



УДК 620.193  
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-4



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Исследование финишных защитных покрытий печатных плат

**Евгения Анатольевна Данилова**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
siori@list.ru

**Михаил Александрович Нелюцков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
nelyuckovmihail@mail.ru

**Диана Евгеньевна Тузова**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
siori@list.ru

**Аннотация.** Рассмотрены современные финишные покрытия, применяемые при производстве для защиты печатных плат от воздействия коррозии. Раскрывается понятие коррозии и рассмотрен ее принцип действия. Описан порядок проведения экспериментов, а именно: испытание с сернистым газом SO<sub>2</sub>, испытание по Кестернику, испытание в солевом тумане, испытание поверхностного сопротивления изоляции. Получены результаты, позволяющие проводить выбор покрытия с наилучшей коррозионной стойкостью.

**Ключевые слова:** коррозионная стойкость, дендриты, коррозия, сернистый газ, солевой туман, поверхностное сопротивление, испытание по Кестернику, испытание, директива RoHS

**Для цитирования:** Данилова Е. А., Нелюцков М. А., Тузова Д. Е. Исследование финишных защитных покрытий печатных плат // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(2). С. 1–9. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-4

## Research on finishing protective coatings for printed circuit boards

**Evgeniya A. Danilova**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
siori@list.ru

**Mikhail A. Nelyutskov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
nelyuckovmihail@mail.ru

**Diana E. Tuzova**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
siori@list.ru

**Abstract.** The article discusses modern finishing coatings used to protect printed circuit boards from corrosion. The concept of corrosion is revealed and its principle of operation is considered. The following experiments have been carried out: sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) test; the Kesternich test; salt spray test; surface insulation resistance test. The obtained results have allowed selecting a coating with the best corrosion resistance.

**Keywords:** corrosion resistance, dendrites, corrosion, sulfur dioxide, salt spray, surface resistance, Kesternich test, test, Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Directive

**For citation:** Danilova E.A., Nelyutskov M.A., Tuzova D.E. Research on finishing protective coatings for printed circuit boards. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(2):1–9. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-4



## Введение

Современное производство постоянно наращивает темпы и качество производства, а также возрастают требования к гарантийным срокам. Одним из основных вопросов в обеспечении длительной эксплуатации изделий радиоэлектроники, и в частности печатных плат, является вопрос коррозионной стойкости изделий.

В недалеком прошлом методом защиты печатных плат от коррозии было лужение с выравниванием воздушным ножом (*HASL*). Основой данного покрытия служил свинец. Он обеспечивал отличную коррозионную стойкость. Однако в июле 2006 года в силу вступила директива *RoHS*, которая ограничила использование покрытия *HASL* с применением свинца. Лужение без свинца обладает рядом недостатков, а именно неравномерность покрытия и пагубные воздействия на базовый материал.

В реалиях современных производств наблюдается постоянный рост требований по надежности изделий, которая определяет безотказность и долговечность, что сказывается на конечной стоимости изделия. Надежность электронных устройств становится решающим продуктовым и ценовым преимуществом. Поэтому встает вопрос о подборе такого финишного покрытия, которое позволит обеспечить необходимую степень надежности в заданных условиях эксплуатации [1].

## Понятие коррозии

Под коррозией понимается процесс самопроизвольного разрушения металлов и их сплавов под влиянием внешней среды (от лат. *corrosio* – «разъедание»).

С физико-химической точки зрения, коррозия ведет к изменению свойств материала, запускающему деградационные процессы, вызывающие дефекты и потерю работоспособности изделия.

Для разработки эффективных защитных покрытий важно понимать, какие условия приводят к снижению надежности отдельных элементов радиоэлектронной аппаратуры и работоспособности изделия в целом.

Уровень влажности выше нормы в совокупности с ветром и солевой средой оказывают сильное коррозионное влияние на финишное покрытие. Негативное воздействие также оказывают газы ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ) в комбинации с определенным уровнем влажности.

Коррозионные процессы приводят к образованию оксидных соединений, которые могут стать причинами разрывов или коротких замыканий в изделии (рис. 1), также коррозия может вывести из строя переключатели и стать причиной потери контакта.

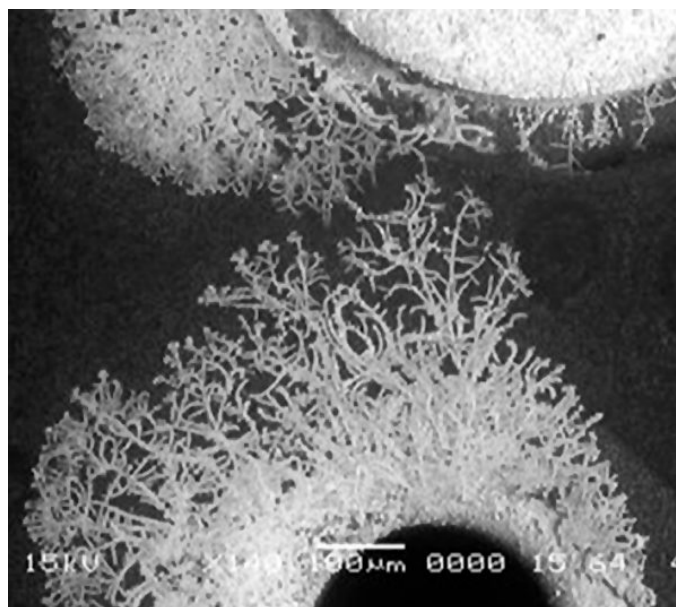


Рис. 1. Устройство с финишным покрытием иммерсионным серебром ( $\text{Cu}_2\text{S}$  осаждается из раствора в виде дендритных структур)

## Механизм коррозии

Весь процесс коррозионного разрушения изделия условно можно разделить на два этапа. Первые признаки коррозии – это поверхностное потускнение. На металле образуется оксидная пленка, причиной которой является адсорбция кислорода.



Если не избавиться от потускнения и не защитить поверхность, то вскоре на ней начнут образовываться отложения. Молекулы металла, мигрируя на поверхность, образуют оксиды. Из-за этого поверхность становится рыхлой, что может привести к нарушению работы (рис. 2).

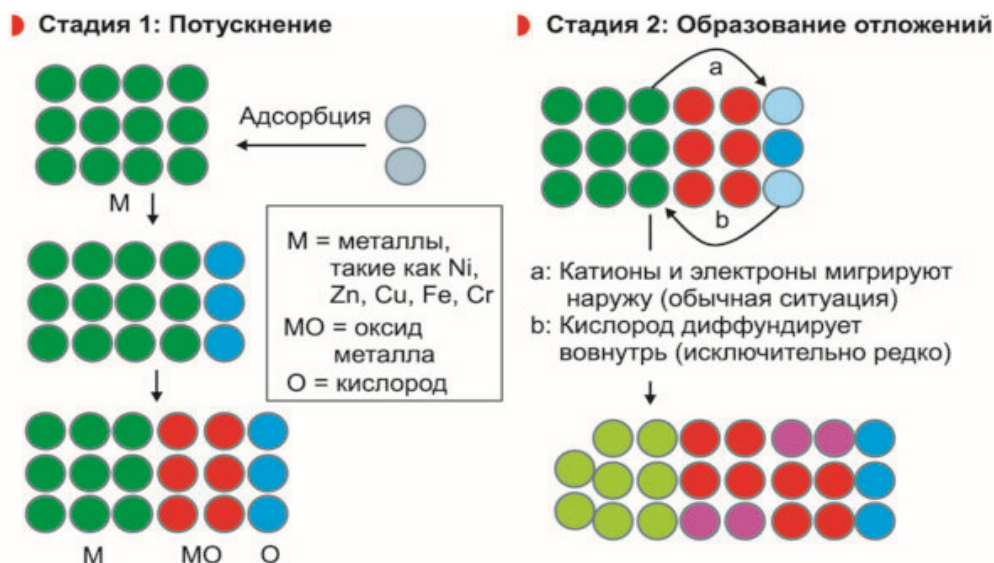


Рис. 2. Механизм коррозии

Описание испытаний.

Для оценки стойкости покрытий к условиям агрессивной среды были использованы четыре методики испытаний.

Для исследований применялись следующие методы:

- испытание с сернистым газом  $SO_2$ ;
- испытание по Кестернику;
- испытание в солевом тумане;
- испытание поверхностного сопротивления изоляции.

Испытания проводились на различных печатных платах с применением пяти финишных покрытий (табл. 1), а именно:

- химический никель / иммерсионное золото (*ENIG*);
- химический никель / химический палладий / иммерсионное золото (*ENEPIG*);
- иммерсионное серебро;
- иммерсионное олово [2];
- OSP (органическое защитное покрытие).

Таблица 1

Данные по финишным покрытиям

Покрытие	Толщина
<i>ENIG</i> (7–9,5 %P вес.) ср. P	Ni 5 мкм / Au 0,07 мкм
<i>ENIG</i> (10–13 %P вес.) выс. P	Ni 5 мкм / Au 0,07 мкм
<i>ENEPIG</i> (Ni-P / Pd / Au)	Ni 5 мкм / Pd 0,1 мкм / Au 0,03 мкм
<i>ENEPIG</i> (Ni-P / Pd-P / Au)	Ni-P 5 мкм / Pd-P 0,1 мкм / Au 0,03 мкм
<i>ImSn</i>	Sn 0,8–0,9 мкм
<i>ImAg</i>	Ag 0,3–0,5 мкм
<i>OSP</i>	Органическое покрытие

Следует отметить, что проводилось шесть циклов испытаний, в то время как обычно проводят один или два цикла по промышленным стандартам *DIN 50021/ISO 9227*. Все образцы условно были разделены на две группы: со фтором в слое палладия и без него [3].

### Испытания в сернистом газе ( $SO_2$ )

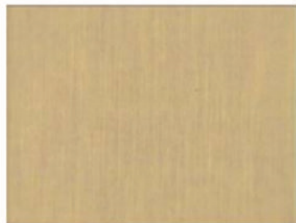
Испытание имитирует влажную среду с содержанием диоксида серы. Согласно требованиям, *DIN 50018:1997* и *ISO 6988:1985* испытание с сернистым газом  $SO_2$  проводится при следующих условиях:



- число циклов: шесть подряд;
- длительность цикла: 24 ч;
- содержание  $\text{SO}_2$ : 10 ppm;
- температура: +42 °С;
- нагрев эксикатора в печи.

После окончания всех циклов печатная плата проходит осмотр при большом увеличении. Ведется подсчет количества пор, образовавшихся в результате коррозии (рис. 3).

До испытания с сернистым газом  $\text{SO}_2$



После испытания с сернистым газом  $\text{SO}_2$

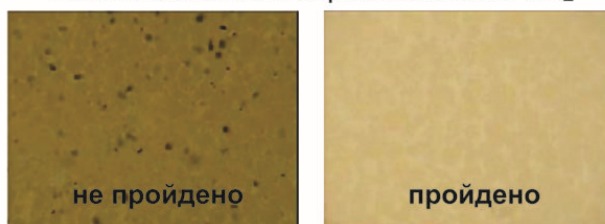


Рис. 3. Пример критерия прохождения испытания с сернистым газом  $\text{SO}_2$

### Испытание по Кестернику

Данный вид испытаний дает представление о стойкости покрытий в промышленной среде. Для этого создаются условия, имитирующие осадки в виде кислотного дождя. По стандарту *DIN EN ISO 6988* при проведении испытания необходимо соблюдение следующих условий:

- число циклов: шесть подряд;
- длительность цикла: 24 ч;
- нагрев: 8 ч / 40 °С / 100 % отн. вл;
- вентиляция: 16 ч / комн. темп. / <75 % отн. вл;
- содержание  $\text{SO}_2$ : 200 мл на камеру 300 л.

После испытаний в камере (рис. 4) проводится визуальный осмотр исследуемого устройства, с увеличением в 50 раз.



Рис. 4. Камера для испытания по Кестернику





### Испытание в солевом тумане

Испытание проводится в камере (рис. 5), которая создает повышенную влажность с большим содержанием солей. Таким образом воссоздаются условия морского климата. В соответствии с требованиями *DIN 50021 / ISO 9227* для испытания устанавливаются следующие условия:

- испытательный раствор NaCl: 50 г/л;
- pH испытательного раствора: 6–7,5;
- температура: +35 °С;
- объем тумана: 1,5 мл/ч (16 ч – среднее значение).

Для оценки результатов испытаний производится визуальный осмотр с увеличением в 50 раз.



Рис. 5. Камера для испытания в солевом тумане

### Испытание поверхностного сопротивления изоляции (SIR)

Для выявления межпроводниковых загрязнений испытуемый образец проходит испытание *SIR*. Механизм данного испытания заключается в измерении электрического сопротивления между проводниками. Наличие между проводниками загрязнений (солей и воды) приводит к образованию раствора электролита, который снижает электрическое сопротивление и может привести к короткому замыканию.

По окончании испытаний все образцы проходят оценку на основе двух критериев:

- рост дендритов должен составлять менее 25 % зазора;
- сопротивление должно быть больше  $10^8$  Ом.

Испытания проводятся при следующих условиях:

- температура: +85 °С;
- относительная влажность: 85 %;
- продолжительность: семь дней;
- смещение: 50 В.

### Результаты испытания с сернистым газом SO<sub>2</sub>

Все образцы, прошедшие испытания, оценивались при следующих условиях воздействий:

- в состоянии при получении (*AsR*) без воздействия SO<sub>2</sub>;
- после одного цикла оплавления без воздействия SO<sub>2</sub>;
- в состоянии при получении (*AsR*) с воздействием SO<sub>2</sub>;
- после одного цикла оплавления с воздействием SO<sub>2</sub>.

Анализ результатов испытаний покрытий *ENIG* и *ENIPIG* позволяет сделать следующие выводы:

– покрытия *ENIG* (с большим содержанием фосфора) и *ENEPIG* (с чистым палладием) показали наилучшие результаты, проявив лишь небольшие признаки окисления (рис. 6,а);



– все образцы (иммерсионное серебро, иммерсионное олово и органическое защитное покрытие) успешно прошли первый цикл испытаний в SO<sub>2</sub>, однако иммерсионное серебро и неорганическое покрытие потеряли коррозионную стойкость (рис. 6,б). Лидером данной группы стало иммерсионное олово, которое хоть и потускнело, но смогло сохранить коррозионную стойкость.

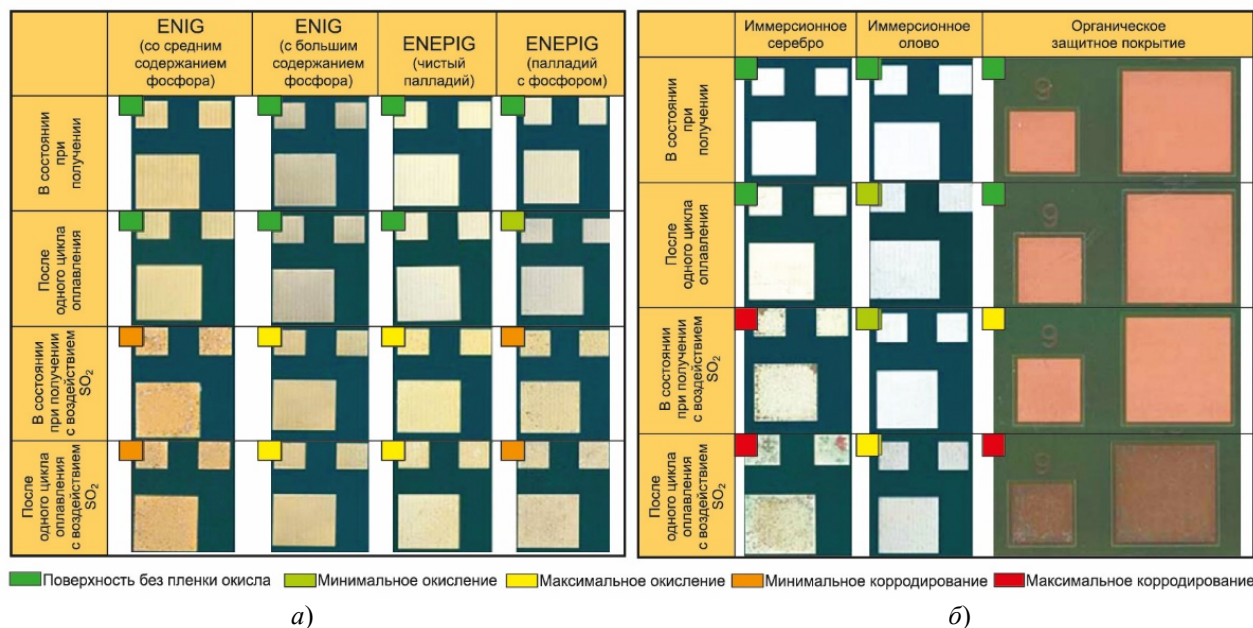


Рис. 6. Результаты испытания с сернистым газом SO<sub>2</sub> покрытий

### Результаты испытаний по Кестернику

При проведении данного испытания оценивались все шесть циклов. На рис. 7 представлены результаты испытаний, которые показали, что покрытие *ENIPIG* имеет достаточно хорошие показатели коррозионной стойкости. Через все шесть циклов наблюдается лишь легкая коррозия образца. В свою очередь два образца *ENIG* показали совершенно разные результаты. Следует отметить, что покрытие *ENIG* с небольшим содержанием фосфора полностью корродировало, а такое же покрытие с высоким содержанием фосфора лишь незначительно подверглось коррозии. Из этого можно сделать вывод, что высокое содержание фосфора повышает общую коррозионную стойкость.

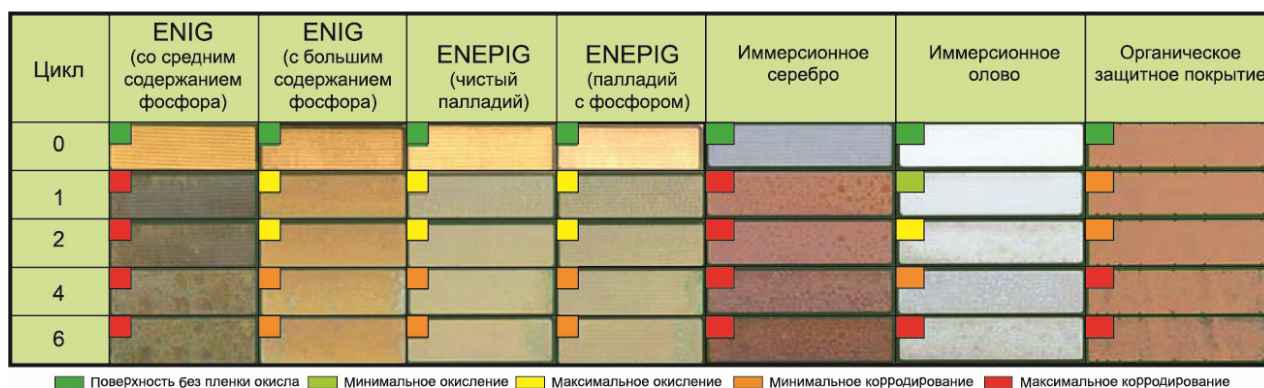


Рис. 7. Внешний вид образцов после испытания по Кестернику

Иммерсионное серебро полностью провалило испытание, уже после первого цикла поверхность полностью деградировала, а во втором цикле полностью корродировало. Органическое защитное покрытие и иммерсионное олово выдержали большее чисто циклов. В частности, иммерсионное олово показало отличные результаты и полностью корродировало лишь после шестого цикла.

### Результаты испытания в солевом тумане

Испытание в солевом тумане является одним из самых жестких испытаний. Покрытия *ENIG* (со средним содержанием фосфора) и *ENEPIG* показали высокий уровень коррозии, а вот покрытие *ENIG*



с высоким содержанием фосфора после четырех испытаний практически не проявило признаков коррозии, что еще раз подтверждает защитные свойства фосфора [4].

Среди иммерсионного олова, иммерсионного серебра и органического покрытия наилучший результат, наравне с ENIG, показал первый из рассмотренных образцов. В свою очередь второй и третий образцы не достигли необходимых показателей (рис. 8).

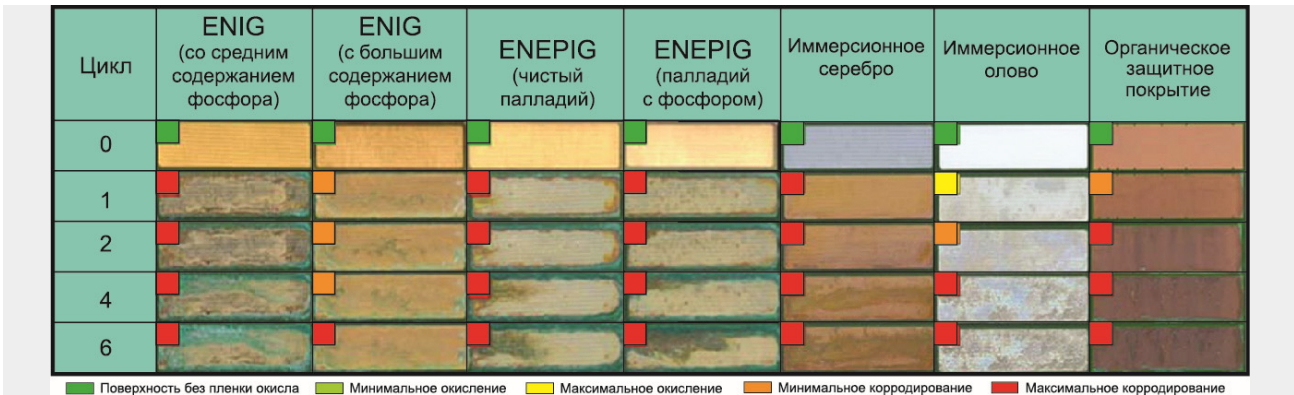


Рис. 8. Внешний вид образцов после испытания в солевом тумане

### Результаты испытания поверхностного сопротивления изоляции (SIR)

Основная цель испытания – выявление наличия ионного загрязнения. Чтобы оценить результаты испытаний были применены такие методы, как визуальный осмотр (увеличение 50x) для поиска дендритов и измерение сопротивления изоляции.

Испытания проводились при следующих условиях:

- в состоянии при получении (*AsR*);
- после трех дней и трех циклов оплавления;
- после семи дней и трех циклов оплавления.

По результатам испытаний ни один образец не показал видимого роста дендритов (рис. 9).

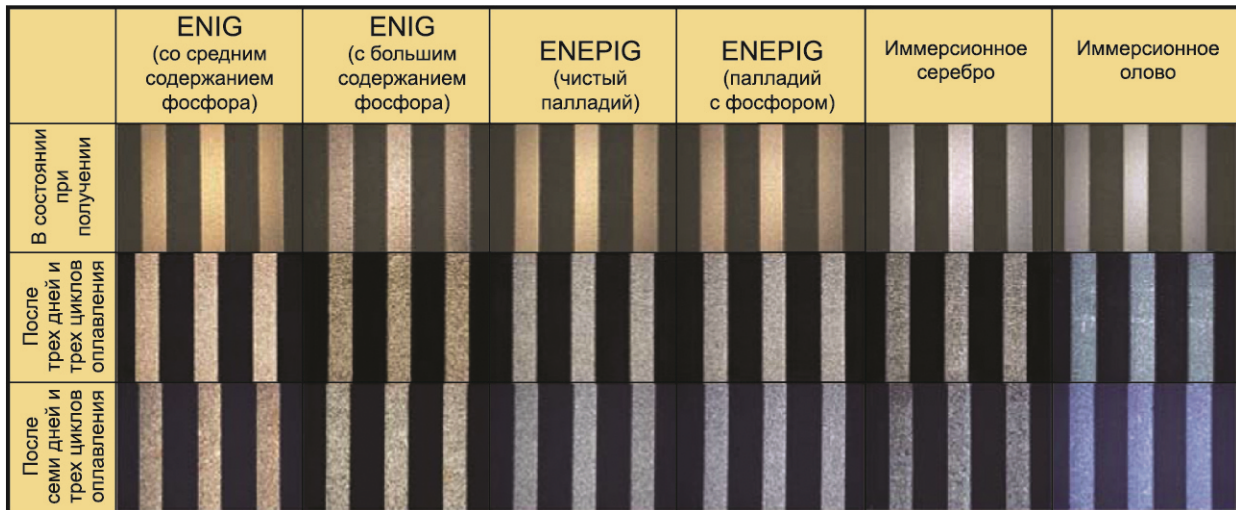


Рис. 9. Увеличенное изображение после испытания SIR покрытий

Измерение сопротивления изоляции проводилось при следующих условиях:

- в состоянии при получении плюс четыре дня (рис. 10,а);
- в состоянии при получении плюс четыре дня с последующими тремя циклами оплавления и последующей выдержкой при +155 °C в течение четырех часов (рис. 10,б).

Изучив графики можно сделать вывод, что покрытия входят в допустимые стандарты OEM автомобильной промышленности (500 МОм) и IPC (100 МОм).

### Заключение

Проведенные исследования показали, что финишные покрытия проявляют разные свойства по отношению к агрессивной коррозионной среде. Срок службы каждого изделия напрямую зависит от





качества финишных покрытий и их устойчивости к коррозии. Особенно высоки требования к изделиям военной, автомобильной, космической и ряда других отраслей.

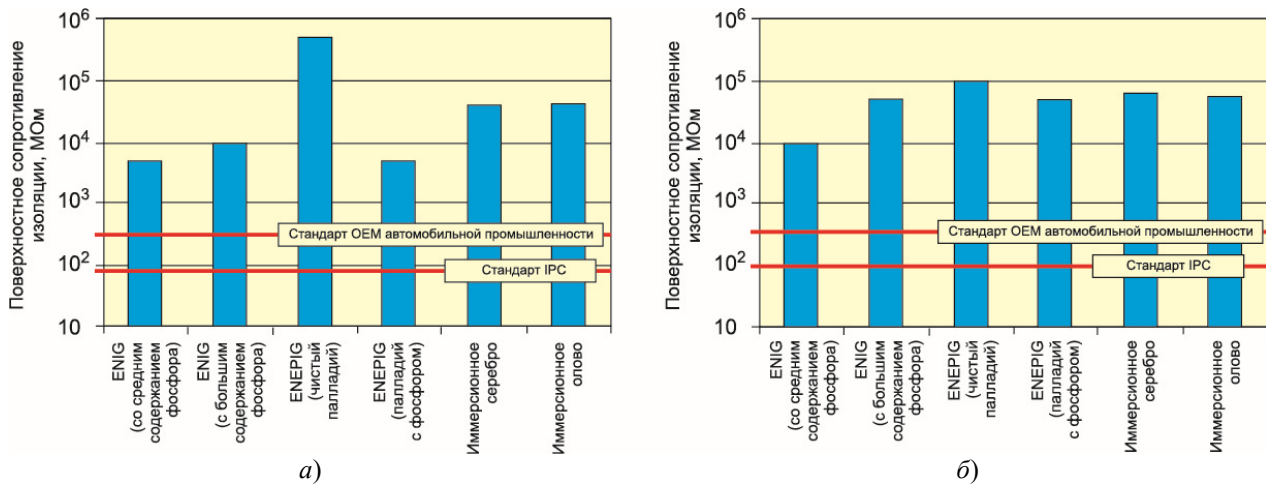


Рис. 10. Сводка всех измерений поверхностного сопротивления изоляции

По результатам испытаний определились лидеры среди защитных покрытий, обеспечивающие высокую степень защиты от коррозии. Это такие покрытия, как ENIG с высоким содержанием фосфора и ENEPIG. Остальные испытуемые не смогли обеспечить необходимой защиты [5–7] (рис. 11).

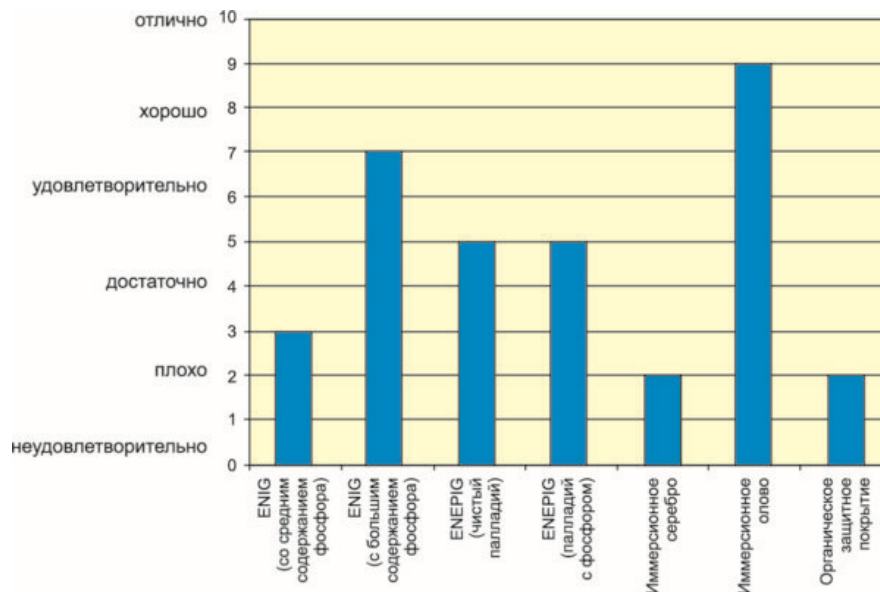


Рис. 11. Сводка результатов испытаний коррозионной стойкости испытанных финишных покрытий

### Список литературы

1. Ерендеев Ю. П. Финишные покрытия печатных плат в промышленных технологиях производства современной аппаратуры // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (Национального исследовательского университета). 2012. № 7 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/finishnye-pokrytiya-pechatnykh-plat-v-promyshlennykh-tehnologiyah-proizvodstva-sovremennoy-apparatury> (дата обращения: 01.03.2022).
2. Резонит. Финишные покрытия печатных плат. URL: <https://www.rezonit.ru/directory/baza-znaniy/tekhnologiya-proizvodstva-pechatnykh-plat/finishnye-pokrytiya-pechatnykh-plat/> (дата обращения: 01.03.2022).
3. Бахтин Б. И. Автоматизация в проектировании и производстве печатных плат РЭА. Л. : Энергия. Ленинградское отделение, 1979. 120 с.
4. Данилова Е. А., Кочегаров И. И., Трусов В. А. Модели технологических дефектов проводящего рисунка печатных плат // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2 (18). С. 68–76.
5. Медведев А. М. Технология производства печатных плат. М. : Техносфера, 2005. 360 с.





6. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Полесский С. Н. [и др.]. Методы повышения точности прогнозирования показателей надежности наукоемких сложных электронных систем // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 183–187.
7. Юрков Н. К. Технология производства электронных средств : учебник. М. : Лань, 2014. 480 с.

### References

1. Ereendeev Yu.P. Thin coating for printed circuit boards in industrial production technology of modern equipment. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S. P. Koroleva (Natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta) = VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2012;(7): 166–177. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/finishnye-pokrytiya-pechatnykh-plat-v-promyshlennykh-tehnologiyah-proizvodstva-sovremennoy-apparatury> (accessed 01.03.2022).
2. *Rezonit. Finishnye pokrytiya pechatnykh plat = Rezonit. PCB Finishes*. (In Russ.). Available at: <https://www.rezonit.ru/directory/baza-znaniy/tehnologiya-proizvodstva-pechatnykh-plat/finishnye-pokrytiya-pechatnykh-plat/> (accessed 01.03.2022).
3. Bakhtin B.I. *Avtomatizatsiya v proektirovanii i proizvodstve pechatnykh plat REA = Automation in the design and production of printed circuit boards for REA*. Leningrad: Energiya. Leningradskoe otdelenie, 1979:120. (In Russ.)
4. Danilova E.A., Kochegarov I.I., Trusov V.A. Models of technological defects of conductive patterns of printed circuit boards. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and Quality of Complex Systems*. 2017;(2):68–76. (In Russ.)
5. Medvedev A.M. *Tekhnologiya proizvodstva pechatnykh plat = PCB manufacturing technology*. Moscow: Tekhnosfera, 2005:360. (In Russ.)
6. Yurkov N.K., Zatylykin A.V., Polesskiy S.N. et al. Methods for improving the accuracy of predicting the reliability indicators of science-intensive complex electronic systems. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii = Modern Information Technologies*. 2014;(19):183–187. (In Russ.)
7. Yurkov N.K. *Tekhnologiya proizvodstva elektronnykh sredstv: uchebnik = Technology for production of electronic means: A textbook*. Moscow: Lan', 2014:480. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 08.04.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.05.2022

Принята к публикации / Accepted 20.05.2022