

Анализ факторов, влияющих на интенсивность электрохимической миграции

Сокольский А.М.*, Сокольский М.Л.**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: sokol347@gmail.com*

***e-mail: mikky63@yandex.ru*

Аннотация

В данной статье рассматривается проблема возникновения явления электрохимической миграции, и факторы, влияющие на ее интенсивность. Явление электрохимической миграции заключается в том, что при появлении разности потенциалов между расположенными близко друг к другу проводниками и наличии токопроводящей среды (электролита) начитается рост проводящих нитей – дендритов. Наличие дендритов может привести к сбоям в работе авиационных приборов, и, как следствие к выходу их из строя. Для выявления факторов, увеличивающих интенсивность электрохимической миграции, был проведен ряд экспериментальных исследований в климатической камере с имитацией условий полета летательного аппарата. И также, даны рекомендации по уменьшению вероятности возникновения электрохимической миграции.

Ключевые слова: авионика, электрохимические процессы отказов, физическая надежность, электроизоляционные конструкции.

При проектировании бортовой аппаратуры летательных аппаратов особое внимание необходимо уделять ее физической надежности, так как выход из строя даже одного элемента, используемого в аппаратуре авионики, может привести к катастрофическим последствиям. Выход из строя происходит по самым разным причинам, но наиболее часто встречающиеся причины это:

- Программная ошибка.
- Различные помехи при работе аппаратуры.
- Вышедшие из строя комплектующие.
- Дефекты сборки и т.д.

Причин выхода из строя бортовой аппаратуры летательных аппаратов, действительно, великое множество, и все они могут привести к довольно печальным последствиям. Одна из наименее изученных причин - это явление электрохимической миграции в печатных платах авионики.

Явление электрохимической миграции [1] заключается в том, что при наличии токопроводящей среды и разности потенциалов, проводник с меньшим потенциалом, выступая в роли катода, отдает положительно заряженные ионы металла в слой электролита (Рис.1).

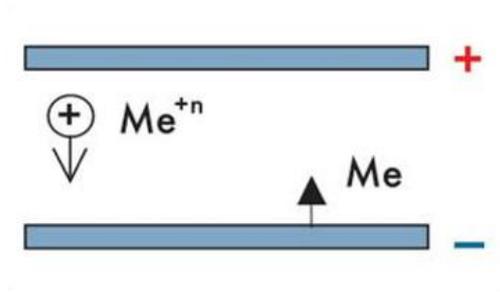


Рис.1. Ионы металла в слое электролита.

В свою очередь, положительные ионы металла осаждаются на проводнике с большим потенциалом, который выступает в роли анода (Рис.2).

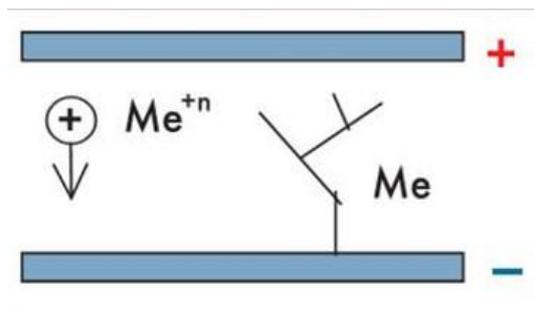


Рис.2. Рост токопроводящих «мостиков».

Ионы металла, осаждаясь на аноде образуют токопроводящие «мостики», сопротивление которых, при достижении соседнего проводника, может достигать нескольких Ом (Рис.3).

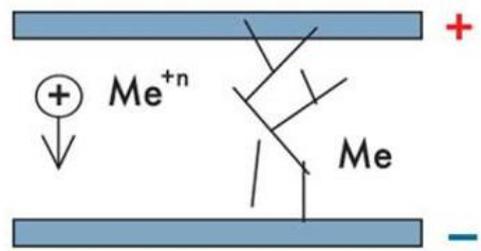


Рис.3. Начало короткого замыкания.

Вследствие этого может произойти короткое замыкание и выход из строя оборудования летательного аппарата или сбой работы программного обеспечения, что может привести к гибели летательного аппарата.

Ниже перечислены факторы, необходимые для возникновения электрохимической миграции в печатных платах авионики [2]:

- Наличие пары расположенных рядом проводников.
- Наличие разности потенциалов между проводниками.
- Наличие жидкого токопроводящего слоя между проводниками.

На первых двух пунктах останавливаться подробно смысла нет, так как это очевидно. Более подробно стоит остановиться на третьем пункте.

При производстве печатных плат на поверхность попадают загрязнения (соли, щелочи, и т.д.). Конечно, поверхность платы, во время производства, неоднократно очищается, но абсолютно чистой поверхности платы добиться не удастся. Загрязнения, в том или ином виде, остаются на ее поверхности [3].

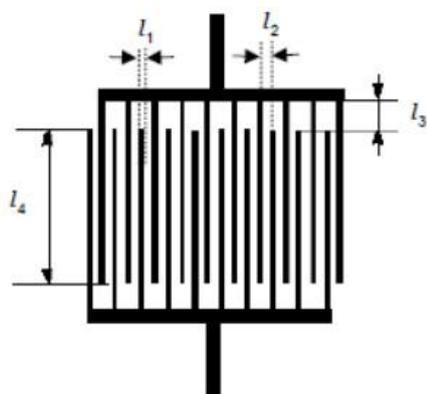
На завершающем этапе производства авиационного оборудования печатную плату покрывают влагозащитным слоем, для того, чтобы исключить попадание влаги на поверхность печатной платы [4]. Однако, влагозащитный слой может ложиться неравномерно, а также он может стекать с выступающих частей элементов авионики, что провоцирует нарушение влагозащитного слоя печатной платы.

При эксплуатации авиационная аппаратура подвергается экстремальным перепадам температуры. Например, при стоянке летательного аппарата в южных районах страны или в странах ближнего Востока, в которые в настоящее время наша страна экспортирует много самолетов, его корпус, а так же и авионика внутри его нагревается до температур, превышающих $+60^{\circ}\text{C}$. При наборе высоты до 10000 метров температура понижается до -50°C , а при снижении летательного аппарата температура опять резко повышается. Влагозащитное покрытие испытывает подобные перепады температур на себе не один десяток раз, это приводит к тому, что поверхность влагоизоляционного слоя покрывается незаметными глазе микропорами и микротрещинами, в которые может проникнуть жидкость, которая конденсируется на поверхностях печатных плат авионики [5].

Откуда же появляется жидкость на поверхности печатной платы? При снижении летательного аппарата (резкое повышение температуры окружающей среды) он проходит точку росы (определенные значения температуры и влажности, при которых происходит конденсация влаги на поверхности объекта, температура которого ниже чем температура окружающей среды на некоторое значение для определенного относительной влажности.). Именно в этот момент на поверхности печатной платы появляется жидкость, которая, проникая через микропоры и микротрещины попадает под влагозащитный слой, смешивается с загрязнениями,

оставшимися на поверхности после очистки печатной платы. Запускается процесс электрохимической миграции [6].

Для того, чтобы выяснить, какие факторы влияют на интенсивность процесса электрохимической миграции было изготовлено несколько тестовых плат (Рис.4), и проведена серия экспериментов [7].



Образец	А	В	С
Ширина проводника (11)	0,165	0,318	0,635
Ширина зазора (12)	0,165	0,318	0,635
Перекрытие (13)	15,75	15,75	15,75
Расстояние между проводником и базой (14)	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$

Рис.4. Тестовая плата, по стандарту **IPC-SM-840**

Для исследования явления электрохимической миграции была создана экспериментальная установка (Рис.5).

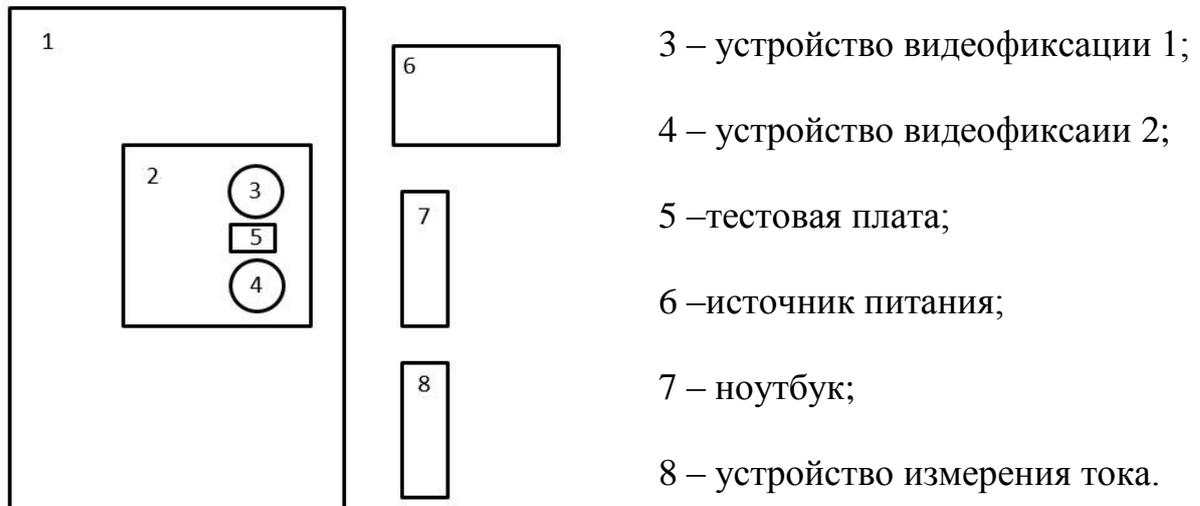


Рис.5. Экспериментальная установка.

Методика проведения эксперимента:

1. В климатическую камеру помещается тестовая плата.
2. На тестовую плату подается напряжение 3.3, 5 или 10 вольт.
3. Климатическая камера работает в режиме термоциклирования, с относительной влажностью 80%. Вначале эксперимента достигается максимальная температура T_{\max} и выдерживается 10 минут (имитируется нахождение летательного аппарата на взлетно-посадочной полосе), затем температура начинает понижаться до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдерживается 10 минут (имитируется взлет и полет летательного аппарата), после этого, температура

начинает повышаться до значения T_{\max} (имитация снижения и посадки летательного аппарата).

4. Во время повышения температуры на поверхности тестовой платы начинает образовываться конденсат, и начинается рост дендритов, что приводит к появлению тока между проводниками тестовой платы, значения которого фиксируется устройствами видеофиксации и устройством измерения тока.
5. В тот момент, когда значение тока достигало максимума, происходило высыхание электролитического слоя, что приводило к прекращению роста дендритов и падению значения тока до нуля.
6. Данный эксперимент проведен для значений T_{\max} от 0 до 50 °С с шагом 10 °С и напряжения U 3.3, 5 и 10 В.

Результаты эксперимента можно увидеть на графиках ниже (Рис. 6,7,8)

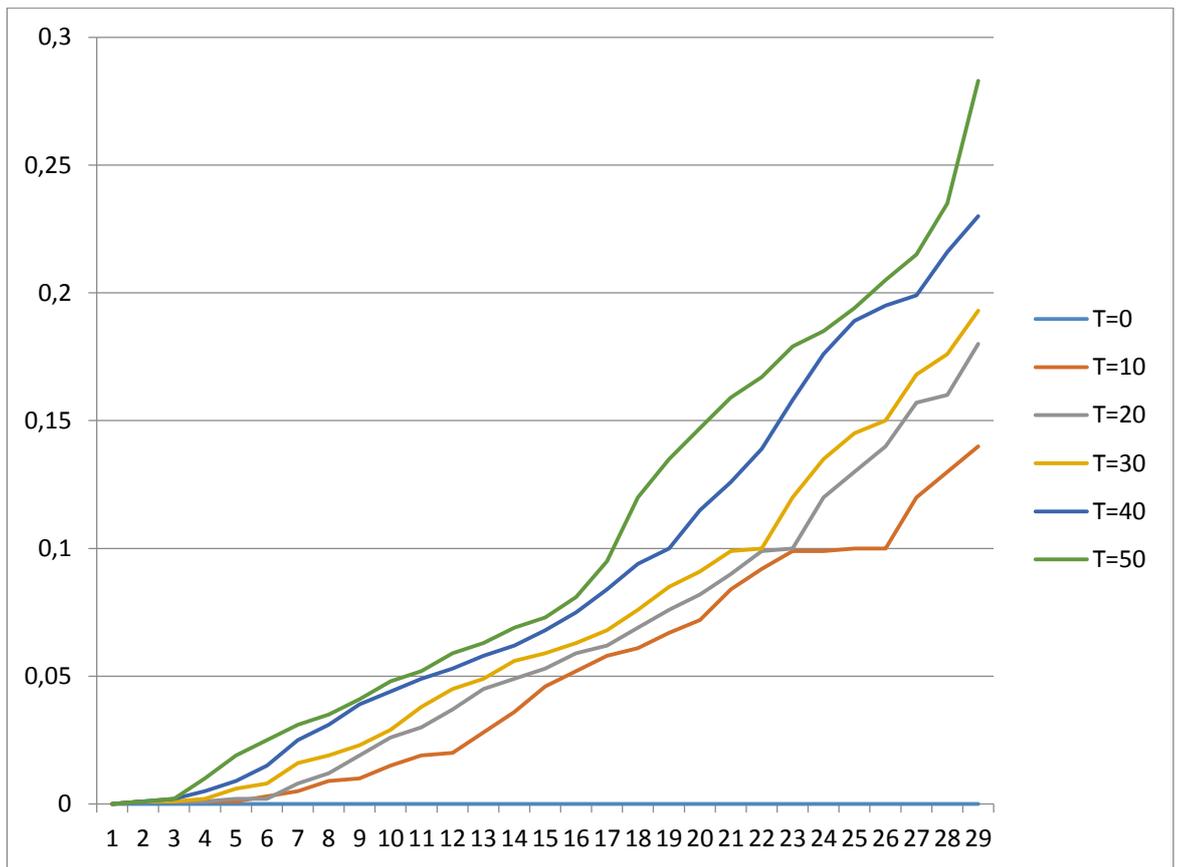


Рис.6. Результаты экспериментов при температуре T_{\max} 50, 40, 30, 20, 10, 0 °C, при $U=3,3В$.

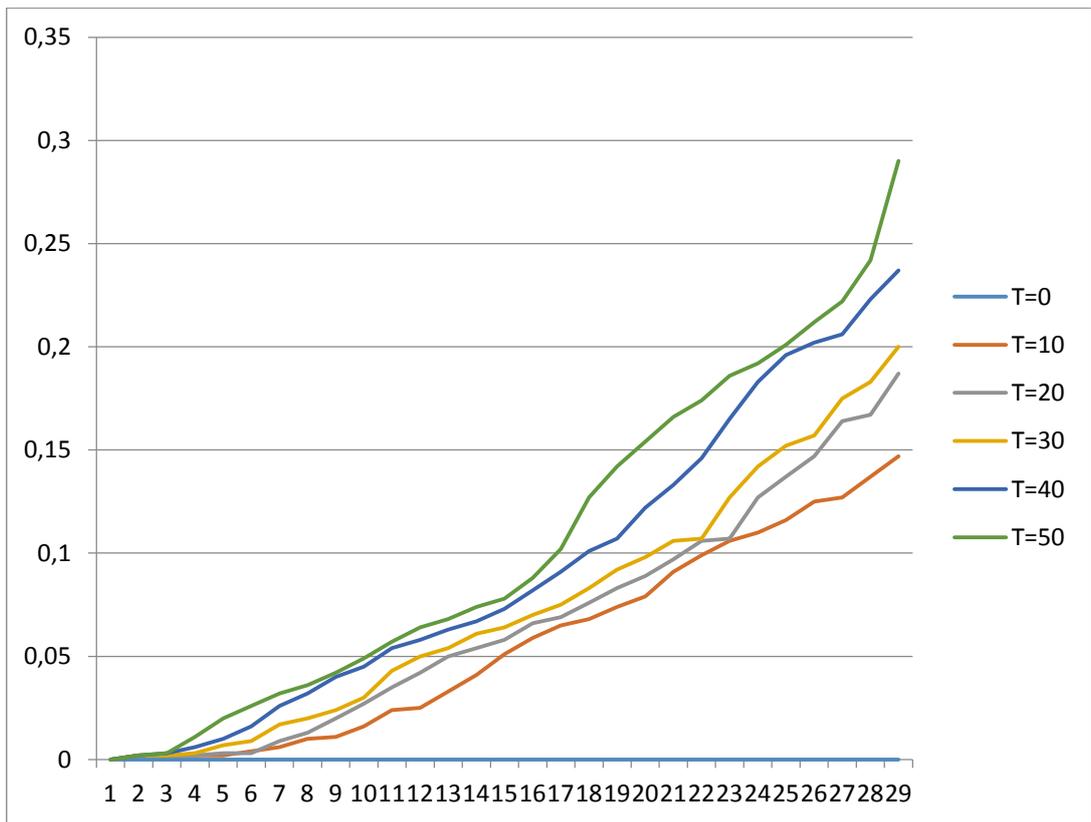


Рис.7. Результаты экспериментов при температуре T_{\max} 50, 40, 30, 20, 10, 0 °C, при $U=5V$.

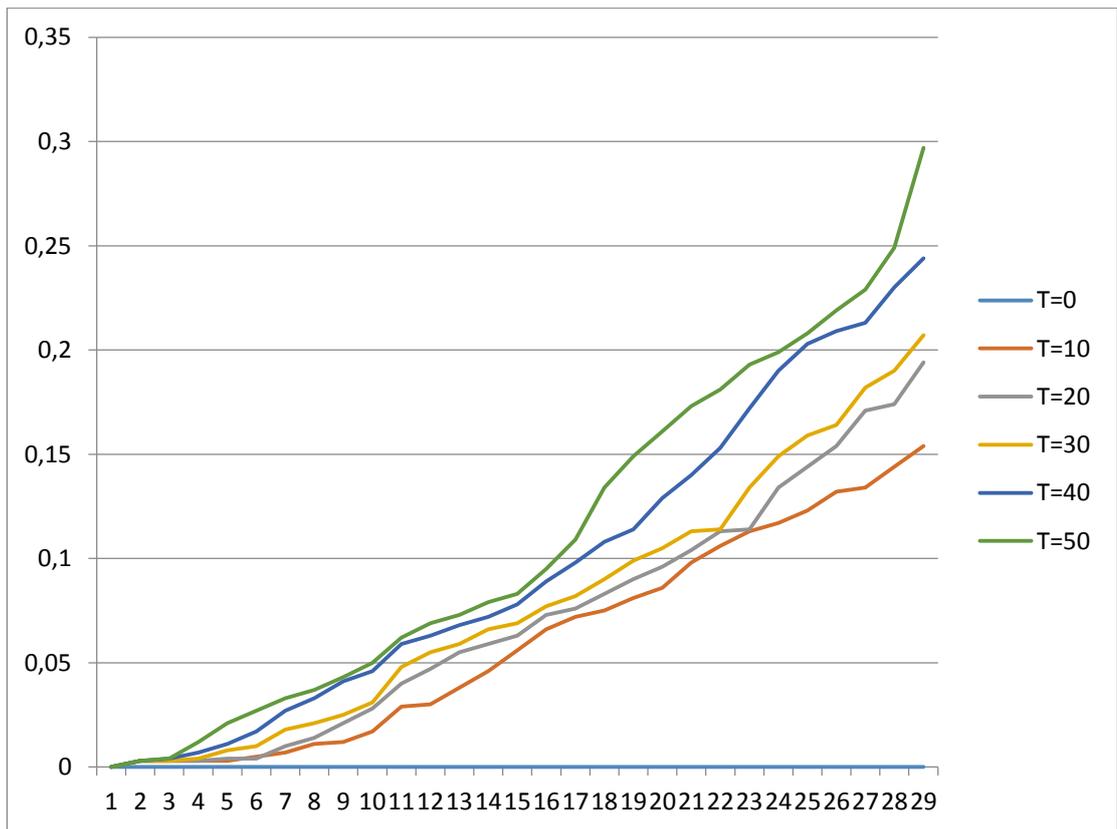


Рис.8. Результаты экспериментов при температуре T_{\max} 50, 40, 30, 20, 10, 0 °C, при $U=10V$.

Проанализировав результат эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. При температуре, равной температуре замерзания жидкости, явление электрохимической миграции не наблюдается;
2. Время начала роста дендритов зависит от температуры окружающей среды и разности потенциалов между проводниками:
 - а) с повышением температуры окружающей среды начало роста дендритов наступает раньше и происходит более интенсивно (ток растет быстрее);

б) повышением разности потенциалов между проводниками начало роста дендритов наступает раньше, а интенсивность роста дендритов зависит от разности потенциалов в меньшей степени (разница в токах, при разных напряжениях не сильно заметна).

Для того, чтобы не допустить выход из строя авиационных приборов из-за электрохимической миграции необходимо устранить хотя бы один из факторов, от которых зависит возникновение явления электрохимической миграции. Так как невозможно устранить наличие пары расположенных рядом проводников и разности потенциалов между ними из-за конструктивных особенностей авиационных приборов, то необходимо устранить третий фактор, влияющий на возникновение явления электрохимической миграции, а именно наличие жидкого токопроводящего слоя между проводниками. Для этого нужно не допустить выпадение конденсата на поверхности печатной платы, тем самым предотвратить его попадание под влагозащитный слой. Эта мера позволит устранить необходимое условие для возникновения электрохимической миграции.

Библиографический список

- 1.Медведев А.М. Электрохимическая миграция в композиционных материалах, используемых в электроизоляционных конструкциях авионики // Конструкции из композиционных материалов. 2013. № 3. С. 55-61.
- 2.Phil Kinner How to increase end-product lifetime and reliability. Electronics Productions and Test, no. 04, 2015, pp. 17-19.

3. Анамова Р.Р. Автоматизация подготовки аддитивного производства изделий авиационной техники // Труды МАИ, 2015, № 82: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=58823>
4. Медведев А.М., Сокольский А.М. Технологическое обеспечение надежности электрической изоляции электронных сборок авионики // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2015. №11. С. 41-44.
5. Обухов Ю.В., Попов А.С., Орлов А.С., Котова А.О. Применение имитационного моделирования для оценки безопасности полетов // Труды МАИ, 2015, № 81: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=57729>
6. Лубков Н.В., Спиридонов И.Б., Степанянц А.С. Влияние характеристик контроля на показатели надежности систем // Труды МАИ, 2016, № 85: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=67501>
7. Медведев А., Арсентьев С. Изготовление односторонних печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2015. №78. С. 33-38.