэффициент влагопроницаемости $D' = 10^{-8} \dots 10^{-9}$ г/(см · торр · ч). Наилучшими влагозащитными свойствами обладают резины С-572, 8508, ШН, ПЛ-118-Па, К-44, К-45.

Таблица 2 - Влажностные характеристики компаундов, пластмасс и резин

Материал	D , см ² /ч	D' г/(см·торр·ч)	h г/(см ³ ·торр)
Эпоксидные компаунды			
Э – 2200	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
К – 115	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
К – 176 НП	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$
К – 176 НС	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$
УП – 584	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
Э – 6/101	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Э – 6/91	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Э – 6/100	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Эпоксидно – тиокольные компаунды			
100 – 200 – 10	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
ЭТ – 120 – 65	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Полиэфирные компаунды			
ПЭ – 1	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
ПЭ - 4	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Кремнийорганические компаунды			
КТМ	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
КТМ – К20	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$
КТ – КРО	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
КМК – 9	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Кабельная полихлорвиниловая композиция			
Чёрная	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
Пластмассы			
К – 211 – 34	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
К – 114 – 35	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
ФКП – 32	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
Аминопласт	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$

Текстолит	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$
Гетинакс марки Б	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Пластик на смоле ЭД – 6			
КПД	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
СТЭР – С – 30	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-11}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$
Пластик на стеклоткани на кремнийорганической смоле М – 1	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Резины фторосилаксиновые			
№738	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$
Английская	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$
№553	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
Резины нитролакриловые			
№213	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Белая	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Резины полиуретановые			
1024	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
1025	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$
Резины марок			
С – 572	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$
С – 633	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
8615	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
8508	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$
К – 32	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$
302	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$
8190	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
9086	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
54	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
1774	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
ОВР	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$
ШН	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
ТСШ № 691	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$
ТСШ № 759	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
ТСШ № 824	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
С – 847	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$
604	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
РС – 1НТ	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
ПЛ – 118 – 1	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
НО – 68 – 1	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
К-54	$4,9 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$
К-45	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
К-44	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$

Полиуретановые резины обладают невысокими влагозащитными свойствами вследствие высоких коэффициентов растворимости воды в материале.

В табл. 3 приводятся влажностные характеристики полимерных смол и пленок на их основе. Наилучшими влажностными характеристиками обладают полимеры фторопласт-3 и саран.

3. Критические влажности для элементов РЭА

В литературе приведены ориентировочные значения критических влажностей (в единицах относительной влажности воздуха при комнатной температуре +20°C) для некоторых элементов РЭА.

Из конденсаторов наиболее чувствительны к изменению влажности бумажные, слюдяные, керамические и стеклянные. Критическая влажность для них 30...50% при температуре 20°C.

Композиционные углеродистые резисторы поверхностного и объемного типов увеличивают своё сопротивление за счет набухания органической связи. Для них критическая влажность 70...80% при температуре 20°C.

Содержание 0,004% паров влаги по объему, в герметизированном корпусе кварцевого стабилизатора частоты вызывает отказ.

Критическая влажность полупроводниковых приборов 40% при температуре 20°C. Пьезокерамические преобразователи могут работать при влажности не выше 50%.

Таблица 3 - Влажностные характеристики полимеров

Полимер	D, см ² /ч	D' г/(см·торр·ч)	h г/(см ³ ·торр)
Полиэтилен высокого давления	4,3·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻³	5,8·10 ⁻⁵
Полиэтилен низкого давления	1,0·10 ⁻⁵	6,0·10 ⁻¹⁰	6,0·10 ⁻⁵
Полистирол	3·10 ⁻³	3,0·10 ⁻⁸	1,0·10 ⁻⁵
Полиметилметакрилат	2,8·10 ⁻⁴	3,6·10 ⁻⁸	1,3·10 ⁻⁴
Полихлорвинил	9,6·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻⁸	1,3·10 ⁻⁴
Фторопласт – 3	3,6·10 ⁻⁷	2,5·10 ⁻¹¹	7,0·10 ⁻⁵
Фторопласт – 4	3,0·10 ⁻⁵	4,6·10 ⁻¹⁰	1,6·10 ⁻⁵
Полиуретан	1,0·10 ⁻⁵	5,3·10 ⁻⁹	5,3·10 ⁻⁴
Поликапролактан	2,0·10 ⁻⁵	5,0·10 ⁻⁸	2,0·10 ⁻³
Полиамид – 68	3,2·10 ⁻⁵	2,0·10 ⁻⁹	6,2·10 ⁻⁵
Полиэтилентерефталат	1,0·10 ⁻⁵	9,0·10 ⁻¹⁰	9,0·10 ⁻⁵
Полихлорстирол	7,2·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁸	2,8·10 ⁻⁵
Триацетатцеллюлоза	3,6·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻⁷	1,7·10 ⁻³
Эпоксисмола	8,2·10 ⁻⁵	7,6·10 ⁻⁹	9,3·10 ⁻⁵
Полипропилен	1,8·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻¹⁰	7,8·10 ⁻⁶
Фторопласт – 40Д	4,6·10 ⁻⁶	3,5·10 ⁻¹⁰	7,5·10 ⁻⁵
Бутил – каучук	2,2·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻¹⁰	·1,110 ⁻⁵
Найрит	3,5·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻⁹	2,7·10 ⁻⁵
Каучук	9,3·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻⁹	2,3·10 ⁻⁵

Бутилакрилат	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$
Капролон	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
Поликарбонат	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-11}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Саран	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-11}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$

4. Допущения, принимаемые при расчёте влагозащиты

Учет всех возможных факторов, определяющих процесс проникновения влаги в элемент или устройство через защищающее покрытие, может чрезвычайно усложнить расчет влагозащиты. Поэтому при разработке упрощенных ориентировочных методов расчета принимают ряд допущений, основные из которых следующие.

1. Коэффициенты диффузии и влагопроницаемости определяются только материалом и не зависят ни от температуры, ни от других факторов.
2. Применим закон Генри $C = h \cdot p$, хотя получен он был лишь для малых влажностей. Здесь: C - концентрация водяных паров, h - коэффициент растворимости, показывающий, сколько граммов водяного пара растворяется в 1 см^3 вещества при давлении водяных паров $p = 1 \text{ мм. рт.ст.}$
3. Площадь диффузии равна геометрической площади контакта поверхности устройства с паром, хотя для толстых покрытий следует считать площадь диффузии, зависящей от координаты.
4. Проникновение влаги происходит только за счет диффузии. Капиллярное проникновение через макроскопические дефекты покрытий не имеет места.
5. Нагрев работающей аппаратуры несущественно затрудняет проникновение влаги в материал.

5. Получение основного расчётного выражения

Требуется получить зависимость между парциальным давлением водяных паров под влагозащитной оболочкой P_i , толщиной влагозащитного покрытия ΔX , влажностными характеристиками материалов и временем диффузии влаги (τ) в изделие, защищенное влагозащитной оболочкой.

Выражение для τ примет вид для невлагоёмких изделий $h = 0$

$$\tau = -\frac{\Delta X^2}{D} \ln \frac{Pa - Pi}{2(Pa - Po)}$$

Подставляя в это выражение для τ $P_i = P_i \text{ кр}$, находим время, в течение которого влажность элемента остаётся меньше предельно допустимого уровня $P \text{ кр}$ т.е. время безопасной работы элемента (срок службы).

В техническом задании на расчет принято указывать относительную влажность воздуха и его температуру. Из табл. 4 можно найти соответствующие заданной температуре значения максимальной упругости (парциального давления) насыщенных паров и абсолютной влажности над водой (или льдом).

Произведение относительной влажности φ на парциальное давление насыщенных паров при данной температуре даёт парциальное давление паров по техническому заданию

$$P_{\varphi} = \frac{P_{100\%} \cdot \varphi}{100}; \quad (1)$$

где: $P_{100\%}$ - парциальное давление насыщенных паров при заданной температуре;

P_{φ} - парциальное давление паров, соответствующее относительной влажности φ , выраженной в процентах.

Для того, чтобы определить толщину влагозащитного покрытия, зная материал покрытия и допустимый срок службы изделия, можно использовать выражение

$$\Delta x = \sqrt{\frac{t_{cl} \cdot D}{-\ln \frac{P_a - P_i}{2 \cdot (P_a - P_o)}}} \quad (2)$$

Для того чтобы расчетный срок службы защищаемого устройства не был намного меньше реального срока, следует в приведенные формулы подставлять среднее парциальное давление водяных паров за время эксплуатации, а не предельные значения. Это связано с тем, что предельно большие влажности (так же как и предельно малые) занимают относительно небольшой промежуток от общего времени эксплуатации.

6. Пример расчета №1

Расчет толщины влагозащитного покрытия для невлагоёмкого изделия.

Задача: Микросхема содержит полупроводниковые элементы и резисторы. Герметизация ее осуществляется при температуре окружающей среды $+5^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 60%. Влагозащита схемы осуществляется лаком Э-4100. Условия эксплуатации (в среднем): влажность 85% при температуре 30°C , Требуемый срок службы 10000 ч. Определить минимальную толщину влагозащитного покрытия. Применяемая для подложки керамика влагу практически не впитывает.

Решение:

а) В разделе 3 приведены значения практических относительных влажностей для применяемых элементов: для резисторов 70 ... 80%, для полупроводниковых приборов 40% при температуре 20°C . Расчёт толщины защитного покрытия следует вести для обеспечения влагозащиты наиболее подверженных влиянию влаги элементов, в данном случае для микросхемы – 40%.

б) По табл. 4 определяем парциальное давление насыщенных водяных паров для микросхемы при температурах 5°C , 20°C , 30°C .

$t = 5^{\circ}\text{C} - P = 6,54 \text{ мм. рт.ст.};$

$t = 20^{\circ}\text{C} - P = 17,532 \text{ мм. рт.ст.};$

$t = 30^{\circ}\text{C} - P = 31,827 \text{ мм. рт.ст.}$

в) По формуле (1) определения парциального давления рассчитываем:

- Начальное парциальное давление водяных паров микросхемы (P_0) при ее изготовлении – по условию задачи герметизация микросхемы осуществлялась при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 60%.

- Парциальное давление водяных паров окружающей среды (P_a) – по условию задачи условия эксплуатации соответствуют влажности 85% при температуре $+30^{\circ}\text{C}$.

- Критическое парциальное давление водяных паров в микросхеме ($P_{кр}$) – для полупроводниковых приборов 40% относительная влажность и температура 20°C .

$$P_0 = 0,6 \cdot 6,54 = 3,924 \text{ мм. рт.ст.};$$

$$P_a = 0,85 \cdot 31,827 = 27,05 \text{ мм.рт.ст.};$$

$$P_{i \text{ кр}} = 0,4 \cdot 17,532 = 7,01 \text{ мм. рт.ст.}$$

г) Из общей формулы определения времени диффузии влаги в изделие определяем толщину влагозащитного покрытия, если использовать материал лак Э-4100, коэффициент диффузии которого $D = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{ч}$ (см. табл. 1).

$$\Delta X = \sqrt{\frac{\tau \cdot D}{-\ln \frac{P_a - P_i}{2(P_a - P_0)}}} = \sqrt{\frac{7,6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4}{-\ln \frac{27,05 - 7,01}{2(27,05 - 3,924)}}} = 0,3 \text{ см}$$

7. Пример расчета №2

Рассчитать толщину влагозащитного покрытия микросборки. Требуемый срок службы $t_{сл} = 6000$ часов.

Расчет будем осуществлять по методике, изложенной выше.

Для герметизации выберем тиксотропный компаунд Ф-47, рекомендованный для герметизации микросборок, коэффициент диффузии компаунда $D = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{ч}$.

Критическая влажность для полупроводниковых приборов – 40 % при температуре 20°C . Герметизация осуществляется при температуре 5°C и относительной влажности $\varphi = 80\%$.

1. Парциальные давления водяных паров, определяем по формуле:

$$P = \frac{P_{100\%} \cdot \varphi}{100},$$

где $P_{100\%}$ – парциальные давления при заданной температуре, определяемые из таблицы 4, мм рт. ст.

Парциальное давление водяных паров окружающей среды при температуре 20°C :

$$P_a = \frac{17,532 \cdot 80}{100} \approx 14,025 \text{ мм. рт. ст.}$$

Таблица 4 – Значение максимальной упругости (парциального давления) насыщенных паров (Р) и абсолютной влажности (А_М) над водой и льдом при различных температурах и номинальном давлении.

Температура, °С	Р	Р	А _М
	мбар	мм рт.ст.	г/м ³
-50	0,04	0,0295	0,038
-45	0,07	0,0540	0,068
-40	0,13	0,0966	0,12
-35	0,23	0,119	0,20
-30	0,38	0,286	0,34
-25	0,64	0,473	0,54
-20	1,05	0,776	0,88
-15	1,67	1,246	1,40
-10	2,62	1,950	2,14
-5	4,03	3,022	3,27
0	6,11	4,579	4,85
5	8,719	6,540	6,83
10	12,272	9,205	9,35
15	17,055	12,811	12,84
20	23,373	17,532	17,30
25	31,671	23,756	23,05
30	42,430	31,827	30,30
35	56,236	42,183	38,45
40	73,777	55,340	51,91
45	95,855	71,901	65,0
50	123,4	92,562	82,63

Критическое парциальное давление водяных паров в микросборке при температуре 20 °С:

$$P_i = \frac{17,532 \cdot 40}{100} \approx 7,01 \text{ мм рт. ст.}$$

Начальное парциальное давление водяных паров в микросборке при температуре 5 °С:

$$P_0 = \frac{6,54 \cdot 60}{100} = 3,924 \text{ мм. рт. ст.}$$

2. Расчет толщины Δх влагозащитного покрытия производим по формуле:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{t_{сл} \cdot D}{-\ln \frac{P_a - P_i}{2 \cdot (P_a - P_o)}}} = \sqrt{\frac{6000 \cdot 5,4 \cdot 10^{-5}}{-\ln \frac{14,025 - 7,01}{2 \cdot (14,025 - 3,924)}}} \approx 0,553 \text{ см} \approx 5,53 \text{ мм,}$$

где t_{сл} = 6000 ч – срок службы микросборки.

8 ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

8.1 Козлов В.Г., Кобрин Ю.П., Кондаков А.К. Основы проектирования электронных средств: Методическое пособие / Томск, ТУСУР, 2006г., 172 с.

8.2 Основы проектирования электронных средств. Общие принципы проектирования : учебное пособие / В. Г. Козлов, А. П. Бацула, Ю. П. Кобрин ; - Томск : ТУСУР, 2005. - 150 с.